

Запорожская АЭС





ТЕМА ЗАНЯТИЯ:

*Принципиальная тепловая схема
второго контура энергоблоков Запорожской АЭС*



Конечная цель занятия:

По окончании обучения обучаемые будут способны продемонстрировать теоретические знания по принципиальной тепловой схеме второго контура энергоблоков Запорожской АЭС, необходимые для безопасного и эффективного выполнения своих должностных обязанностей.



Промежуточные цели

ПЦ-1 Указать назначение основного оборудования

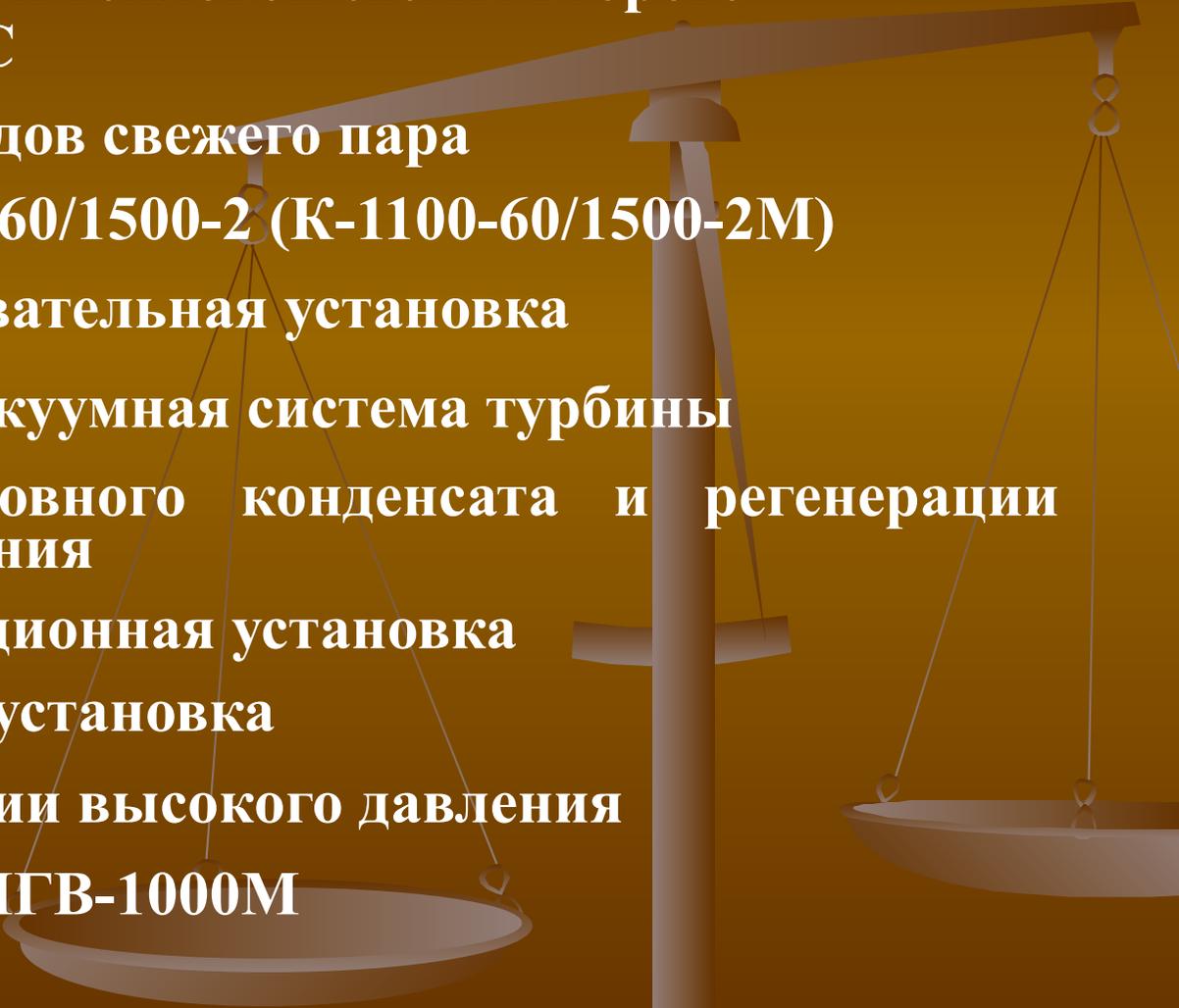
ПЦ-2 Указать расположение основного оборудования

ПЦ-3 Описать конструкцию и принцип работы основного оборудования

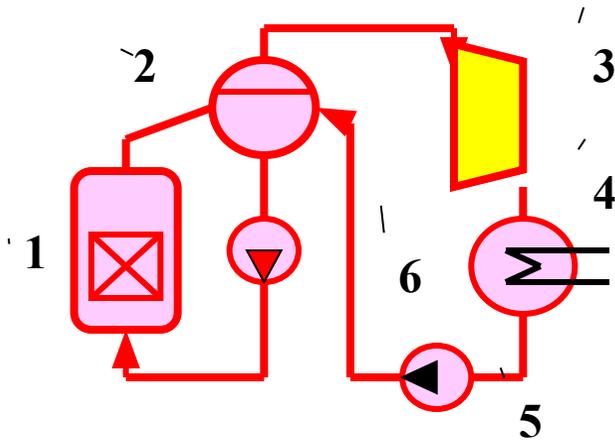
ПЦ-4 Объяснить взаимодействие первого и второго контуров и регулирование основных технологических параметров блока



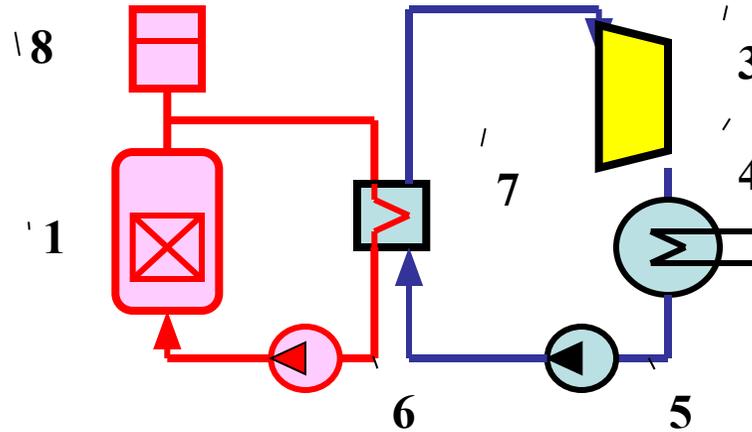
Порядок проведения занятия

1. Структура принципиальной тепловой схемы второго контура энергоблоков АЭС
 2. Система паропроводов свежего пара
 3. Турбина К-1000-60/1500-2 (К-1100-60/1500-2М)
 4. Сепараторно-пароперегревательная установка
 5. Конденсационно-вакуумная система турбины
 6. Система основного конденсата и регенерации низкого давления
 7. Деаэрационная установка
 8. Турбопитательная установка
 9. Система регенерации высокого давления
 10. Парогенераторы ПГВ-1000М
- 

Принципиальные схемы АЭС



а) одноконтурная



б) двухконтурная

1-реактор (РБМК, ВВЭР, БН)

2-барабан-сепаратор

3-турбина

4-конденсатор

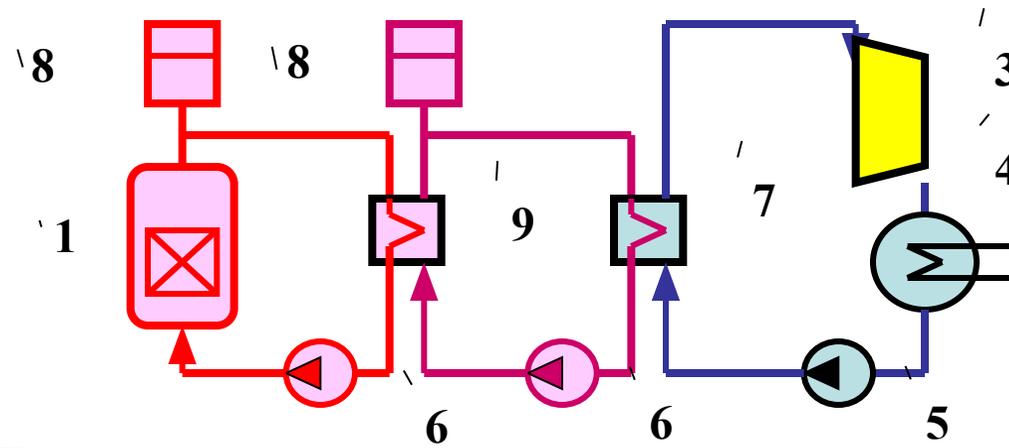
5-питательный насос

6-ГЦН

7-парогенератор

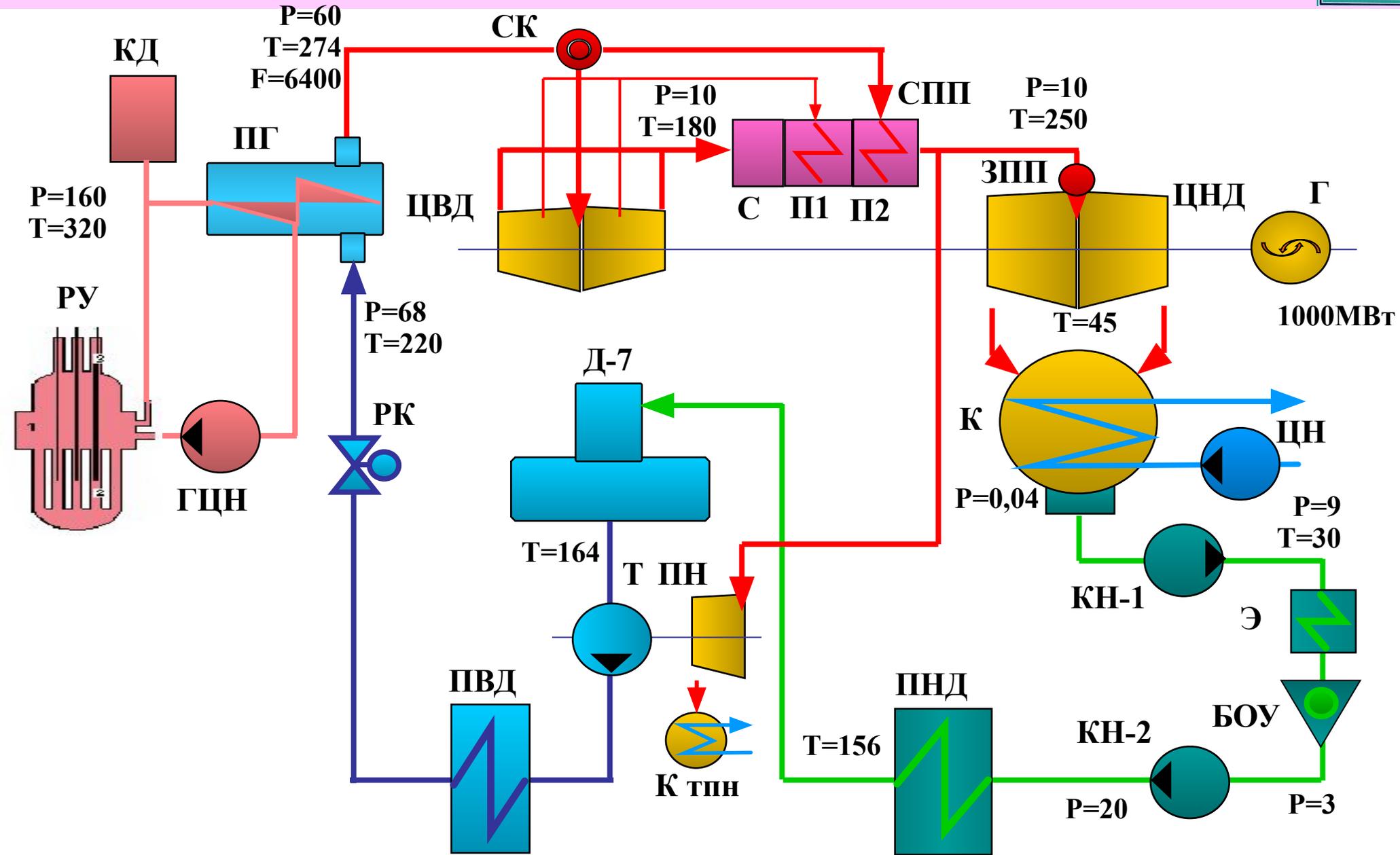
8-компенсатор давления

9-промежуточный теплообменник

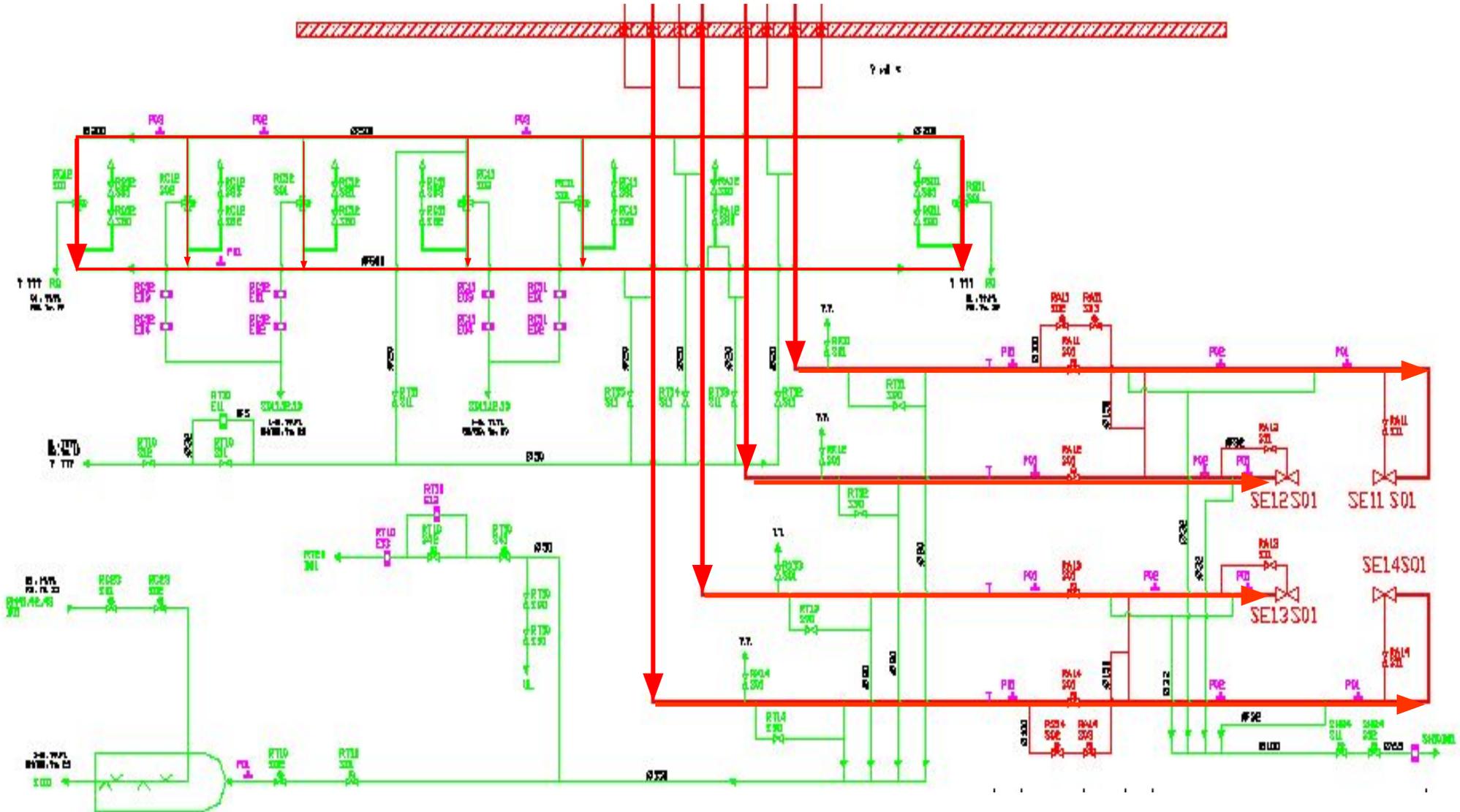


в) трехконтурная

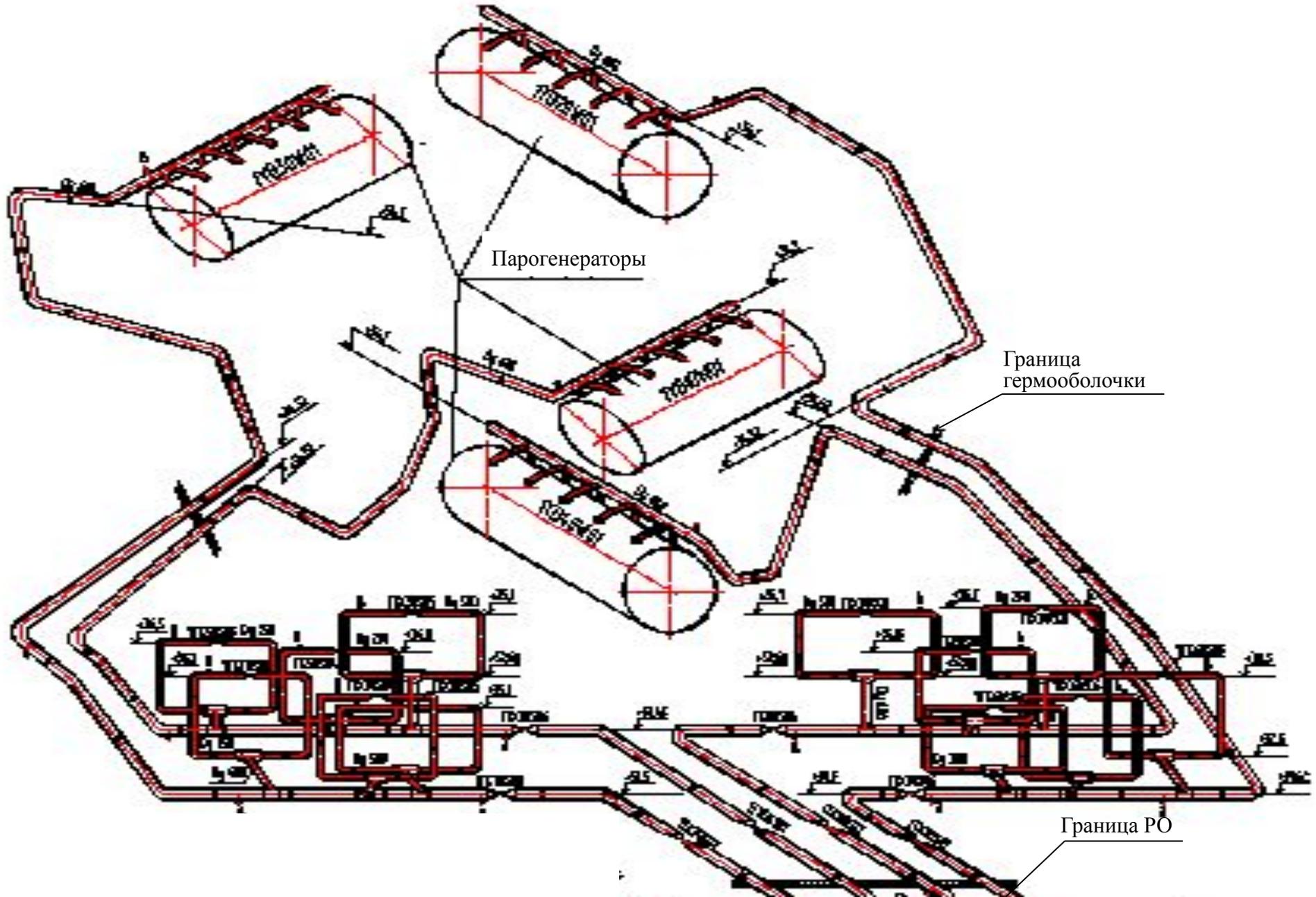
Принципиальная тепловая схема двухконтурной АЭС



Система паропроводов свежего пара



Аксонометрия паропроводов свежего пара (РО)



Аксонометрия паропроводов свежего пара (ТО)



Граница РО

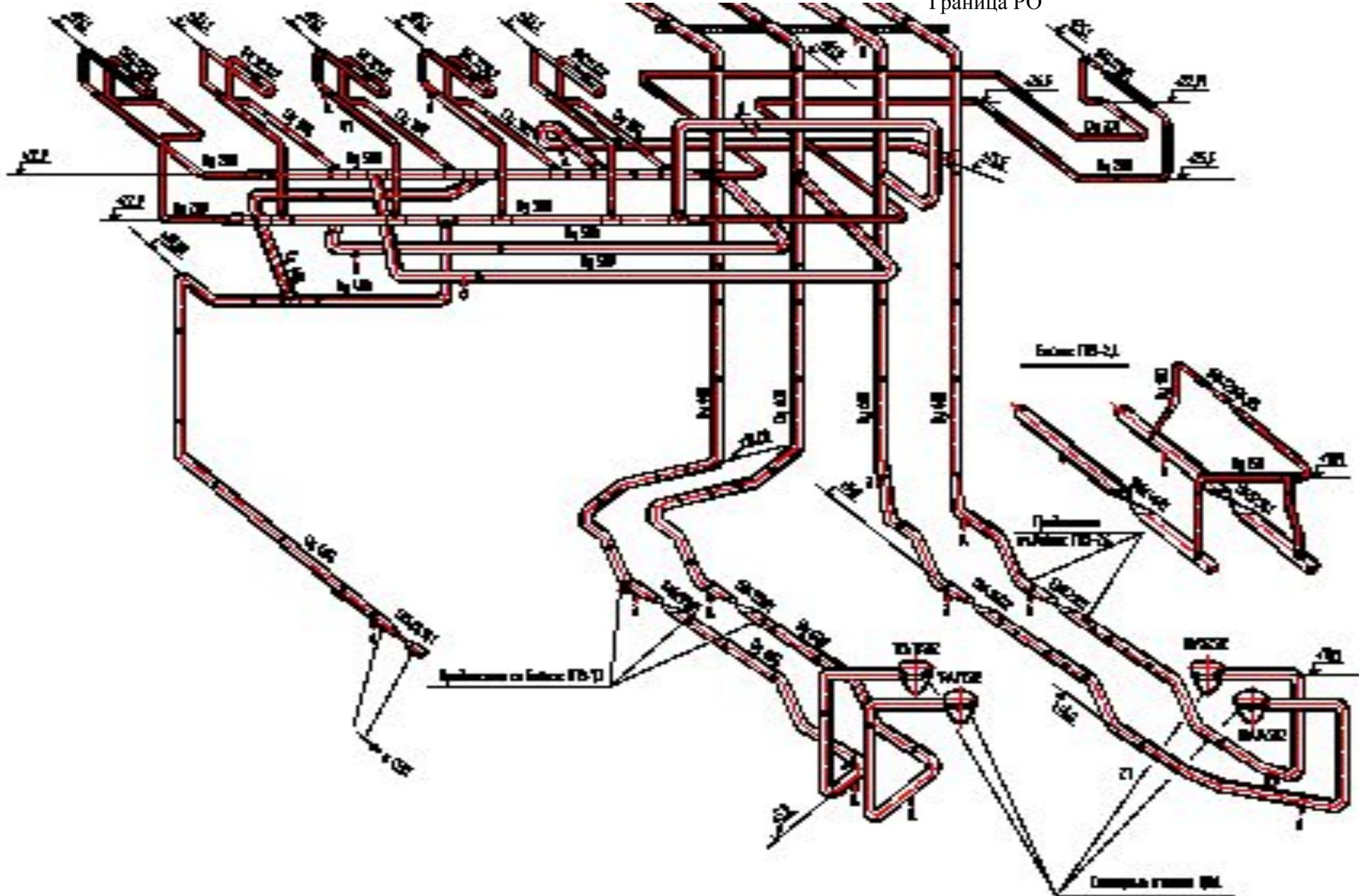
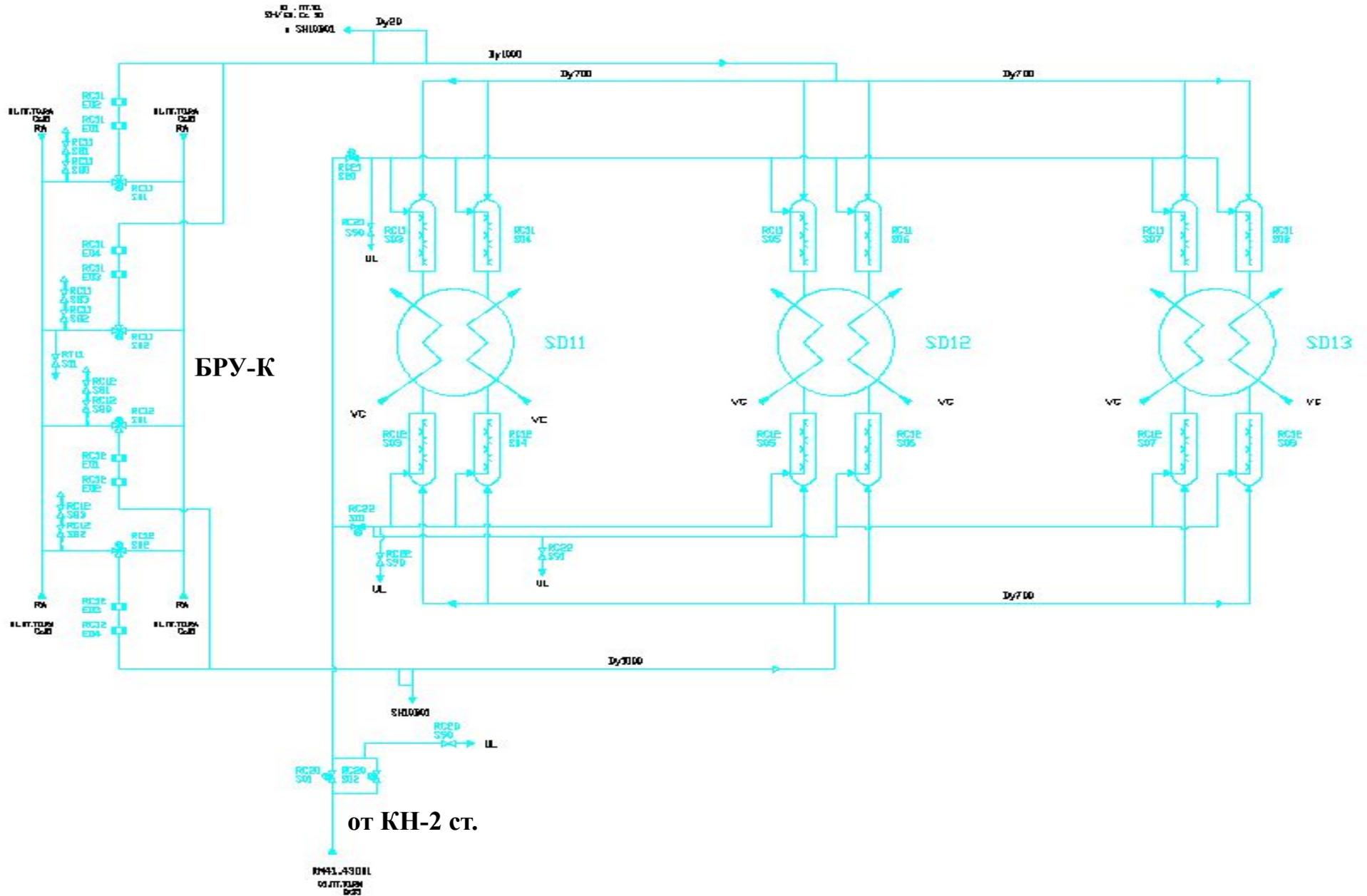


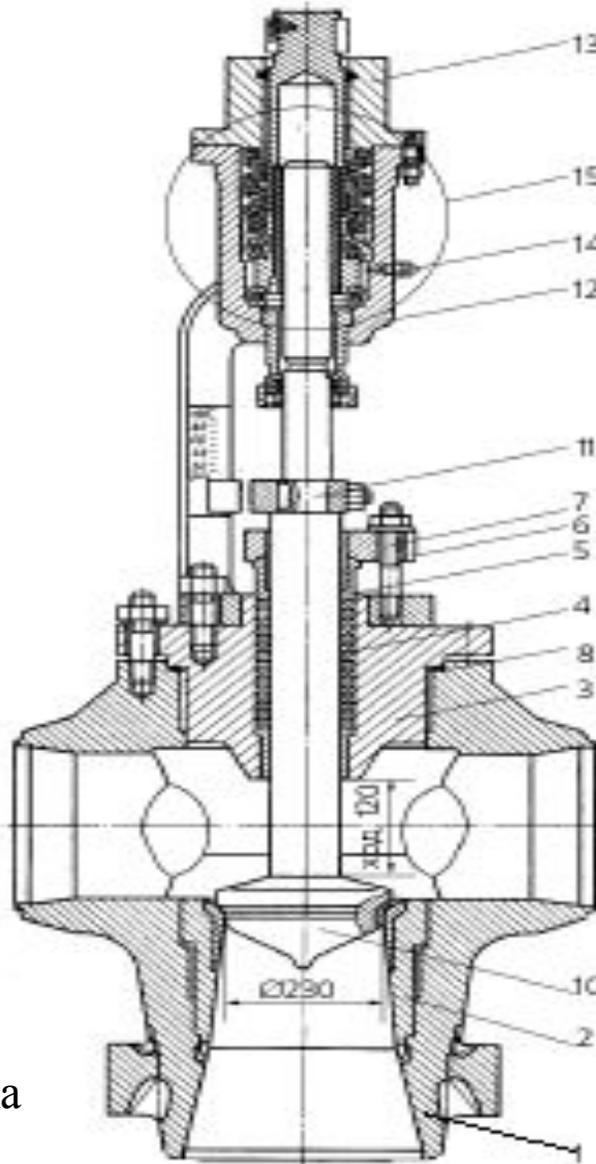
Схема сброса пара в конденсатор



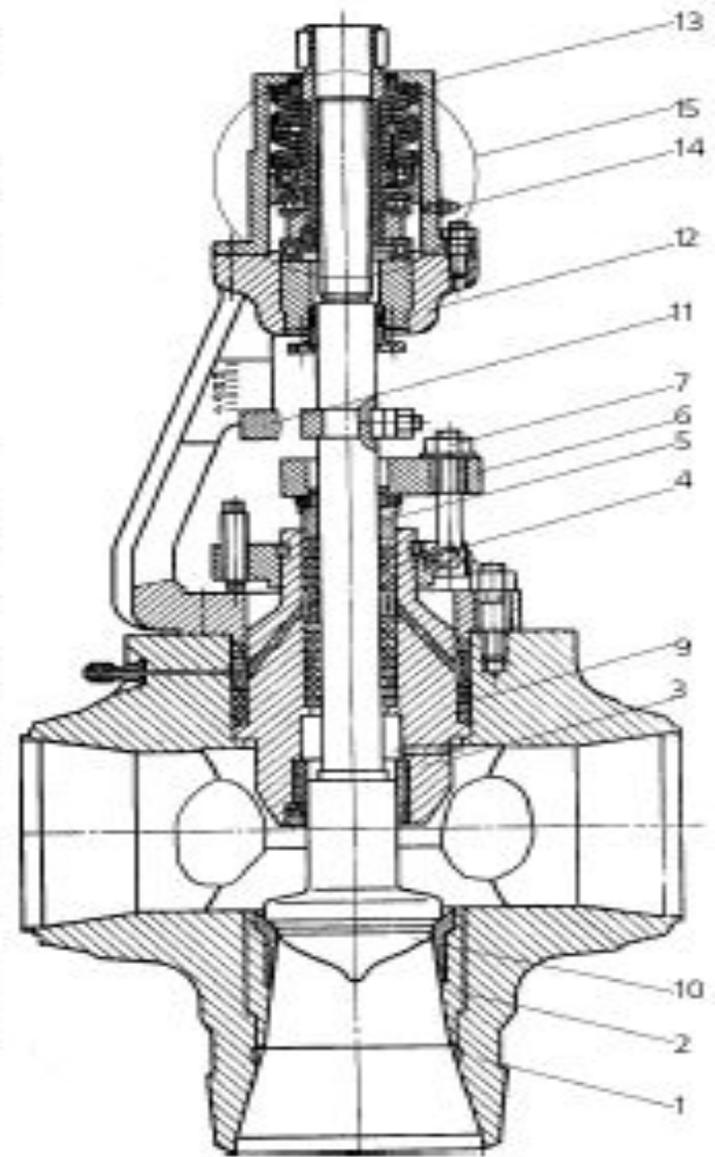
Конструкция запорно-дрессельных клапанов



- 1-корпус
- 2-седло
- 3-крышка
- 4,9-сальниковая набивка
- 5-грундбукса
- 6-нажимная планка
- 7-откидной болт
- 8-зубчатая прокладка
- 10-шток
- 11-ползун
- 12-бугель
- 13-крышка бугеля
- 14-масленка
- 15-узел перемещения штока



БРУ-А, БРУ-К (900 т/ч)



БРУ-СН (400 т/ч)

Турбинное отделение



K-1000-60/1500-2(M)

Цилиндр высокого давления



внутренний корпус

наружный корпус

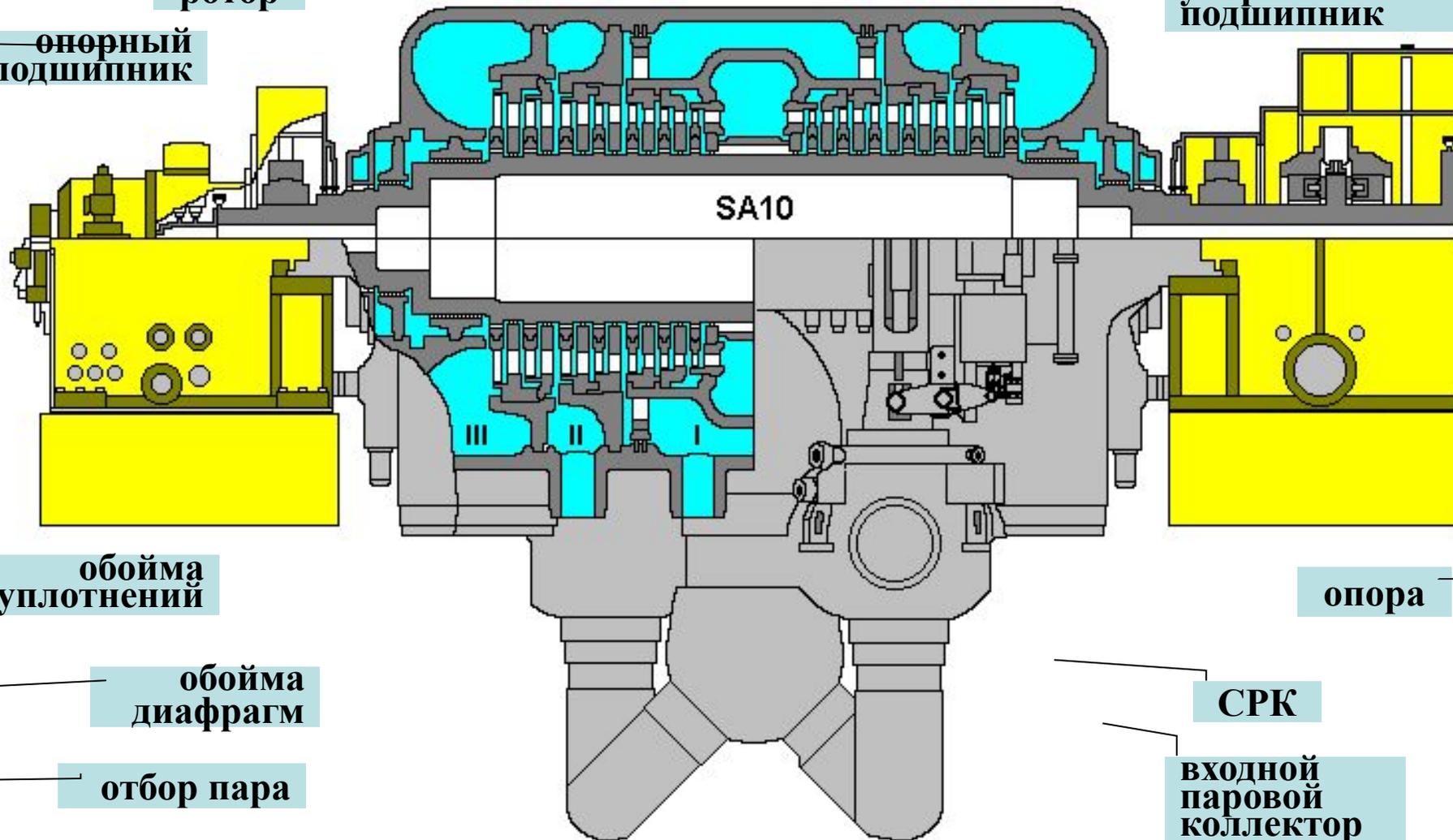
диафрагма

рабочая лопатка

ротор

упорный подшипник

опорный подшипник



обойма уплотнений

опора

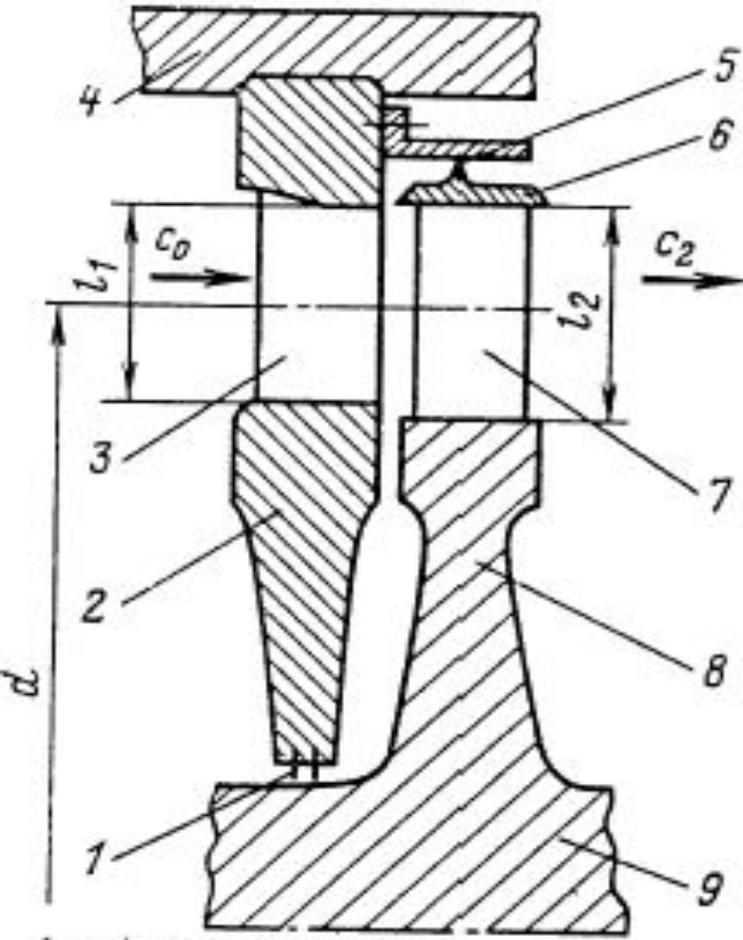
обойма диафрагм

СРК

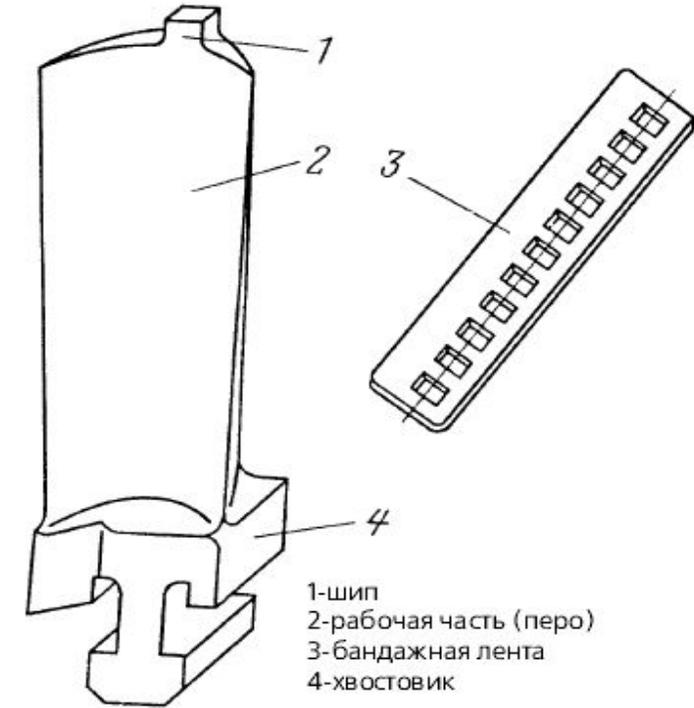
отбор пара

входной паровой коллектор

Схема турбинной ступени



- 1-диафрагменное уплотнение
- 2-диафрагма
- 3-сопловая решетка
- 4-корпус турбины
- 5-надбандажное уплотнение
- 6-ленточный бандаж
- 7-рабочая решетка
- 8-диск
- 9-вал



Конструкция лопатки.

Цилиндр низкого давления

Атмосферный клапан

Диафрагма

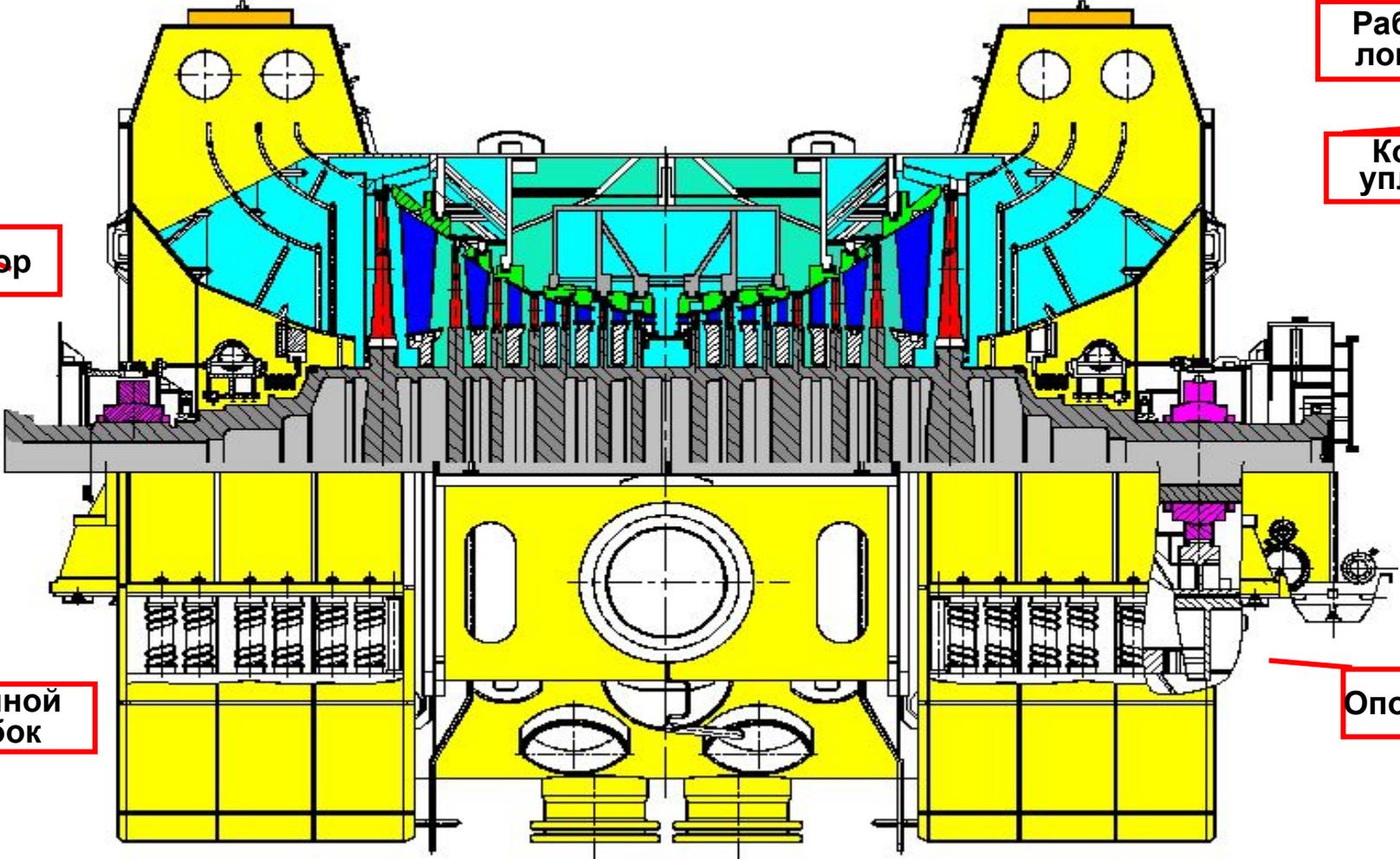
Наружный корпус

Внутренний корпус

Рабочая лопатка

Концевые уплотнения

Ротор



Выхлопной патрубок

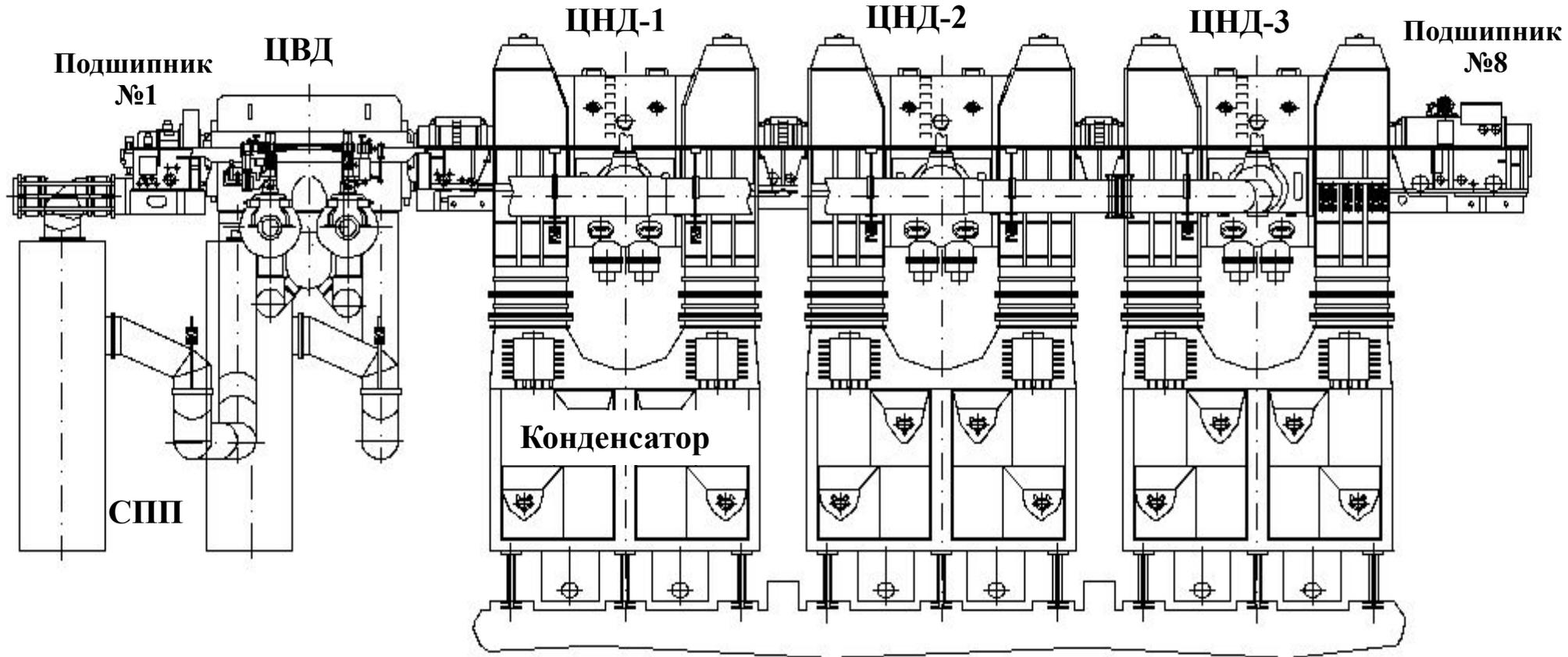
Опора

Подвод пара

Патрубки отборов

Опорный подшипник

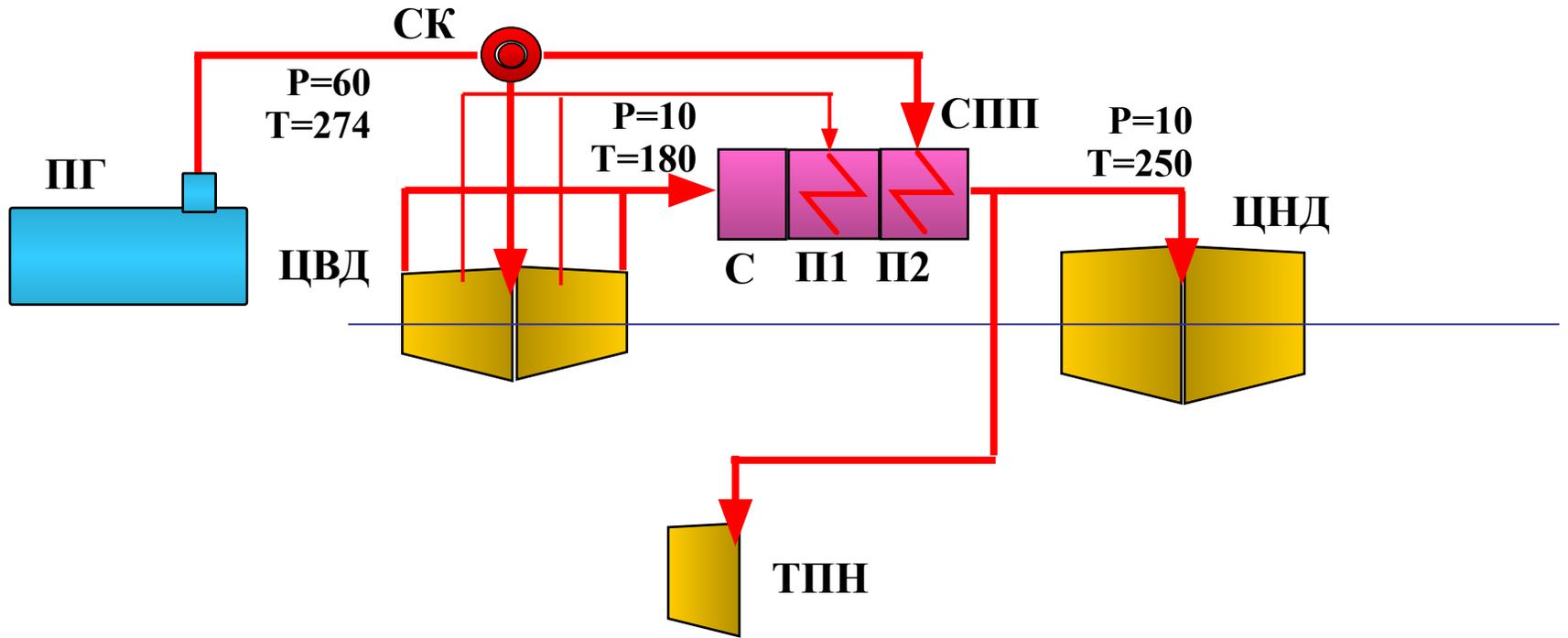
Турбина (вид в прозрачном фундаменте)



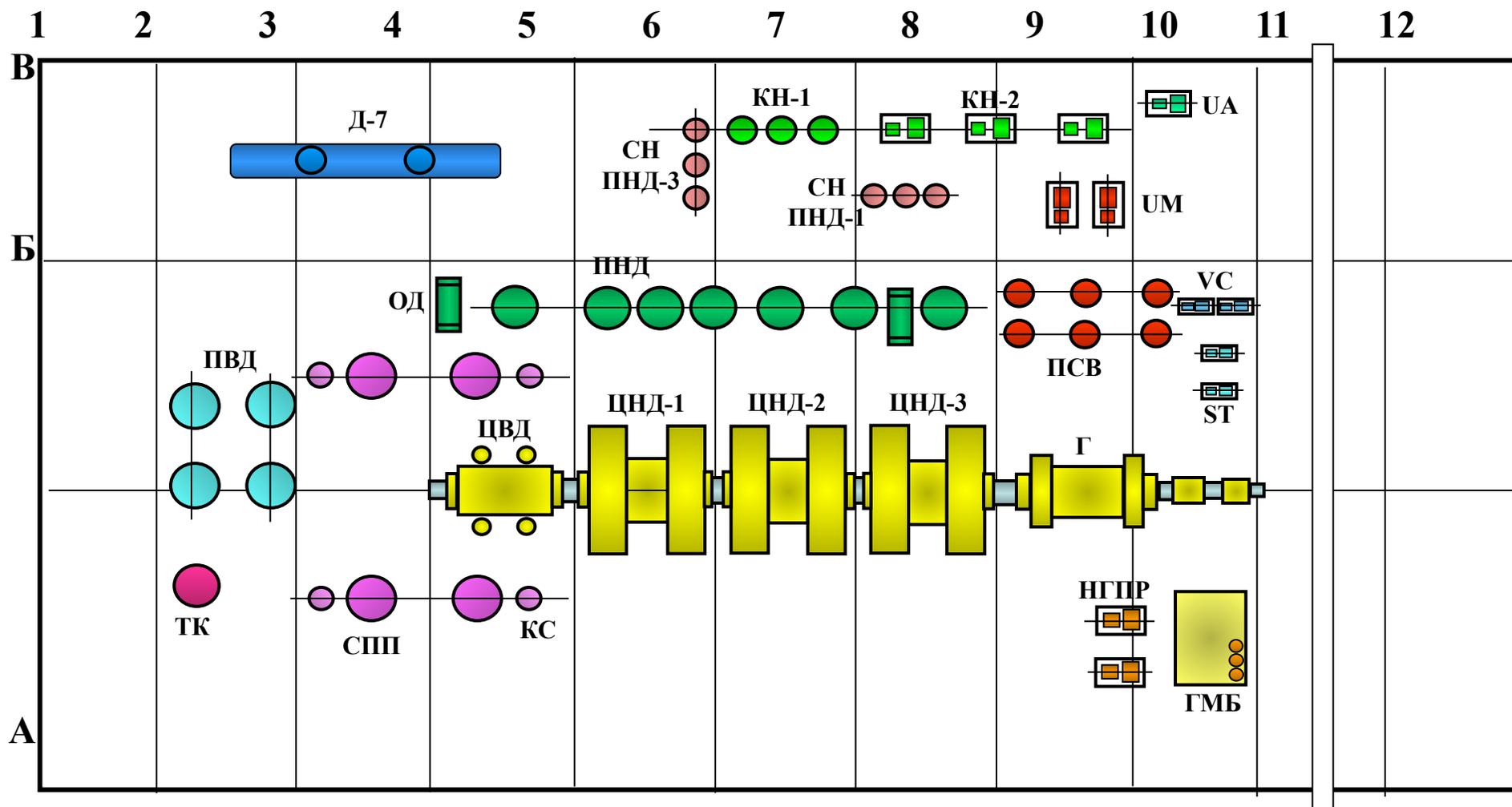
Блочный щит управления (БЩУ)



СПП



Расположение оборудования второго контура



Сепаратор пароперегреватель (СПП)

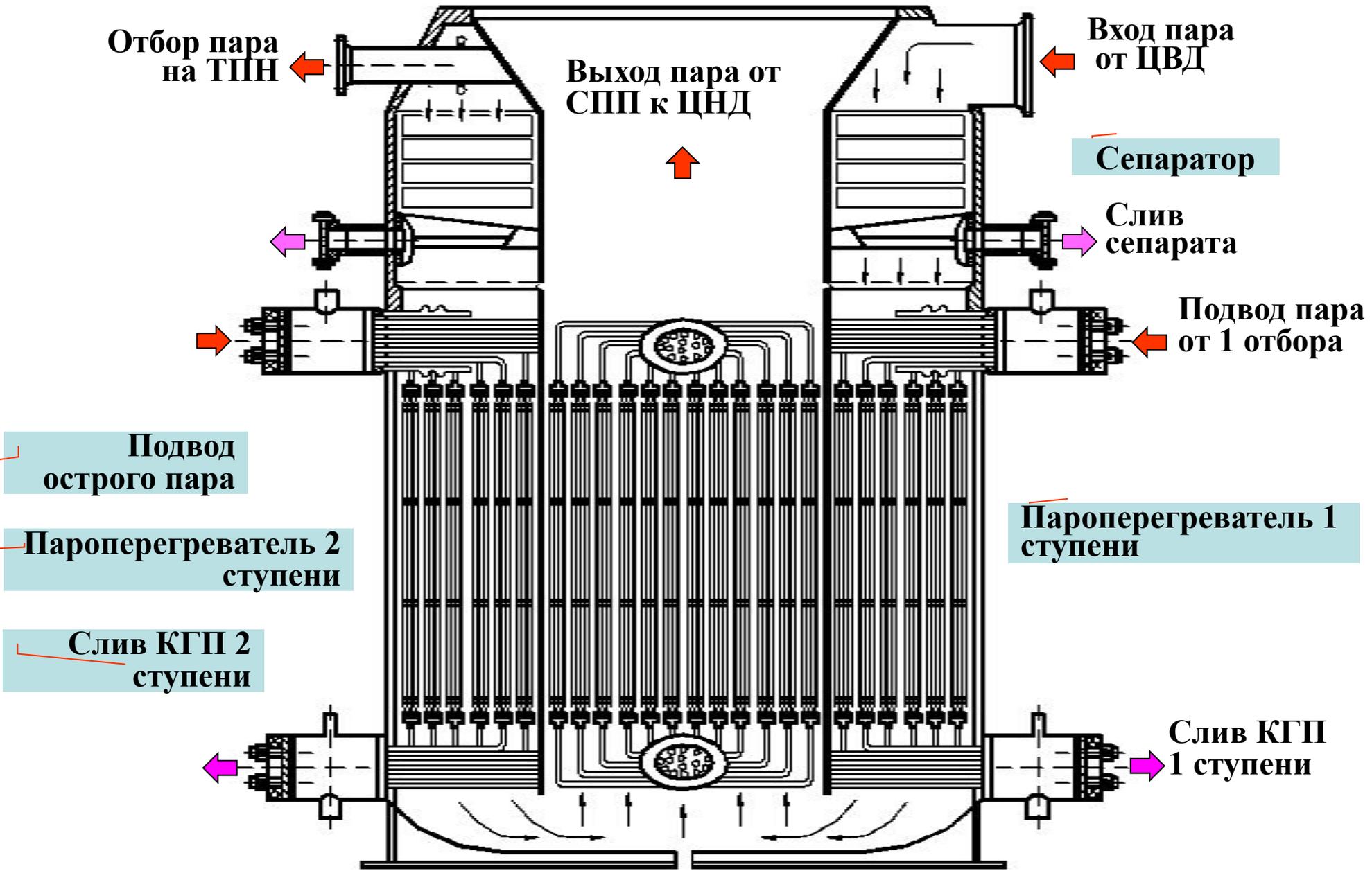
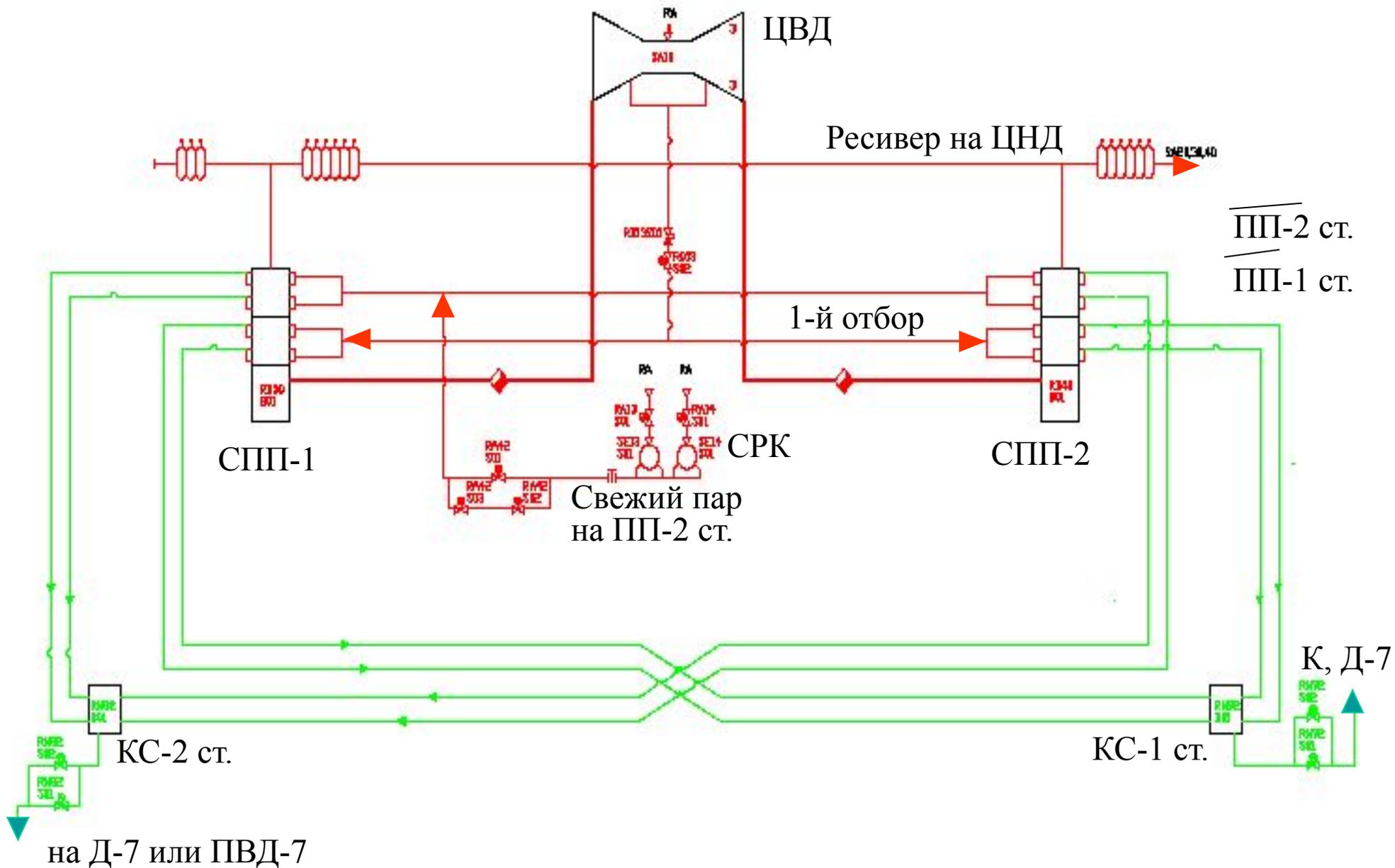


Схема промежуточного перегрева пара



Турбина К-1000-60/1500-2 (вид сверху)

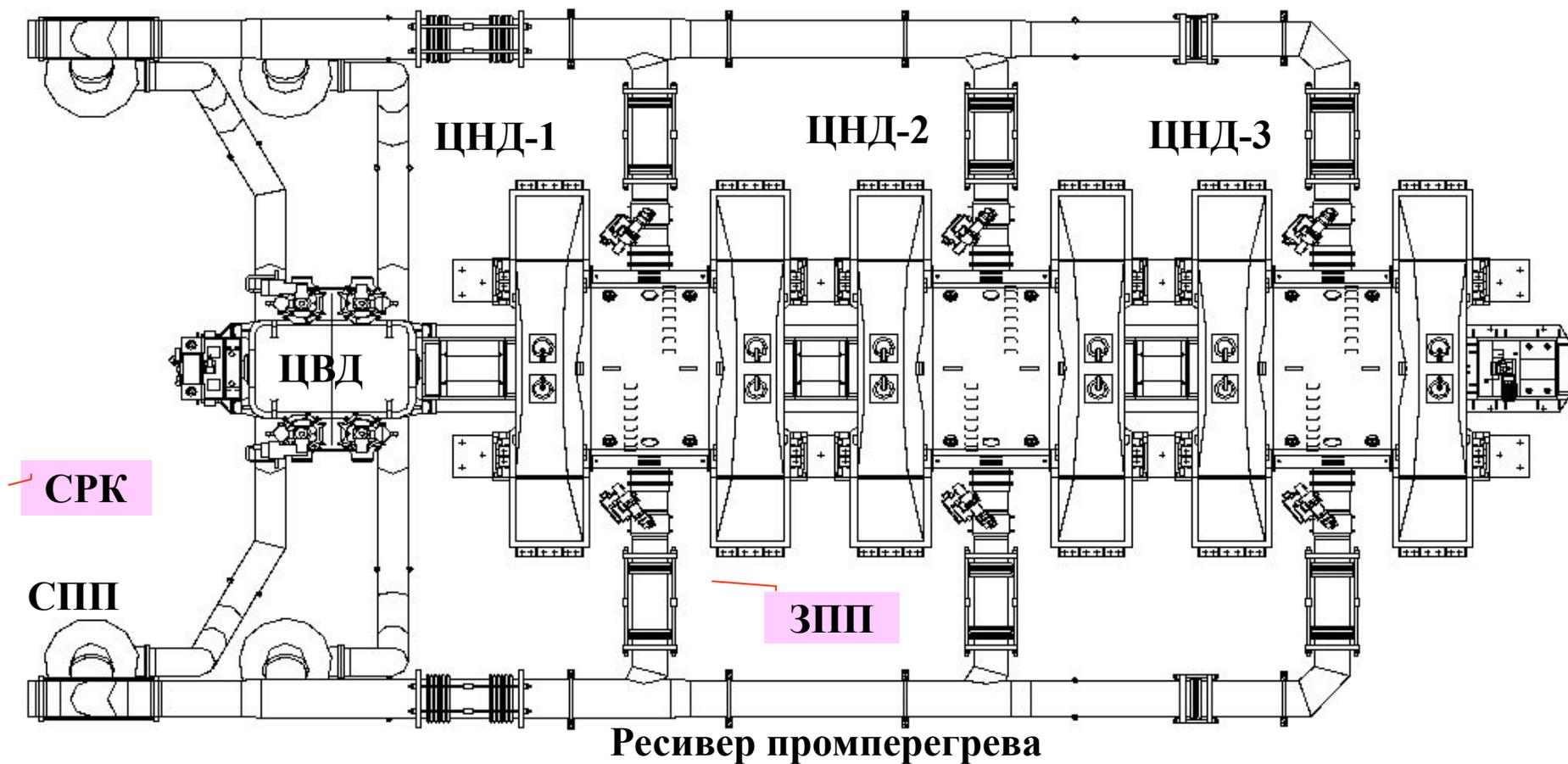
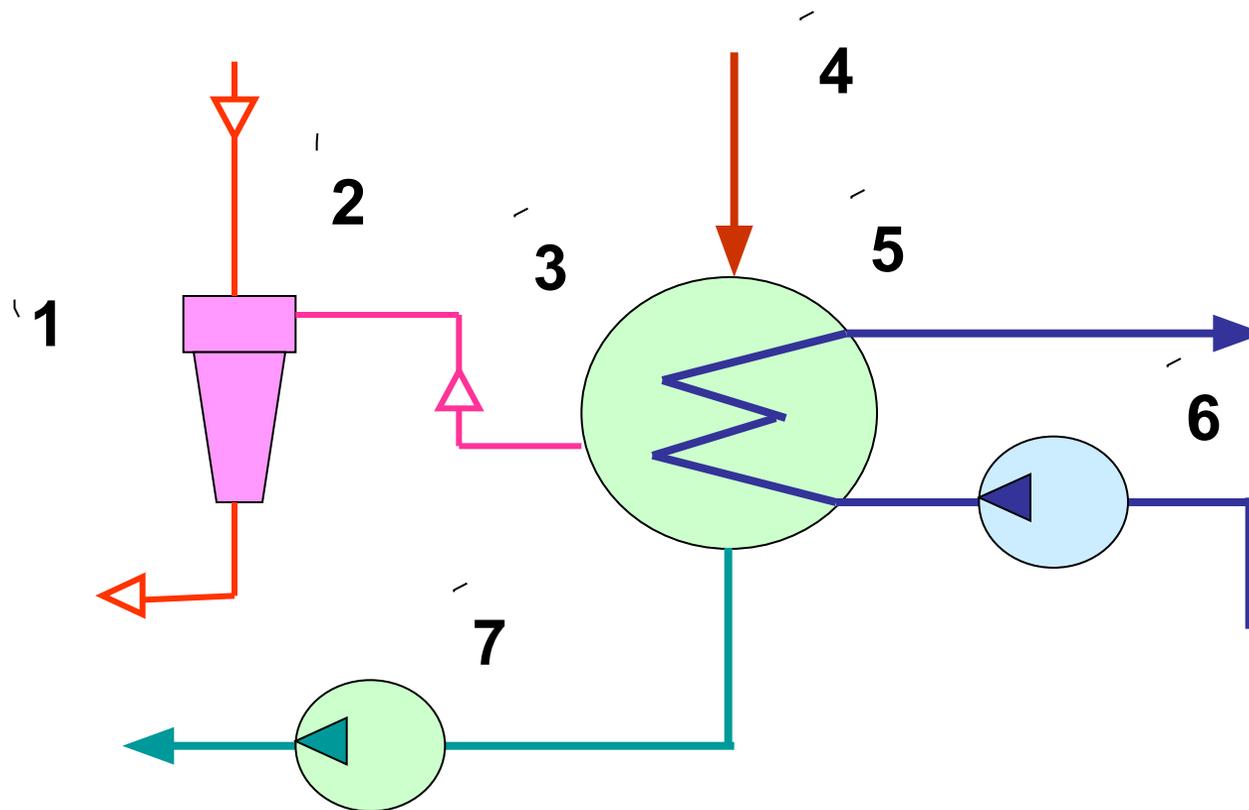


Схема конденсационной установки



- 1 - пароструйный эжектор
- 2 - подвод пара к эжектору
- 3 - отсос паровоздушной смеси
- 4 - пар из выходного патрубка турбины

- 5 - поверхностный конденсатор
- 6 - циркуляционный насос
- 7 - конденсатный насос

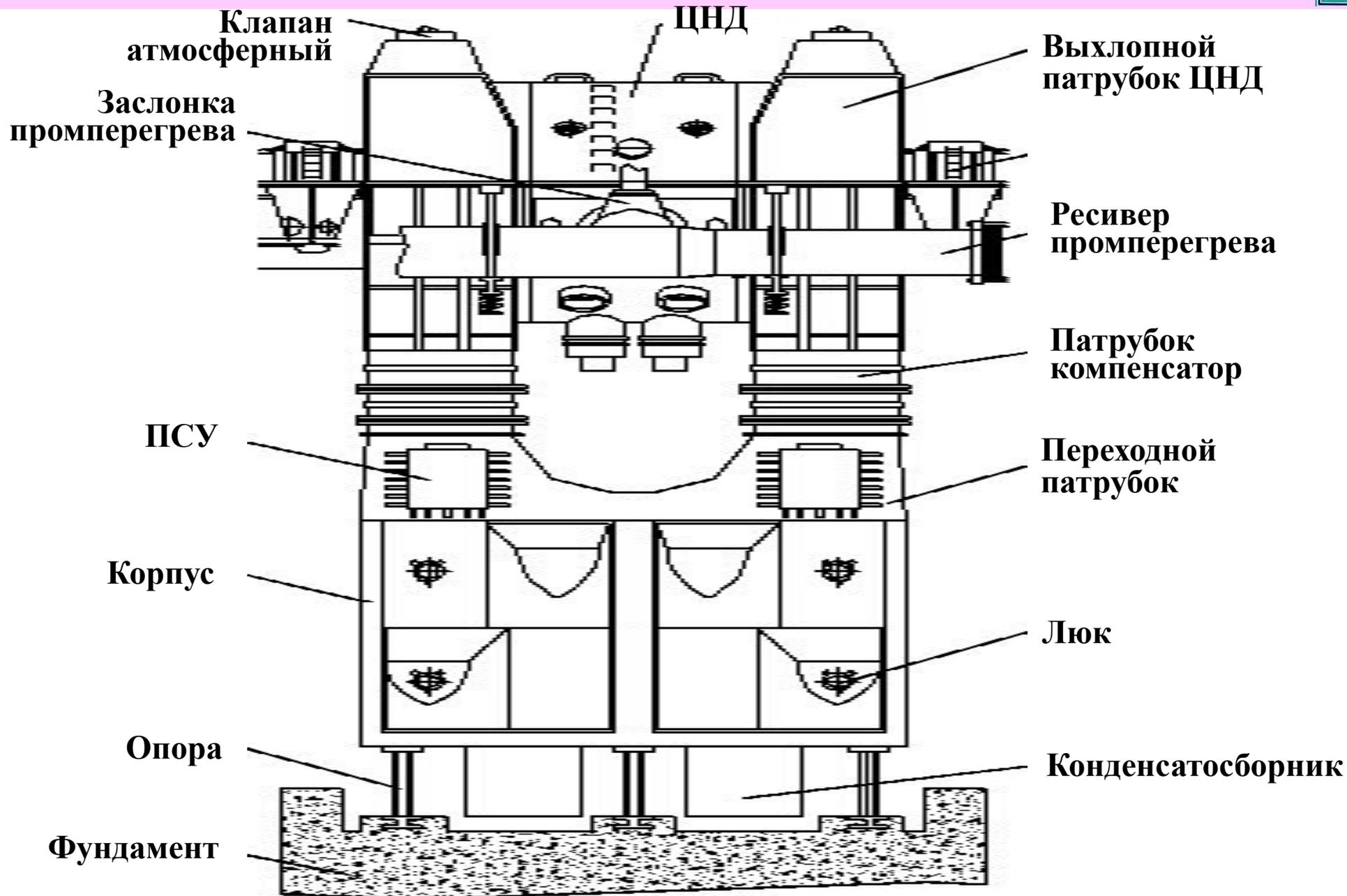


Технические характеристики конденсатора типа 33160

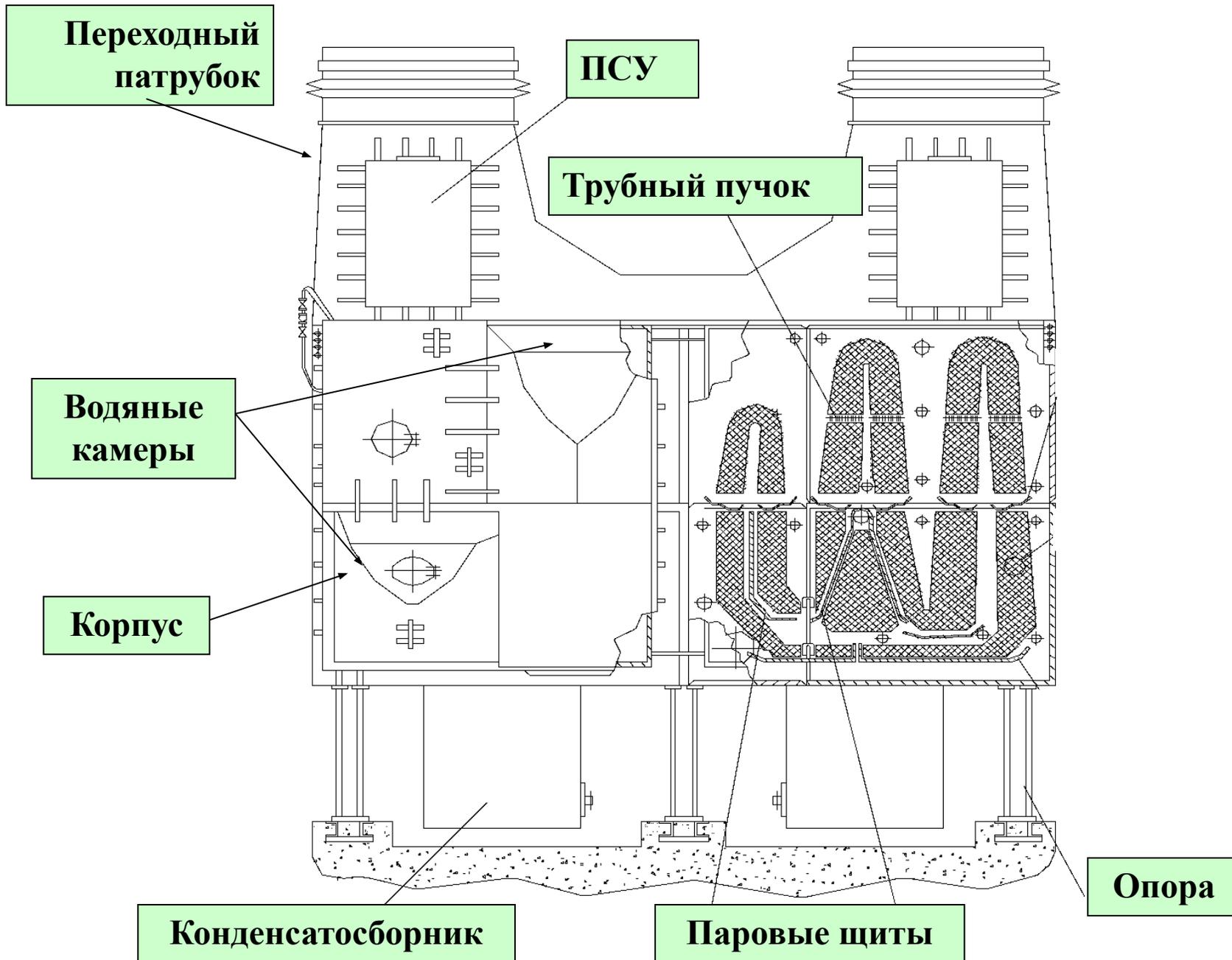


Поверхность охлаждения одного конденсатора, м ²		33160
Расчетное абсолютное давление в паровом пространстве, кгс/см ²		0,04
Расчетный расход пара на все конденсаторы при номинальной мощности, т/ч		3457
Расчетный расход охлаждающей воды на все конденсаторы, м ³ /ч		169800
Температура охлаждающей воды, °С:	расчетная	15
	максимальная (на входе)	33
Давление в трубном пространстве, кгс/см ²	минимальное	1,15
	максимальное	3,0
Гидравлическое сопротивление конденсатора при чистых трубках и расчетном расходе охлаждающей воды, кгс/см ²		0,76
Расход химобессоленной воды при температуре 30 °С, м ³ /ч:	номинальный	65
	максимальный	250
Количество охлаждающих трубок в одном конденсаторе, шт:	28 x 2	224
	28 x 1	26716
Рабочая длина трубок, м		14,06
Материал охлаждающих трубок		сплав МНЖ-5-1
Масса одного конденсатора, т:	«сухого»	1902
	с водой	5340

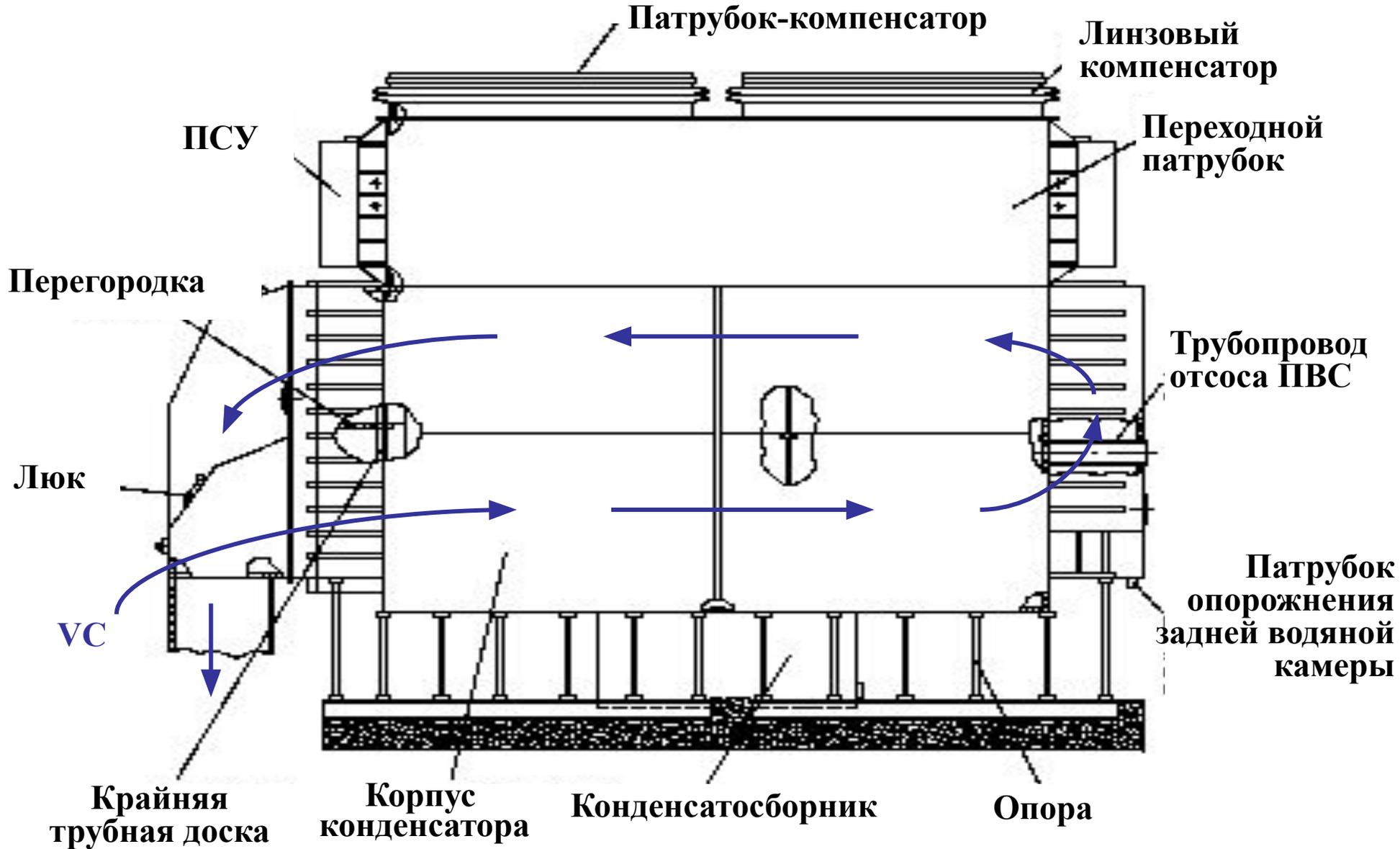
Цилиндр низкого давления турбины с конденсатором



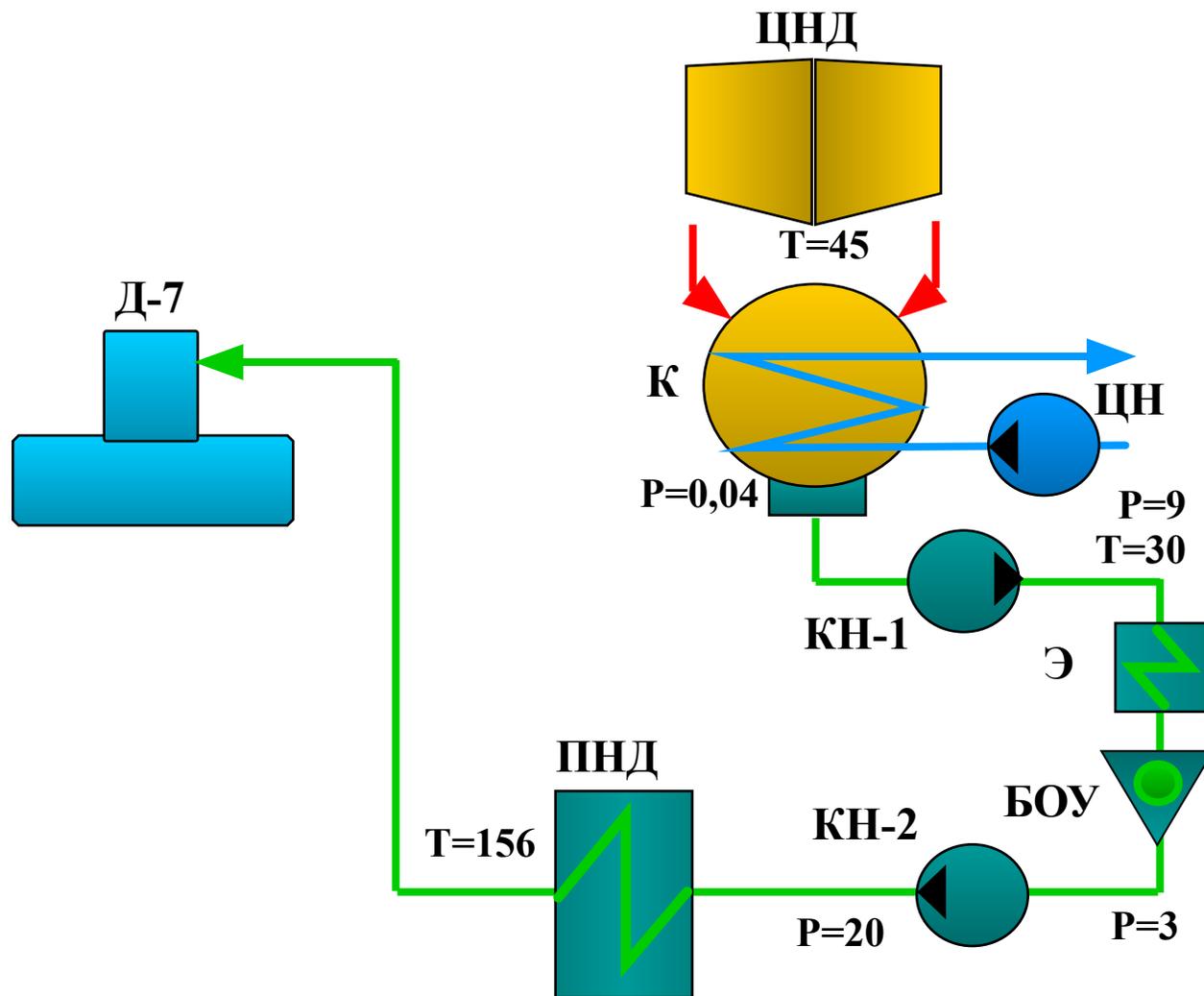
Конденсатор (вид со стороны водяных камер)



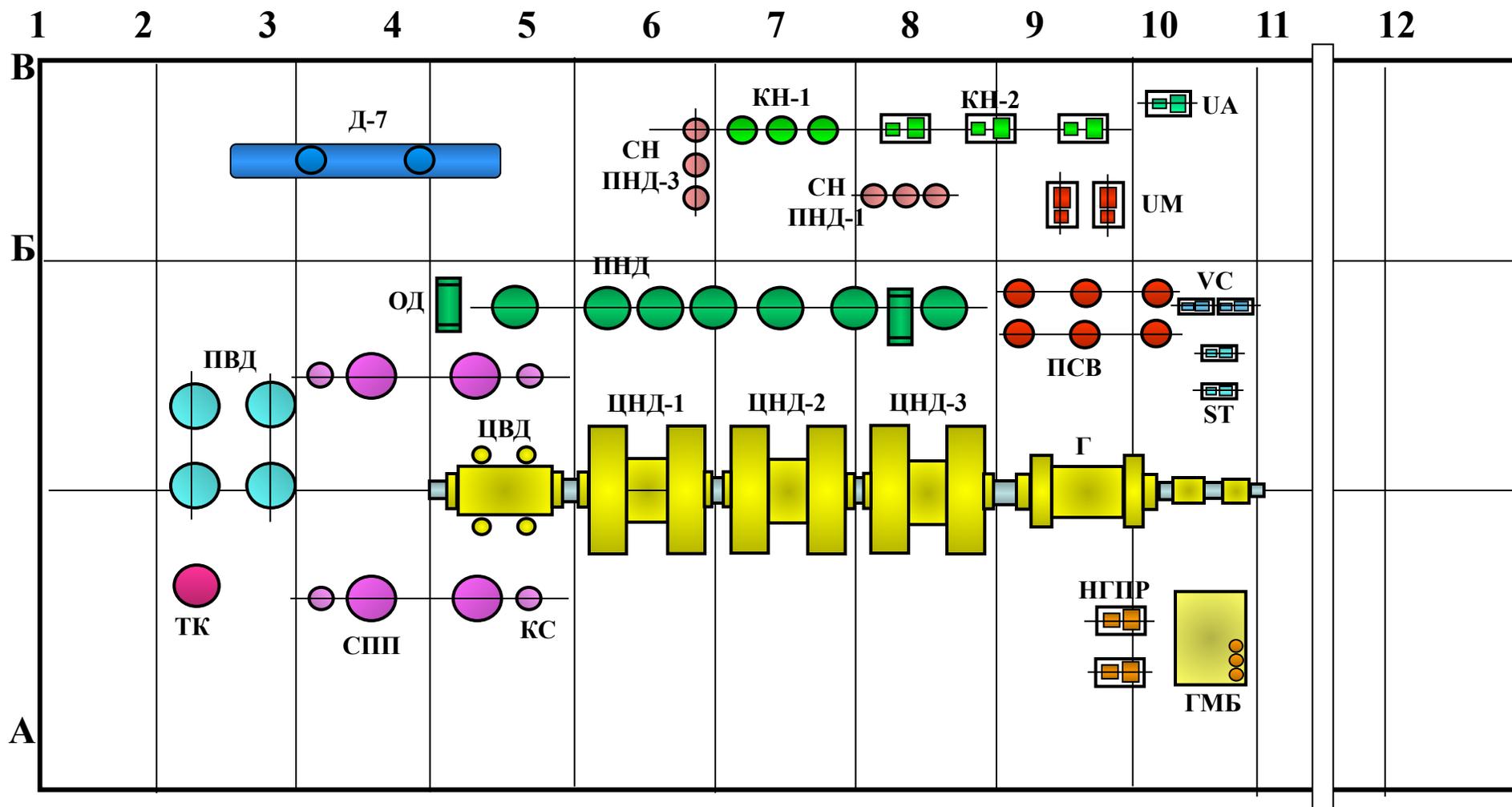
Конденсатор (вид по оси турбины)



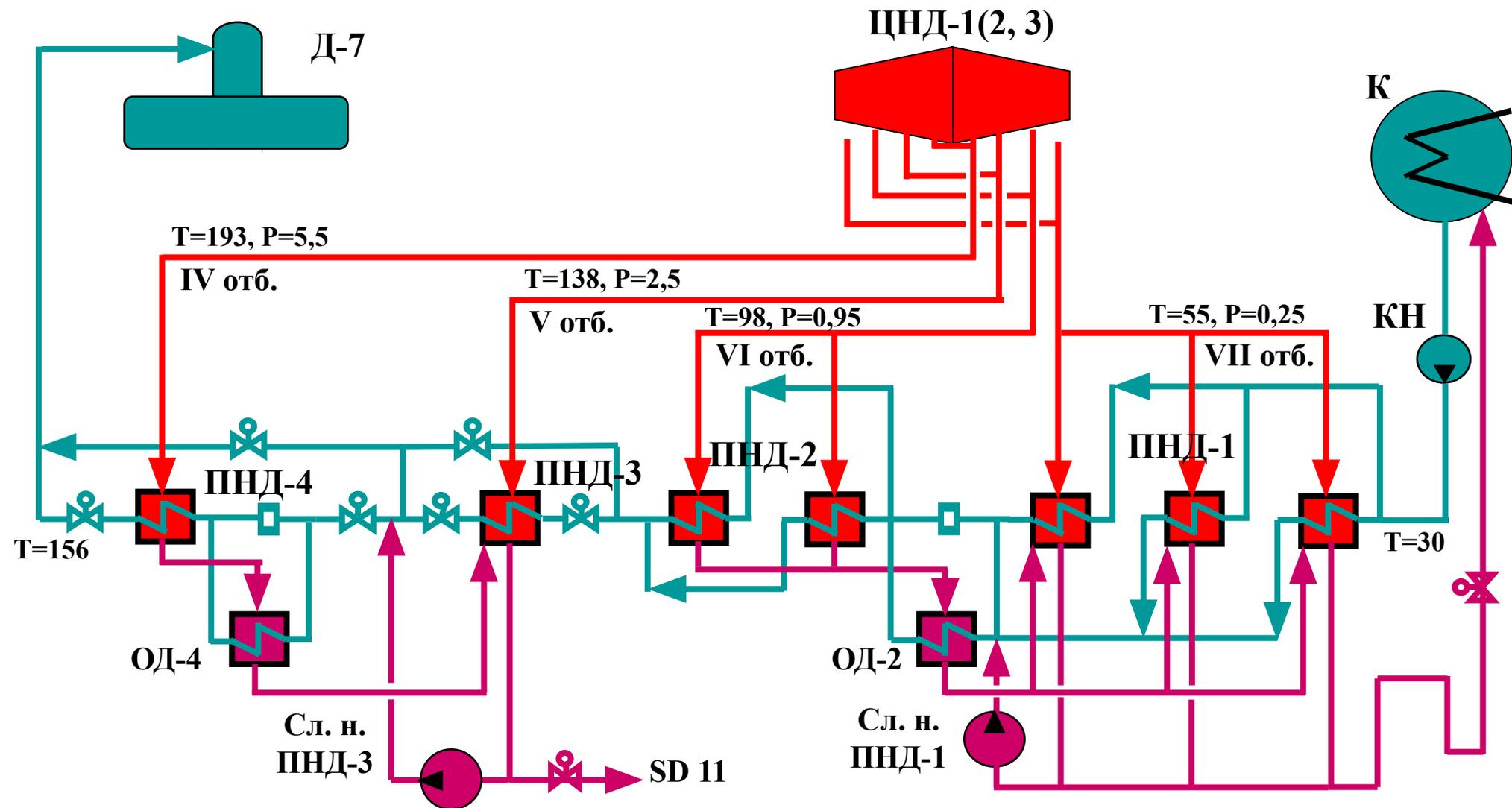
Система основного конденсата и регенерации низкого давления



Расположение оборудования второго контура



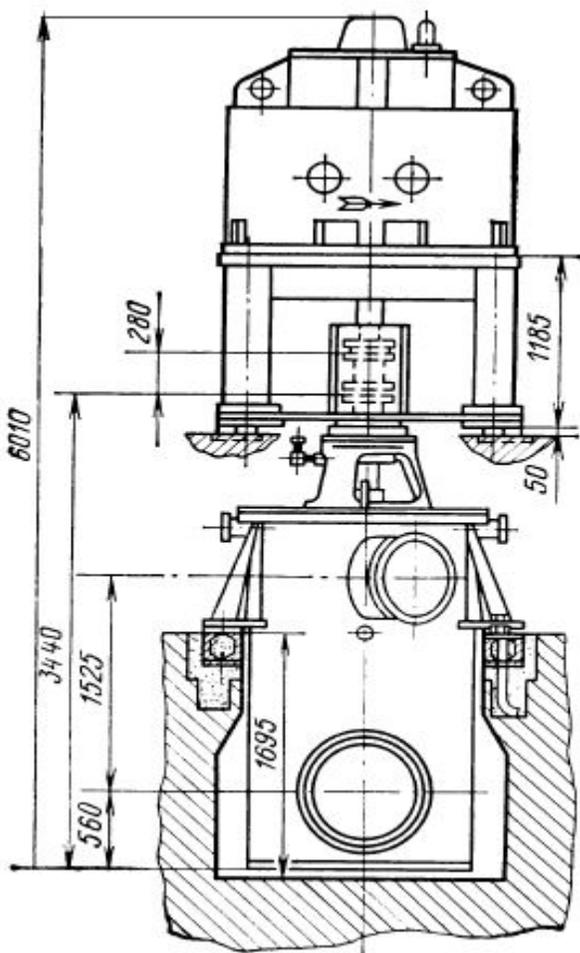
Принципиальная схема регенерации низкого давления



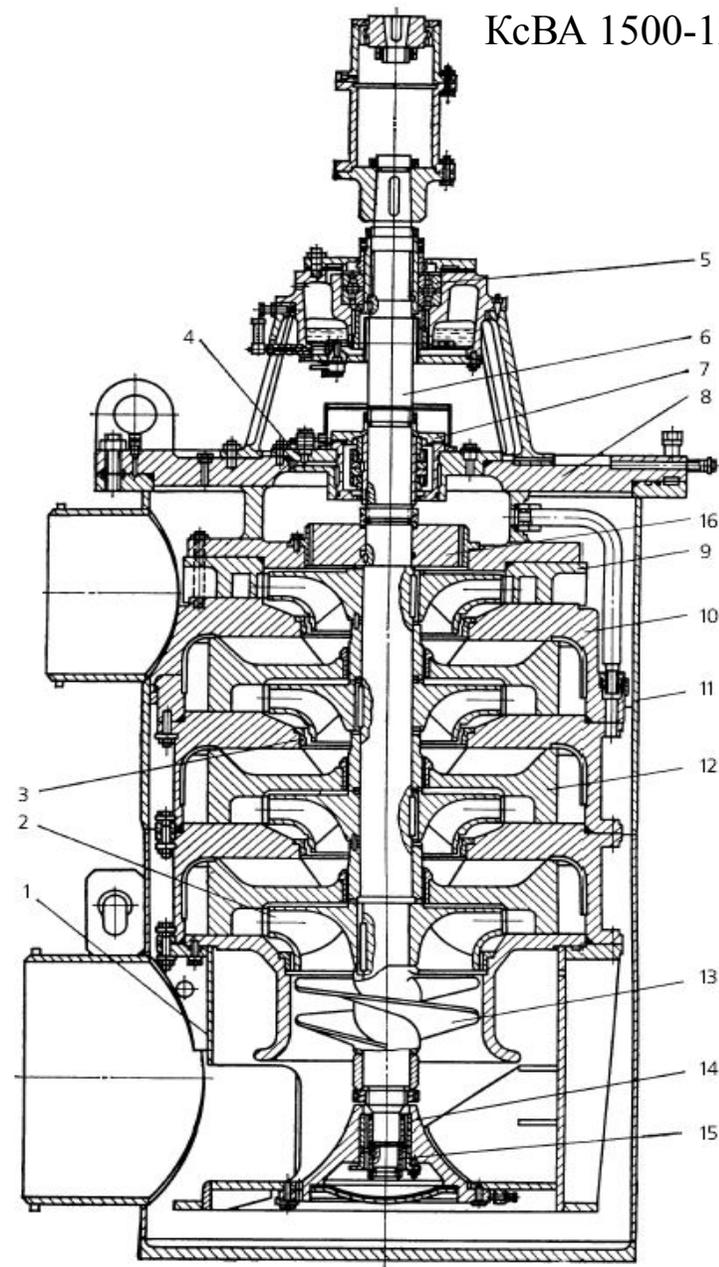
Устройство конденсатного насоса 1-ой ступени



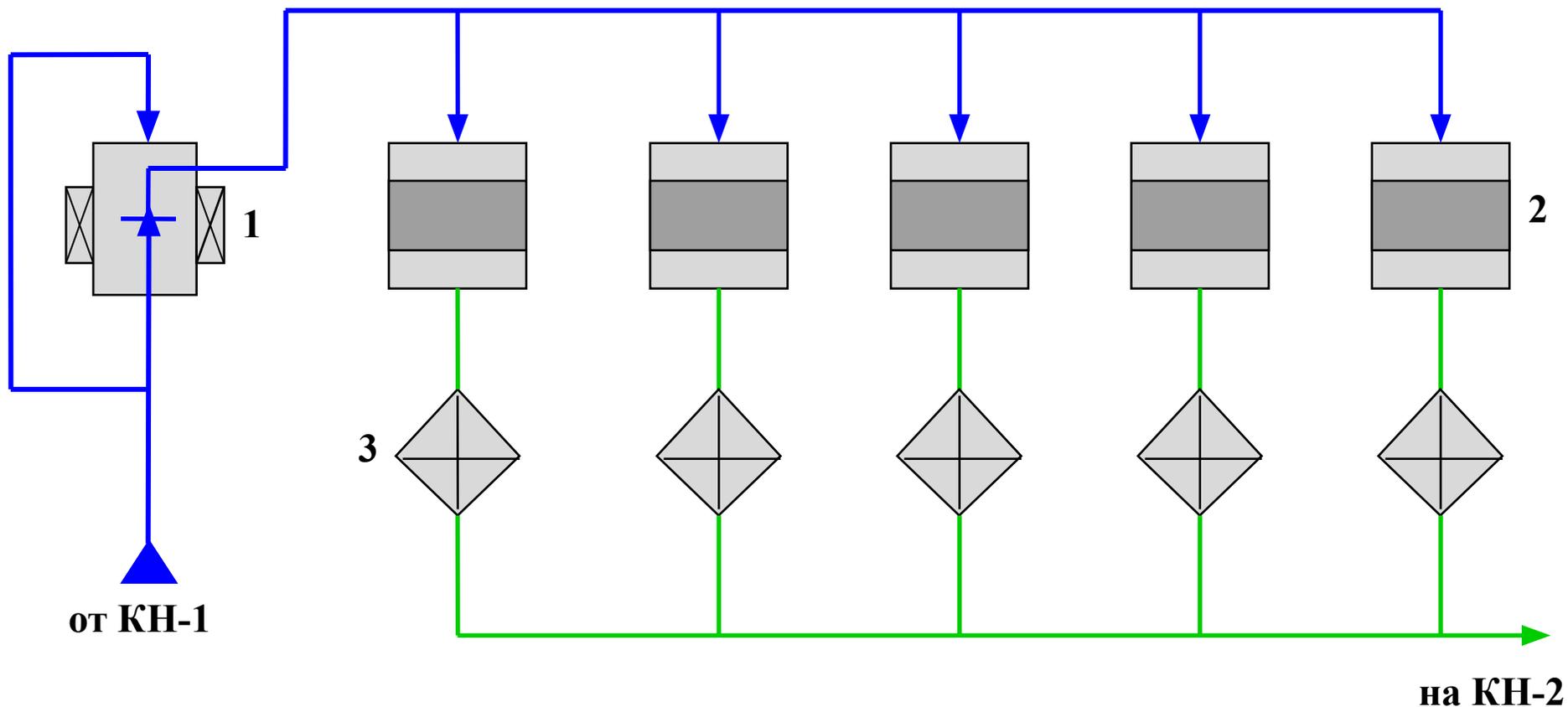
КсВА 1500-120



- 1-корпус подвода
- 2-рабочее колесо
- 3-уплотнение рабочего колеса
- 4-корпус сальника
- 5-подшипник качения
- 6-вал
- 7-концевое уплотнение
- 8-напорная крышка
- 9-внутренний корпус
- 10-секция
- 11-наружный корпус
- 12-направляющий аппарат
- 13-предвключенное колесо
- 14-подшипник скольжения
- 15-подающий винт
- 16-гидравлический поршень

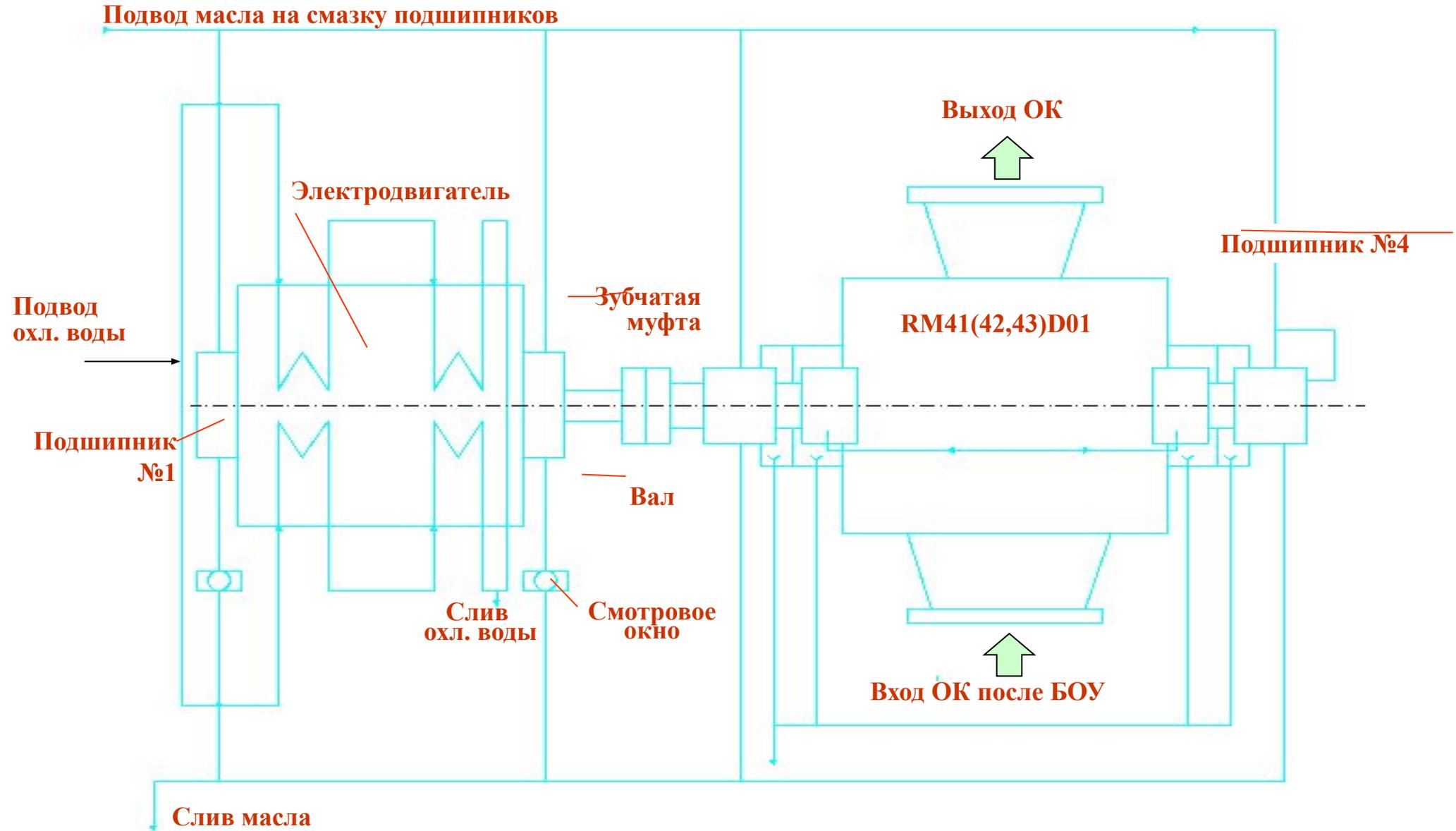


БОУ - принципиальная схема установки очистки ОК



- 1 - электромагнитный фильтр (ЭМФ)
- 2 - фильтр смешанного действия (ФСД)
- 3 - ловушка зернистого материала (ЛЗМ)

Схема обвязки КН-2 ст.

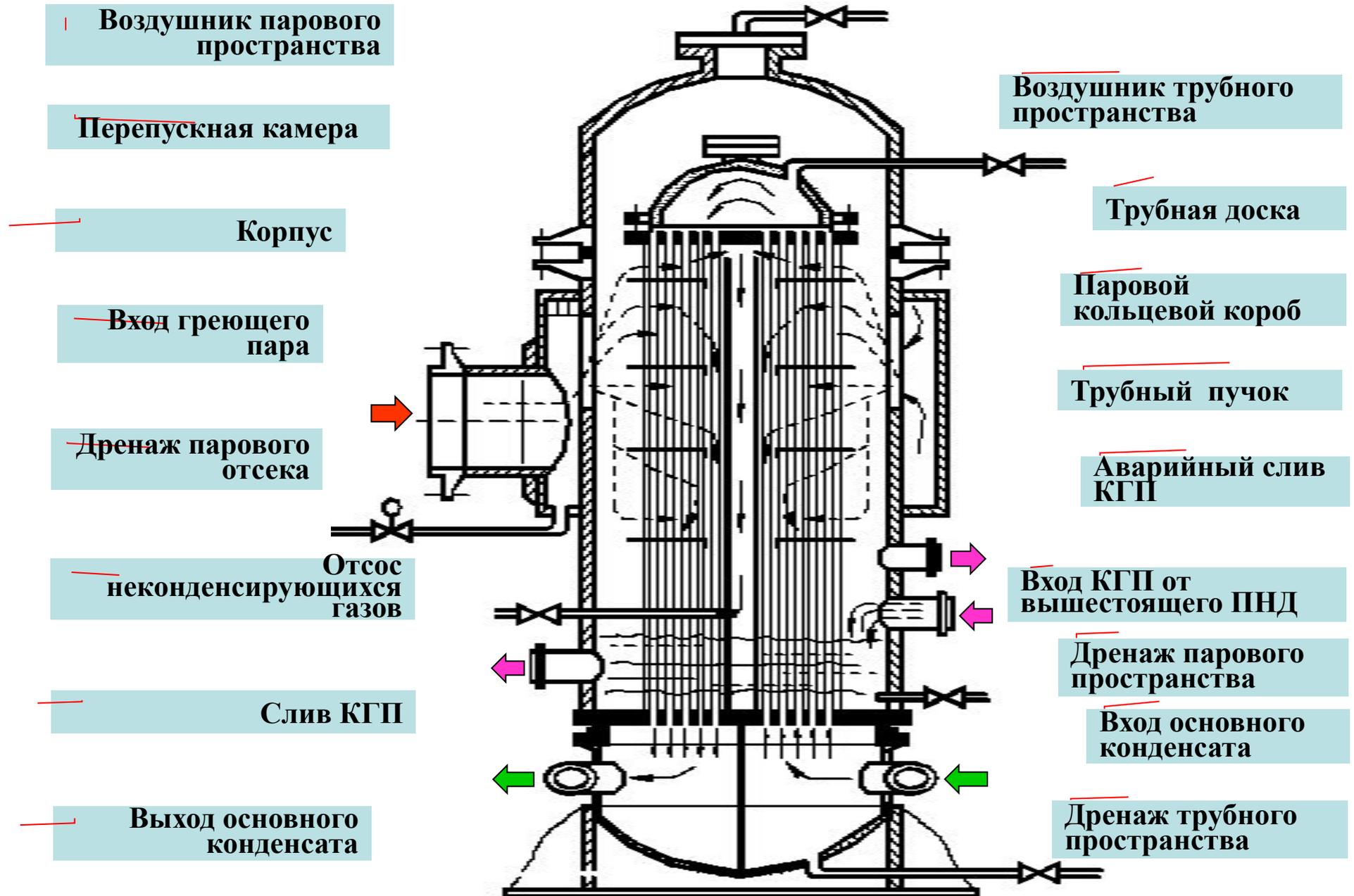


Характеристики конденсатных насосов



Показатели	Ед. изм.	КЭН-1ст	КЭН-2ст
Тип		КСВА-1500-120	КСА-1500-240-2А
Производительность	м ³ /час	450-1850	400-1850
Напор	мвс	95	170
Частота вращения	об/мин	740	2975
Давление на входе	кгс/см ²	2	3
Т-ра перекачиваемой жидкости	°С	70	70
Эл.напряжение двигателя	кВ	6,0	6,0
Мощность эл.двигателя	кВт	1000	1600

Подогреватель низкого давления

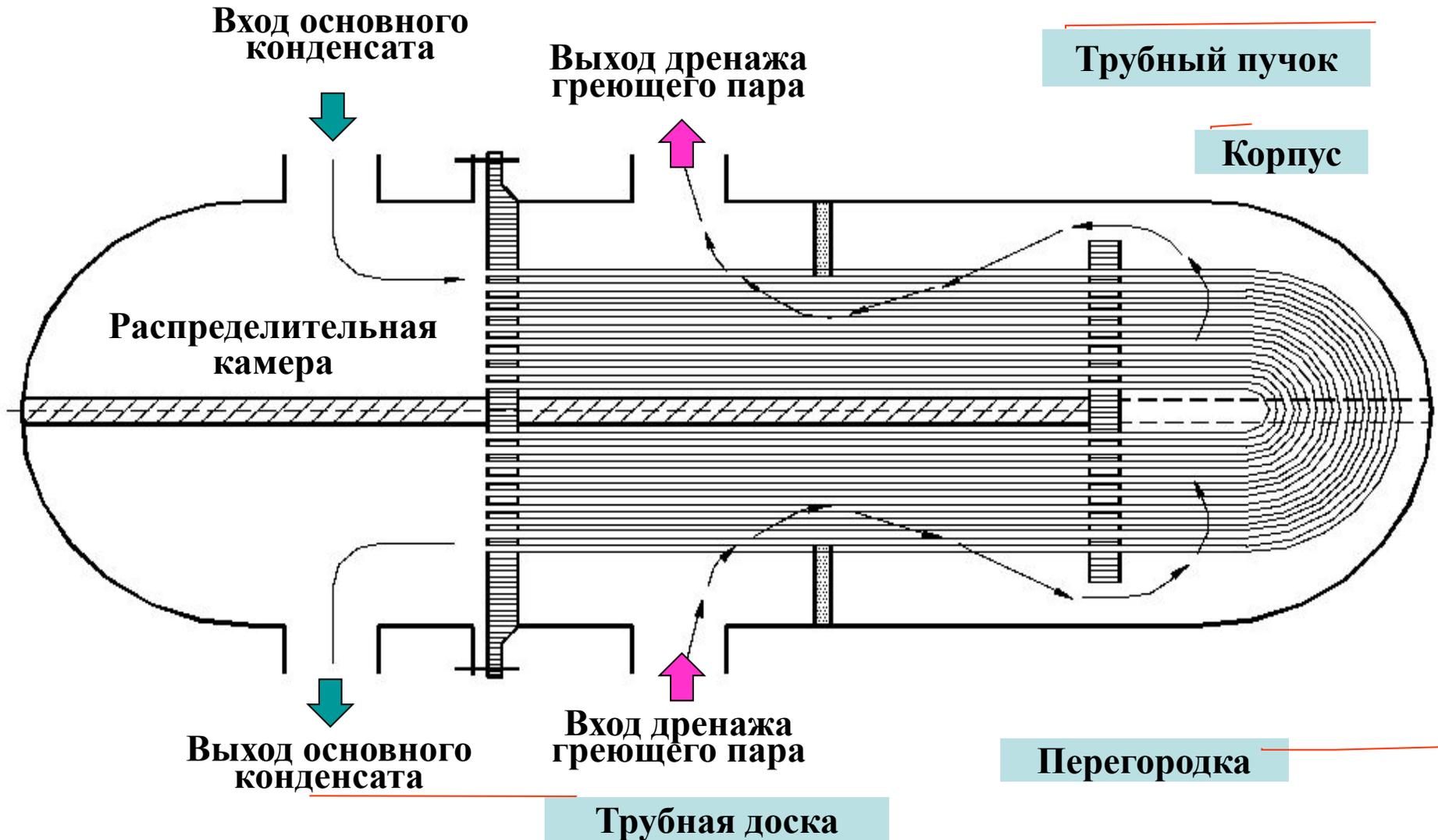


Технические характеристики ПНД



Показатели	Размер.	ПНД-1	ПНД-2	ПНД-3	ПНД-4
Тип		ПН 1200-25-6-1А	ПН 1200-25-6-ПА	ПН 3000-25-16-ПА	ПН 3000-25-16-IVА
Расход ОК	т/ч	3737,6	4032,6	4037,6	4750
Расход пара	т/ч	56,9	72,4	293	171,2
Расчетное Р в трубной части	кгс/см ²	25	25	25	25
Расчетное Р паровой части	кгс/см ²	5	5	15	15
Рабочее Р в трубной части	кгс/см ²	15	13	12	11
Рабочее Р в корпусе	кгс/см ²	0,69	0,79	3,02	5,61
Температура ОК на входе	°С	31,3	61,2	89,2	128,1
Температура ОК на выходе	°С	58	89,2	126,5	150,7
Поверхность нагрева	м ²	1200	1200	3000	3000

Охладитель дренажа ПНД

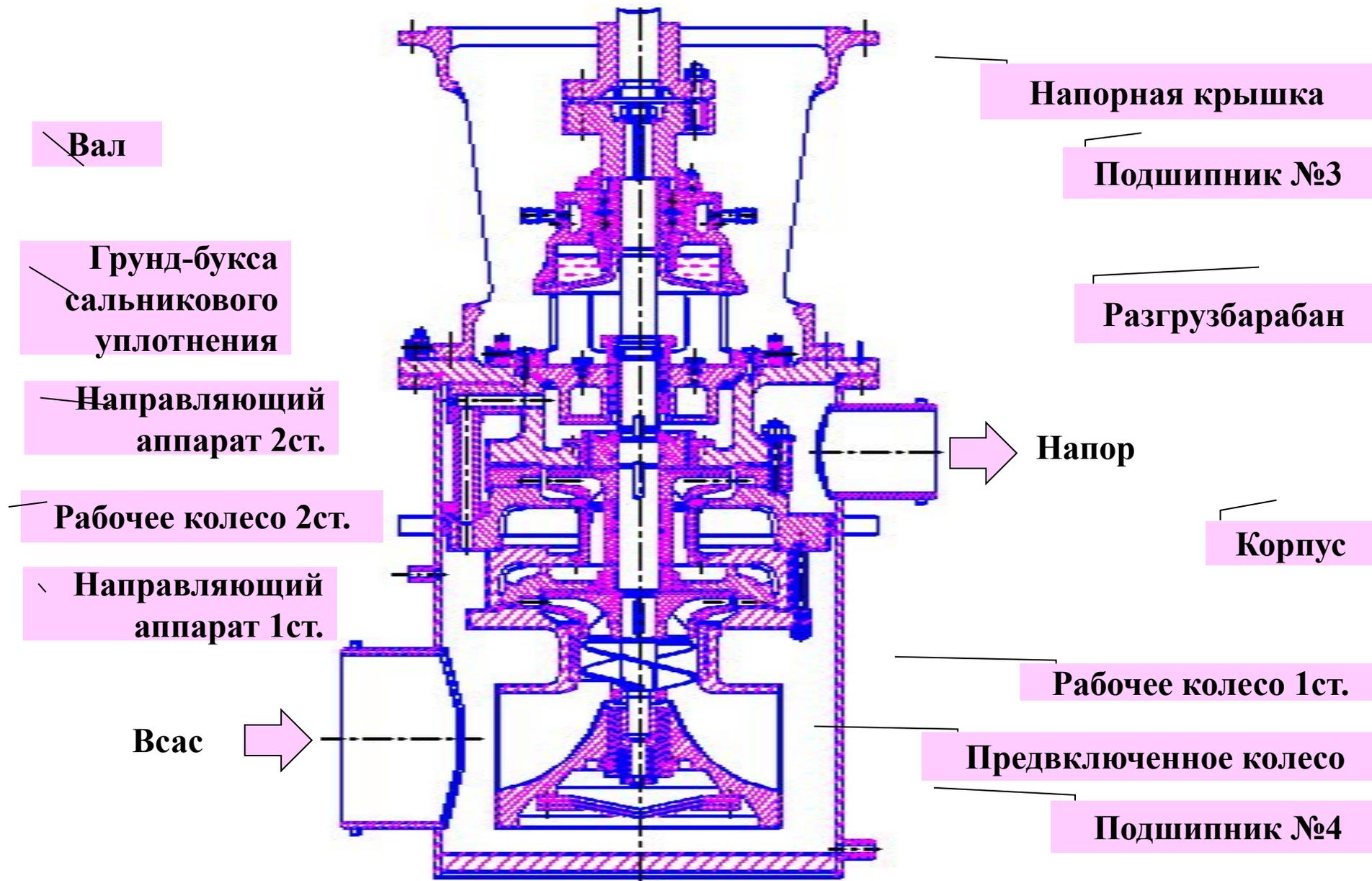


Технические характеристики Од



Наименование показателей	Размерность	ОД-2 (RN60W01)	ОД-4 (RN40W01)
Тип		ОДП 500-25-16-IA	ОДП-500-25-16-IVA
Расход к.г.л.	т/ч	230	383
Расход ОК	т/ч	2600	2600
Т-ра ОК на входе	°С	124,3	128,1
Т-ра ОК на выходе	°С	129,3	132,1
Расчетное Р трубного пространства	кгс/см ²	26	26
Расчетное Р межтрубного пространства	кгс/см ²	16	16
Количество труб	шт.	2624	2624
Поверхность нагрева	м ²	505	505

Сливной насос ПНД-3 типа КсВА 630-125

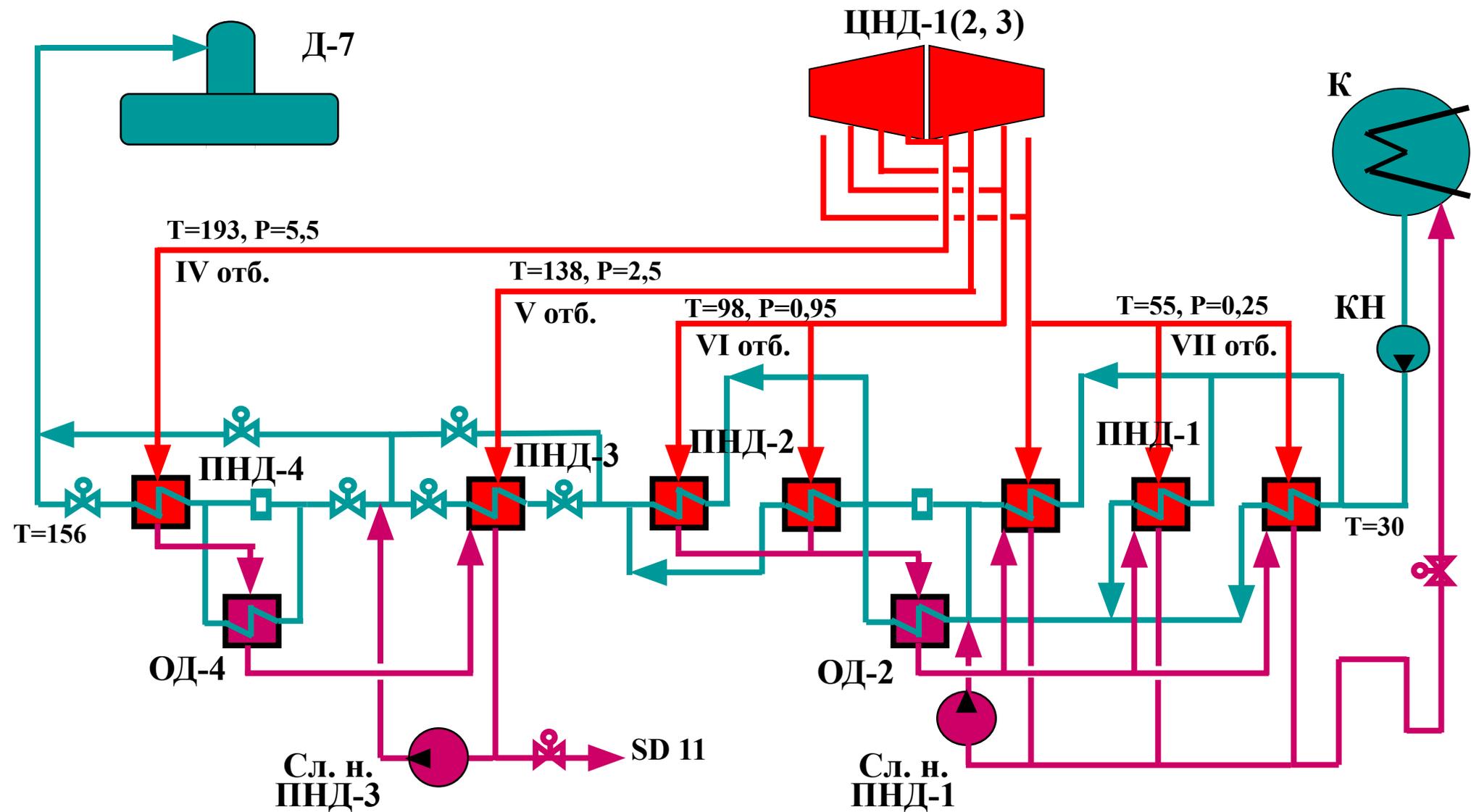


Характеристики сливных насосов ПНД



Показатели	Размер.	СН ПНД-1	СН ПНД-3
Тип		КсВА-360-160	КсВА-630-125
Производительность	т/час	360	630
Напор	м.в.с	160	125
Частота вращения	об/мин	1480	1480
Давление на входе	кгс/см ²	1,5	2,7
Эл.напряжение двигателя	кВ	6	6
Мощность эл.двигателя	кВт	315	500

Принципиальная схема регенерации низкого давления

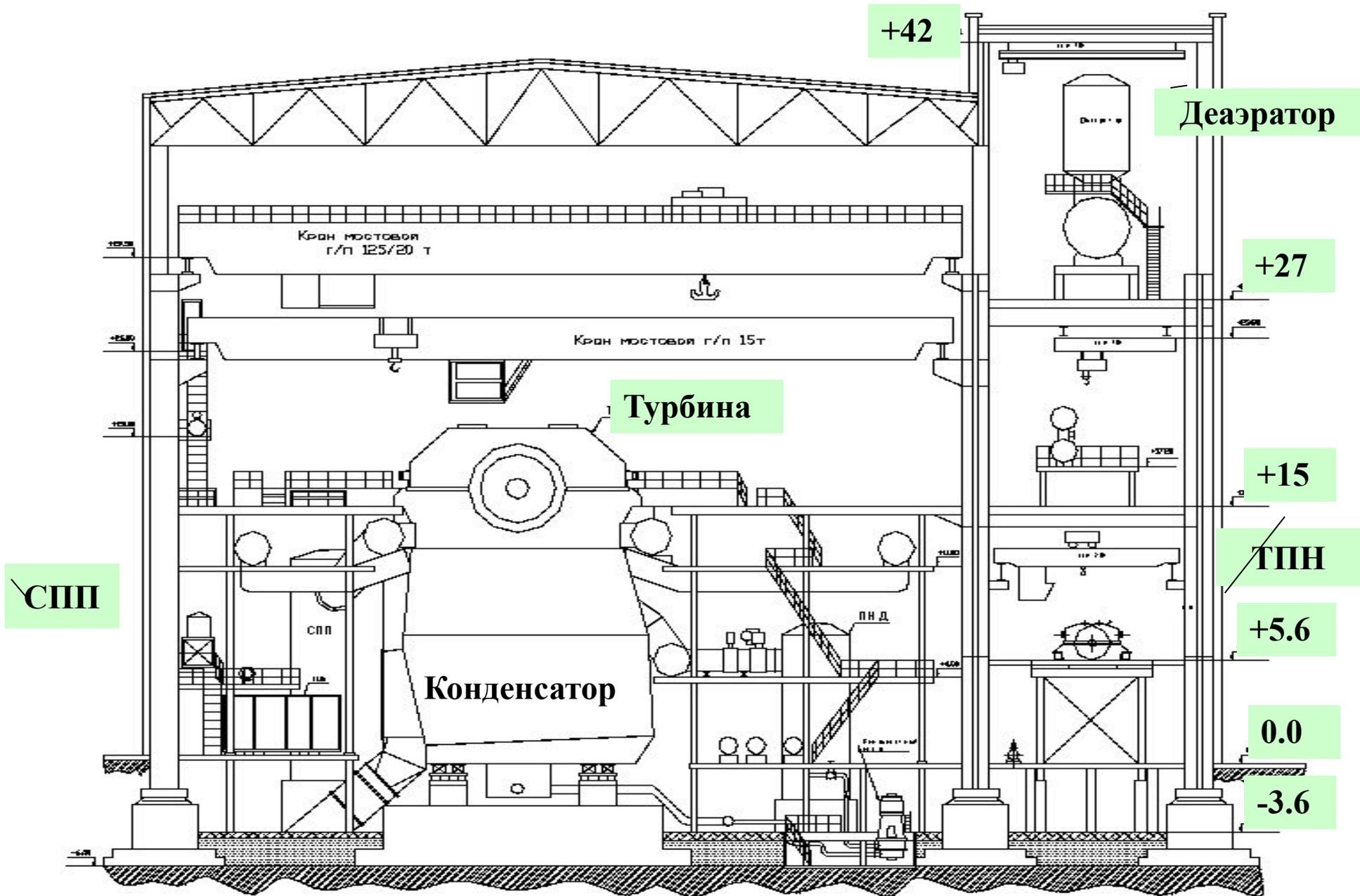




Назначение деаэрационной установки

- деаэрация основного конденсата путём нагрева его до температуры насыщения, при которой растворимость газов (O_2 , CO_2 и прочих) стремится к нулю
- создание необходимого запаса воды в баках-аккумуляторах RL21,22B01 для компенсации небаланса между расходом питательной воды и расходом основного конденсата на период переходных режимов
- использование в качестве источника постоянного давления для обеспечения бескавитационного режима работы предвключенных насосов и ВПЭН
- питание паром основных эжекторов, эжектора отсоса из концевых уплотнений и подачи пара на концевые уплотнения ТГ и ТПН
- подогрев питательной воды

Компоновка турбинного отделения (поперечный разрез)



Конструкция деаэратора



Перфорированная струйная тарелка

Патрубок выпара

Смесительно-распределительные устройства

Патрубок подачи основного конденсата

Струйный отсек

Пароперепускная труба

Переливная тарелка

Коллектор подачи греющего пара

Барботажный лист

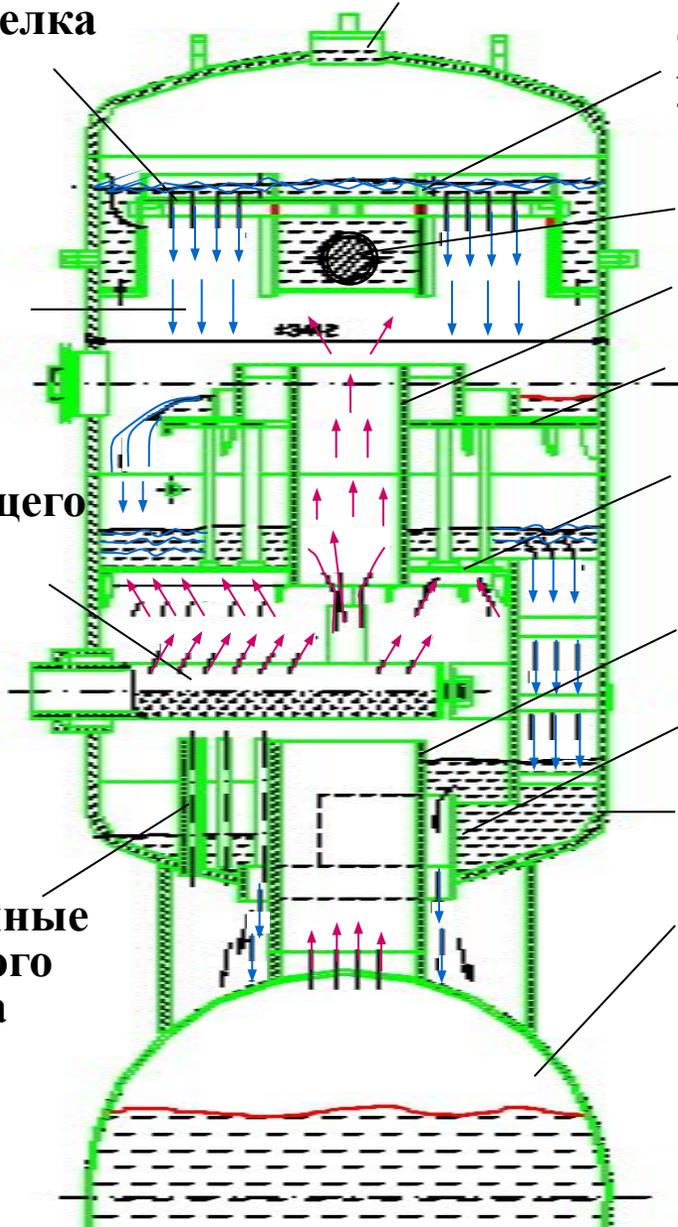
Выпарная труба

Горловина

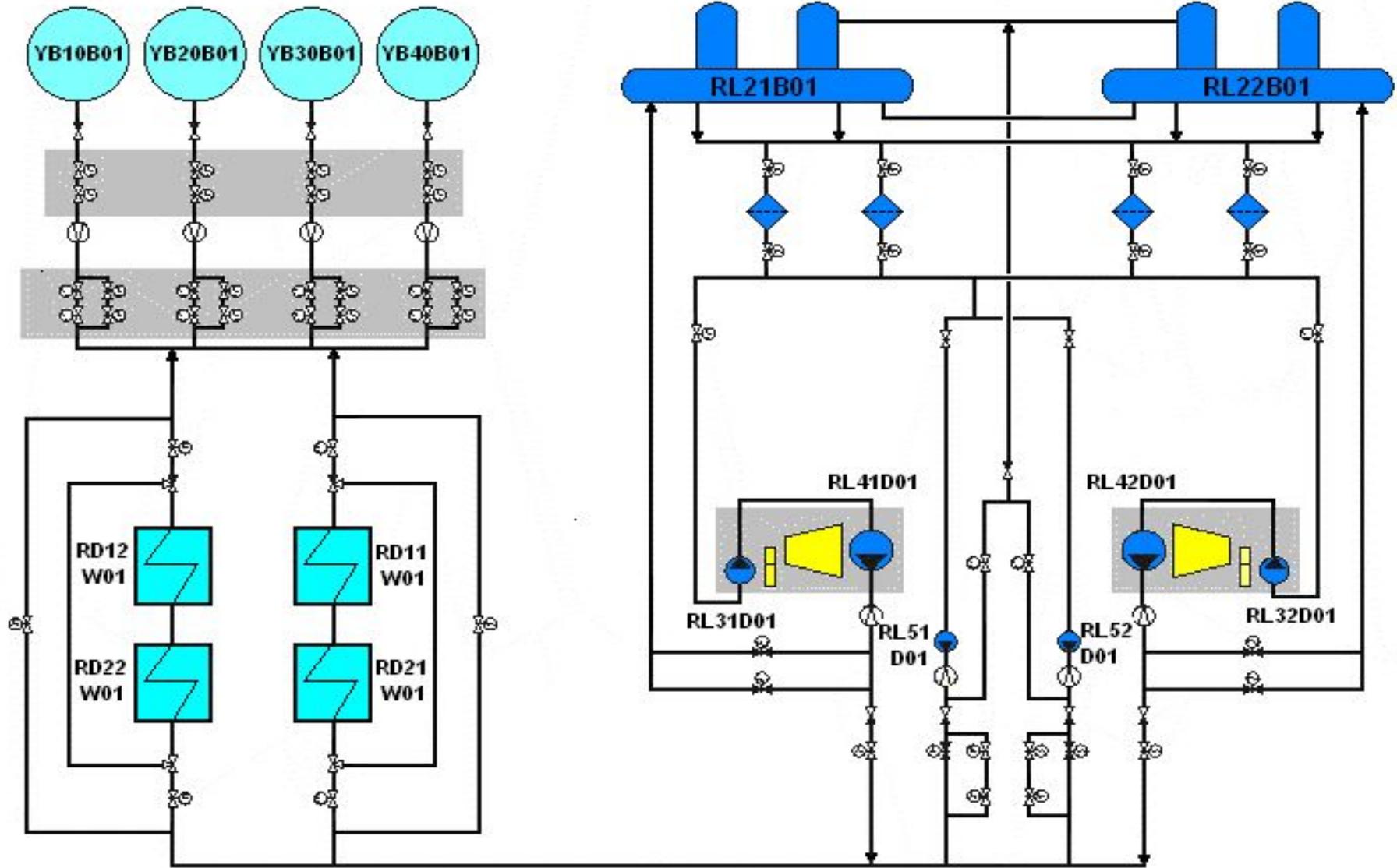
Деаэрационная колонка

Вентиляционные трубы парового пространства

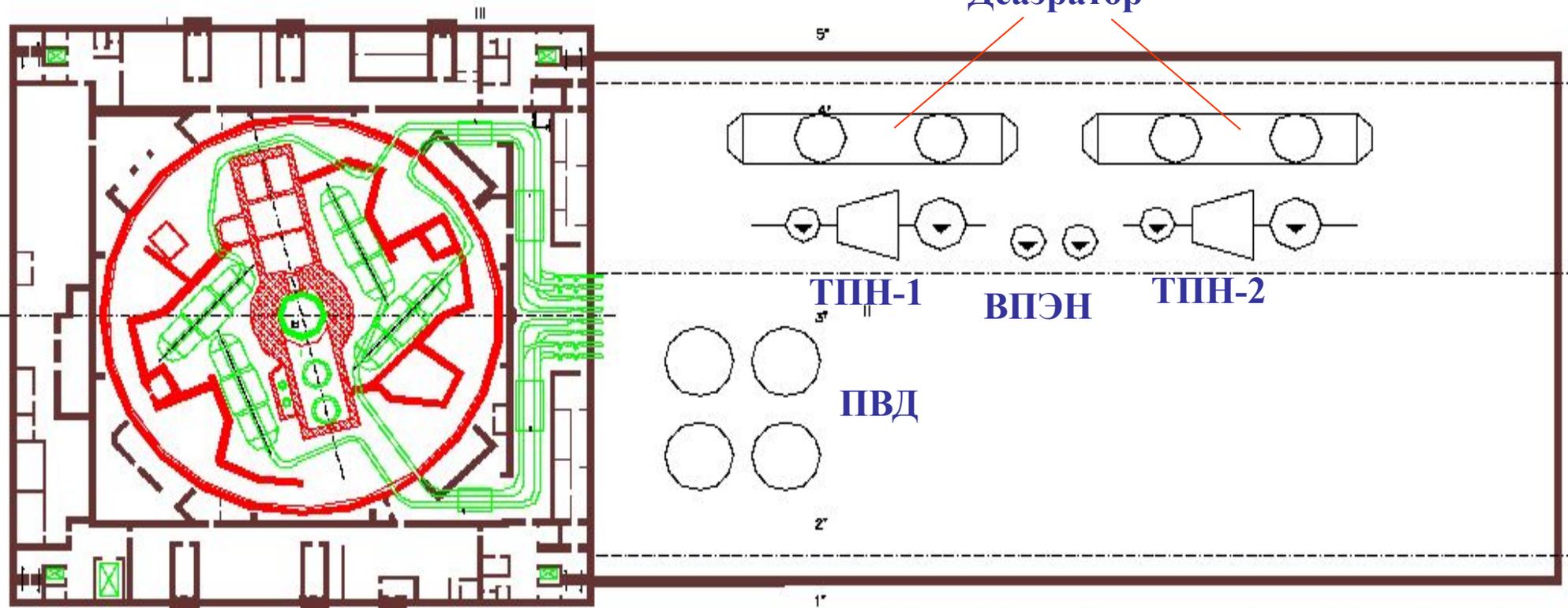
Бак-аккумулятор



Система питательной воды



План расположения оборудования системы RL



Бустерный насос



Подача воды на уплотнения

Опорный подшипник

Упорный подшипник

Слив масла

Масло на смазку

Воздушник

Рабочее колесо

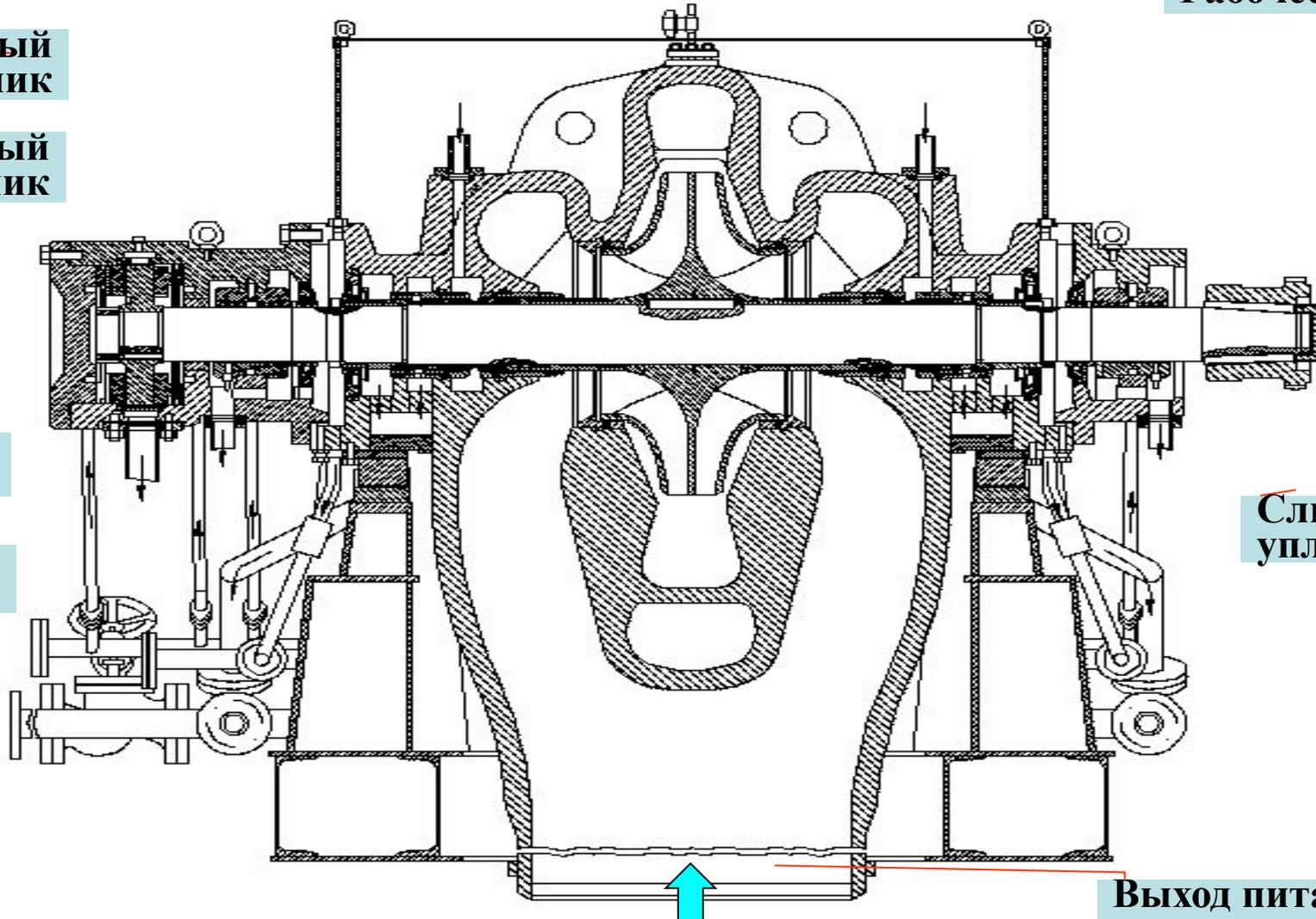
Корпус

Ротор

Слив с уплотнений

Выход питательной воды

Вход питательной воды

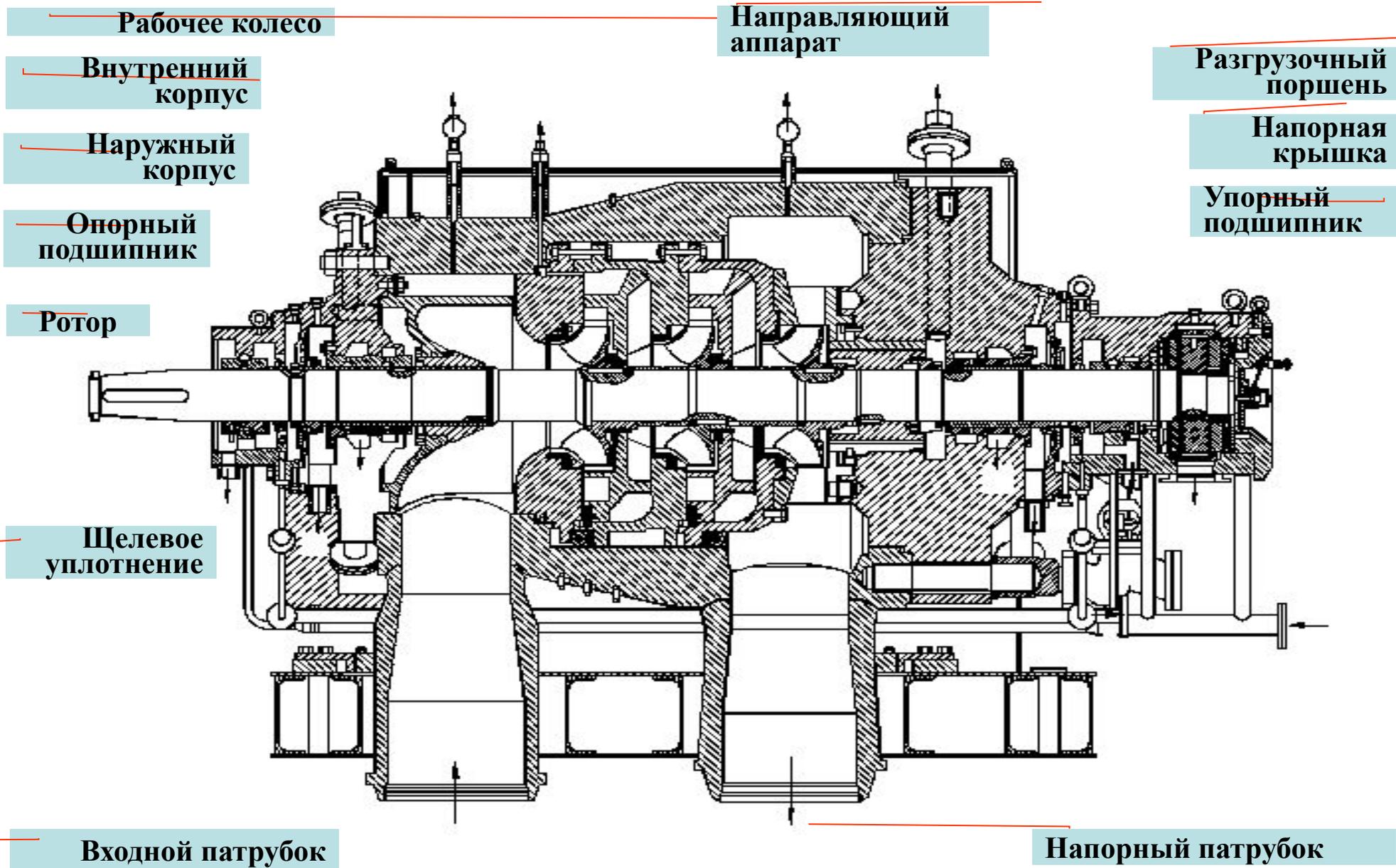




Характеристики бустерного насоса

Наименование показателя	Единица измерения	Допускаемое значение
Тип		ПТА 3800-20-1
Подача	м ³ /ч	3800
Частота вращения	об.мин. ⁻¹	1800
Напор	кгс/см ²	17
Допустимый кавитационный запас	кгс/см ²	Не менее 1,6
Давление воды на входе в насос	кгс/см ²	7,7
Давление воды на выходе из насоса	кгс/см ²	24,7
Допустимое давление воды на входе в насос	кгс/см ²	16,0
Предельно допустимое давление на выходе из насоса	кгс/см ²	34,2
Мощность насоса	кВт	1826

Питательный насос

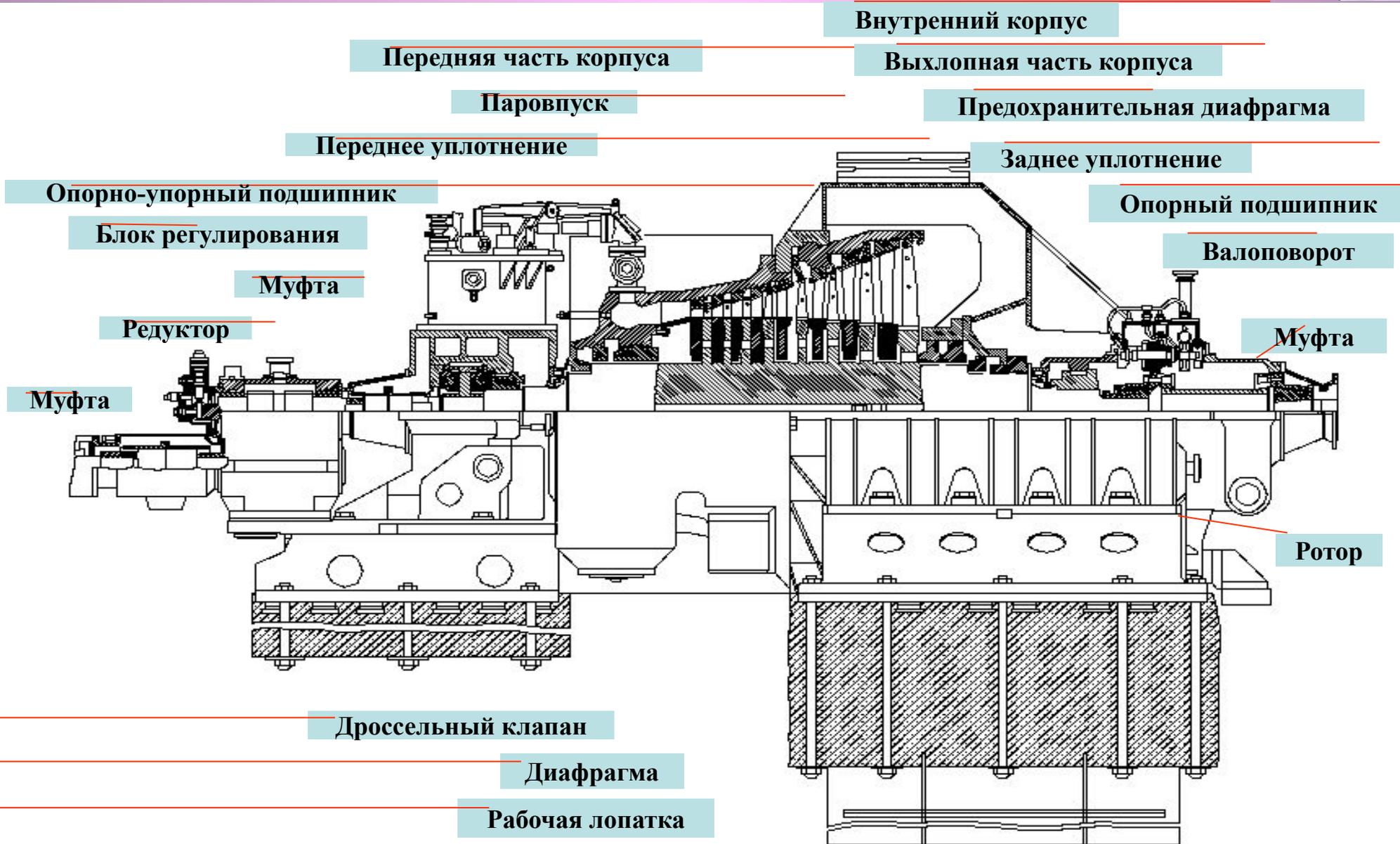


Характеристики питательного насоса



Наименование показателей	Ед. измерен.	Значения
Тип	--	ПТ-3750-75
Производительность	м ³ /час	3760
Давление воды на входе в насос	кгс/см ²	27
Напор	м.вод.ст	808
Давление воды на выходе	кгс/см ²	100
Температура перекачиваемой воды	°С	165
Мощность насоса	кВт	9130
К.П.Д. насоса	%	82
Частота вращения	об/мин.	3500

Турбина ОК-12А



Характеристики турбины ОК-12А



Наименование показателей	Ед. измерения	Номинальные значения
Тип	-	ОК-12А (К-12-10А)
Номинальная мощность	кВт	11600
Номинальная частота вращения	об/мин	3500
Номинальное давление пара перед СК	кгс/см ²	8,9
Номинальная температура пара перед СК	°С	248
Номинальная температура охлаждающей воды	°С	22
Противодавление в конденсаторе при номинальной мощности, температуре охлаждающей воды и ее расходе 4600 м ³ /час	кгс/см ²	минус 0,94
Расход пара через СК при работе турбины на номинальных параметрах по мощности и охлаждающей воде.	т/час	69,5
Общий срок службы	лет	30

ВПЭН



Рабочие колеса

Напорная крышка

Разгрузочный диск

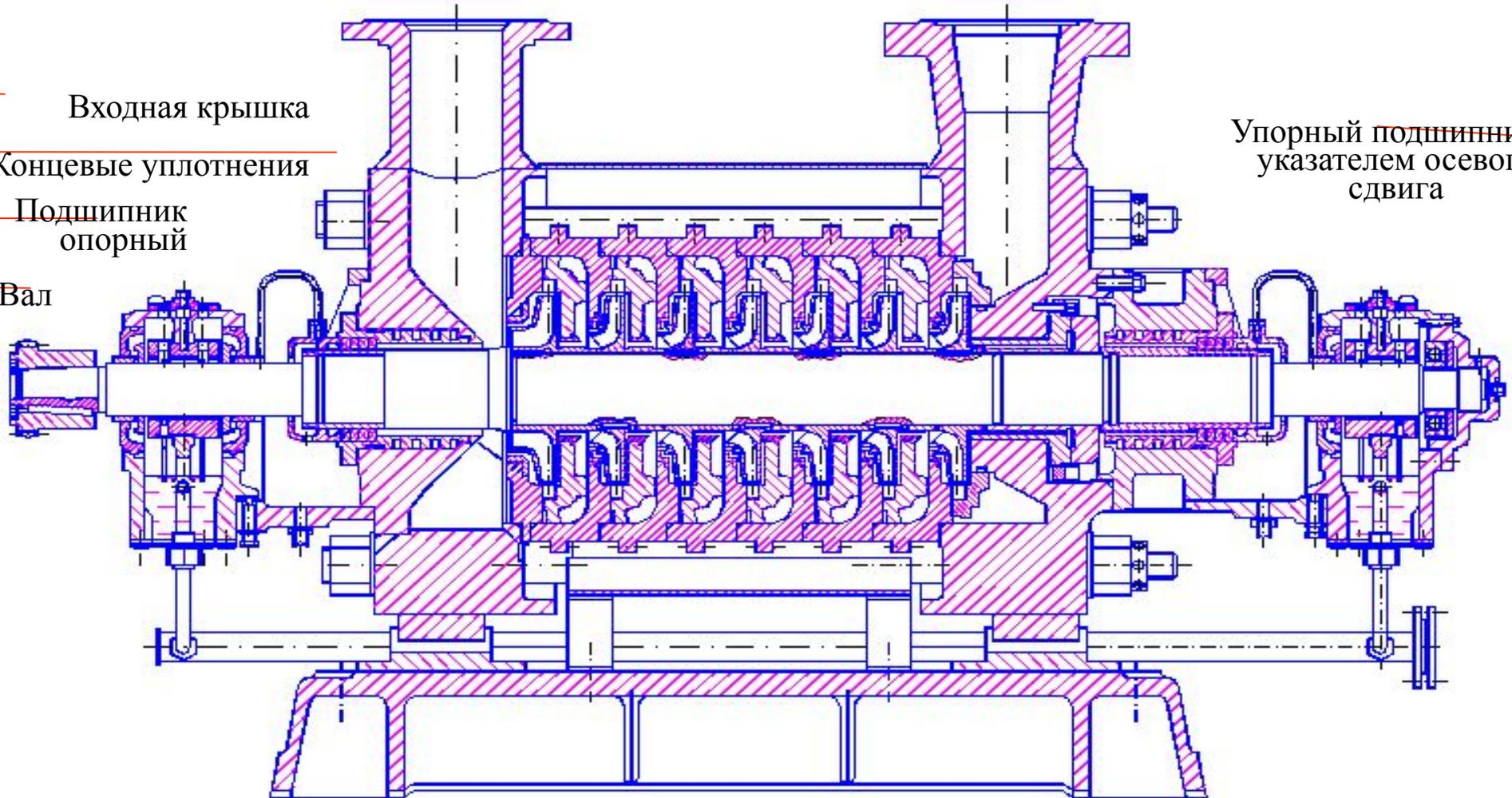
Входная крышка

Концевые уплотнения

Подшипник опорный

Вал

Упорный подшипник с
указателем осевого
сдвига



Технические характеристики ВПЭН

Наименование		Показатель	
Энергоблок	№ 1	№№ 2,3,5,6	№ 4
Тип	ПЭ-150-85	ПЭА-150-85	ЦН-150-30Г
Подача, м ³ /час	150	150	150
Напор, м вод. ст.	910	910	900
Допустимый кавитационный запас, м вод. ст.	11	7,5	7,5
Частота вращения, об/мин	2980	2970	2970
Температуры перекачиваемой воды, °С	5-165	5-165	5-165
Давление на входе не менее, кгс/см ²	7,3	7,3	7,3
Допустимое давление на входе, кгс/см ²	10	10	10
Давление на выходе, кгс/см ²	90	90-93	100-102
К.П.Д. в %, не менее	71	69	71
Мощность, кВт	475	490-540	520
Электродвигатель:			
Напряжение, В	6000	6000	6000
Мощность, кВт	800	800	800
Частота вращения, об/мин	2980	2980	2980

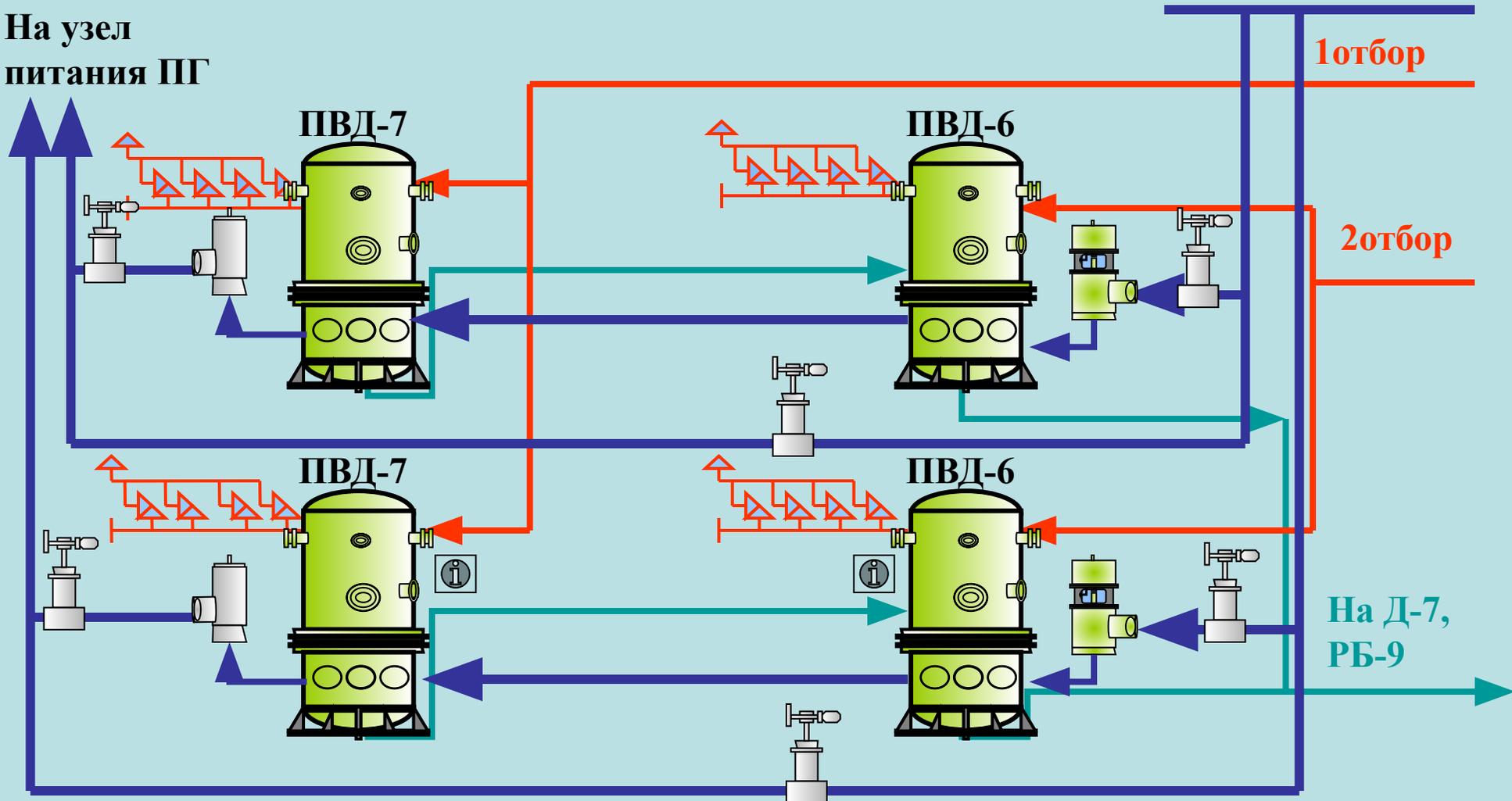
Назначение системы регенерации высокого давления

Подогреватели высокого давления являются основными элементами системы регенерации высокого давления, которая предназначена для подогрева питательной воды турбоустановки К-1000-60/1500-2 паром частично отработавшим в проточной части турбины

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПВД

На узел
питания ПГ

От ТПН (ВПЭН)



1отбор

2отбор

На Д-7,
РБ-9

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПВД-6

Тип	ПВ-2500-97-18А
Поверхность нагрева	2500 м²
Объем водяного пространства	16 м²
Скорость прогрева корпуса	55 °С/час
Расчетное давление в паровой части	21 кгс/см²
Расчетное давление в водяной части	120 кгс/см²
Давление срабатывания предохранительных клапанов	24,15 кгс/см²
Объем парового пространства	79 м²
Номинальный расход питательной воды	3266 т/ч

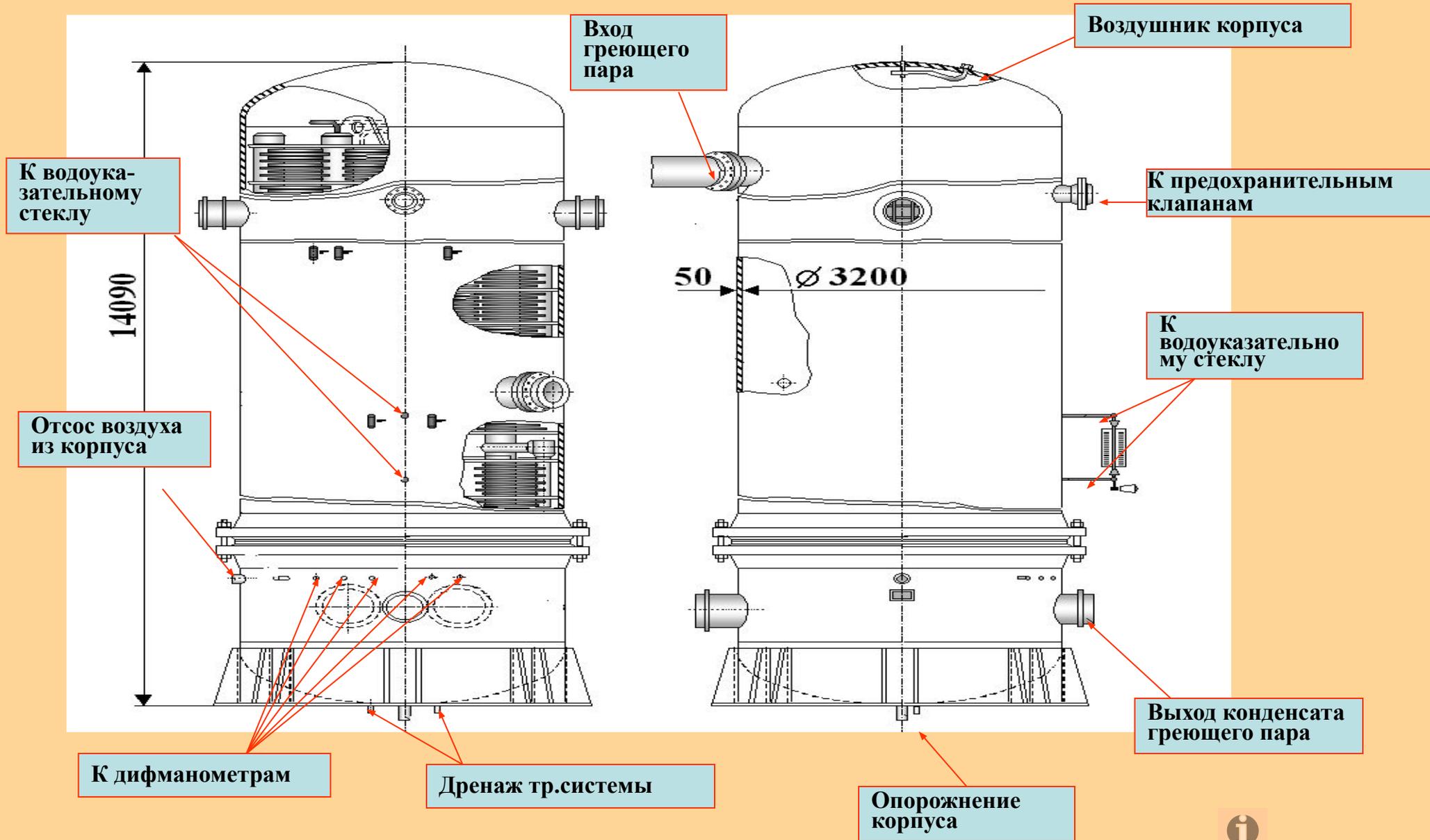


ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПВД-7

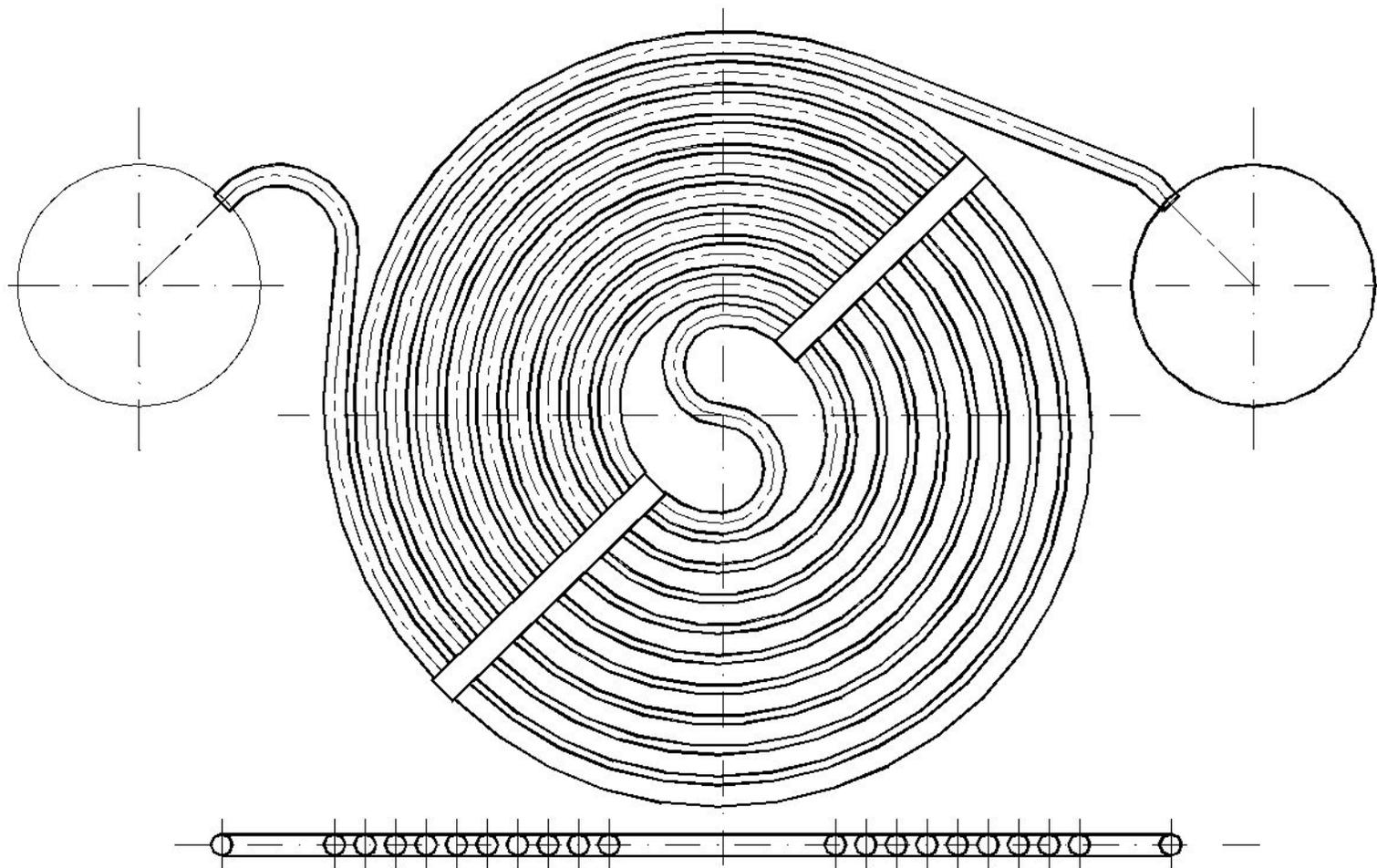
Тип	ПВ-2500-97-28А
Поверхность нагрева	2500 м²
Объем водяного пространства	16 м²
Скорость прогрева корпуса	55 °С/час
Расчетное давление в паровой части	36 кгс/см²
Расчетное давление в водяной части	120 кгс/см²
Давление срабатывания предохранительных клапанов	41,4 кгс/см²
Объем парового пространства	79 м²
Номинальный расход питательной воды	3266 т/ч



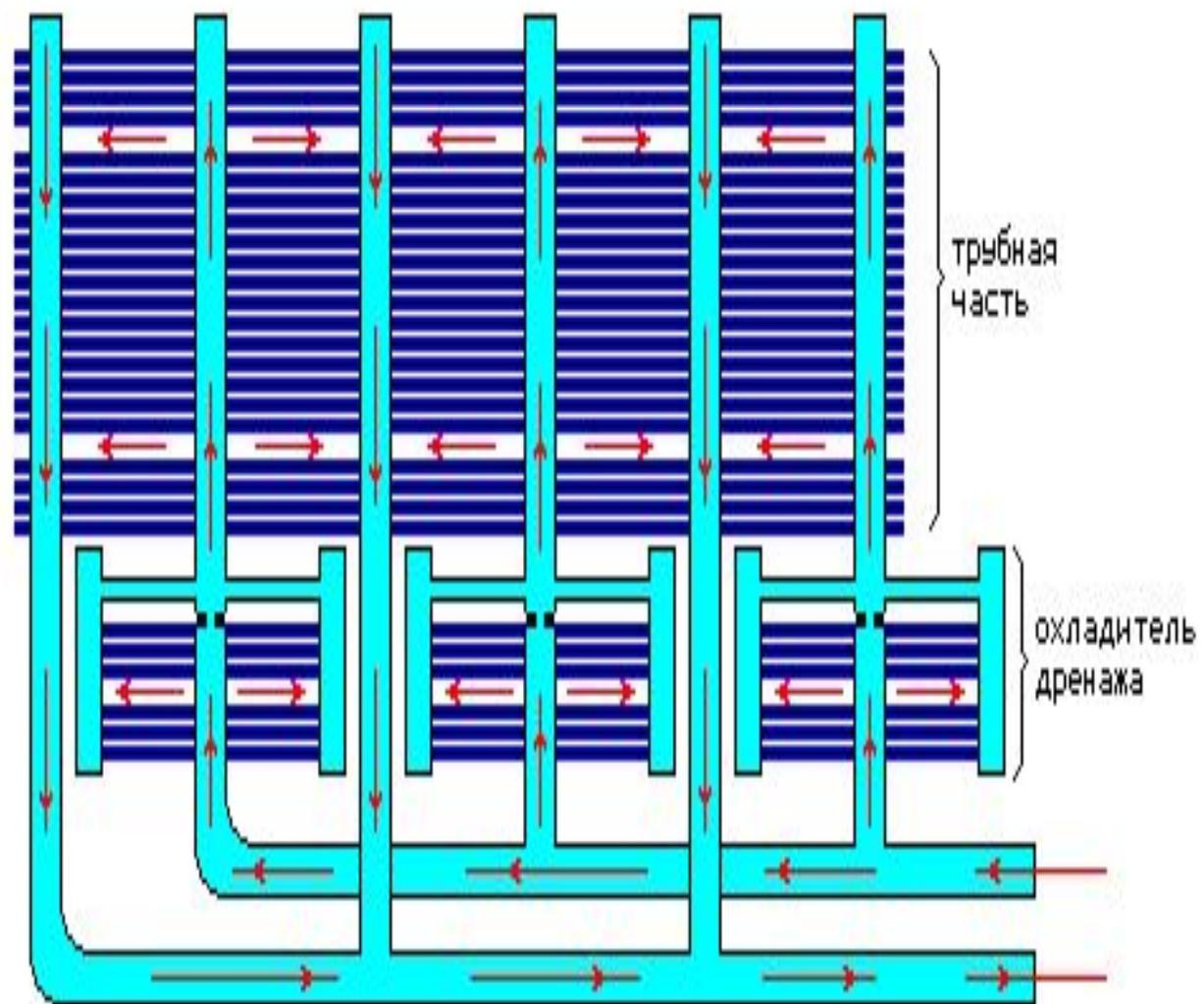
ПОДОГРЕВАТЕЛЬ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ



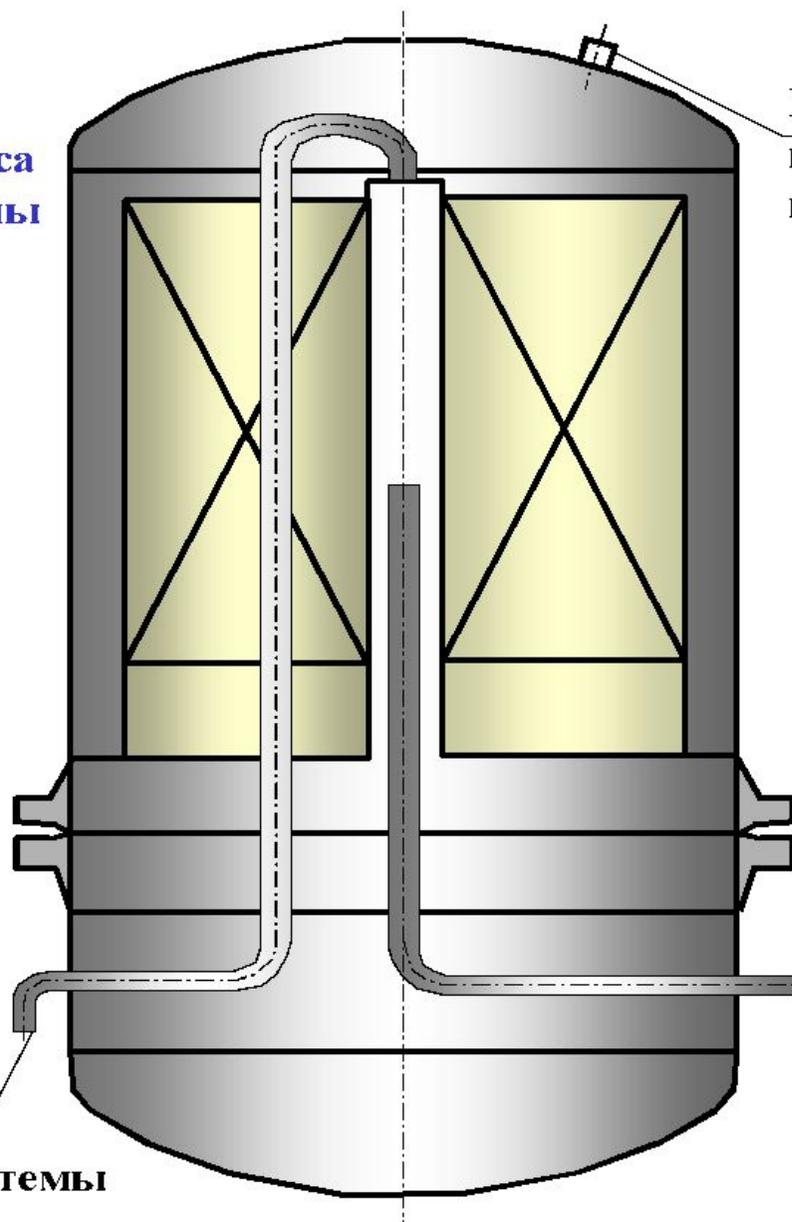
Спиральный змеевик трубной части подогревателей высокого давления



D=32x4 мм; Шаг витков и расстояние между ярусами 36 мм.



**Схема отсоса
воздуха из корпуса
и трубной системы**

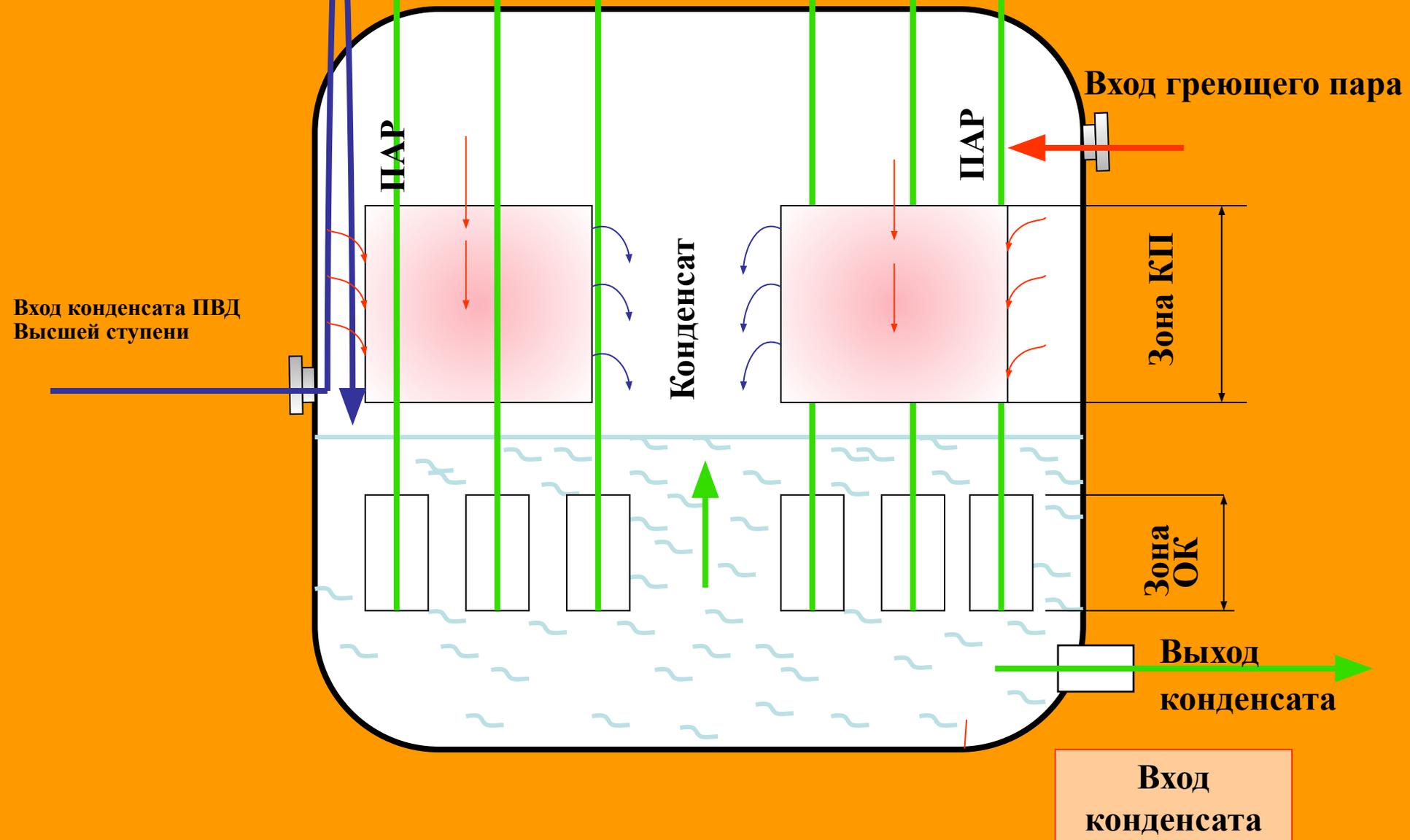


**Вытеснение
воздуха из
корпуса**

**Вытеснение
воздуха из
трубной системы**

**Отсос
неконденсирующихся
газов из корпуса**

Схема движения пара и конденсата греющего пара в ПВД



Защиты и блокировки регенерации высокого давления

Защита по повышению уровня конденсата греющего пара в корпусах ПВД-6,7А,Б **более 3440 мм (1 предел).**

Защита по повышению уровня конденсата греющего пара в корпусах ПВД-6,7А(Б) **более 5440 мм. (2 предел).**

Блокировка на открытие задвижек байпасов по питательной воде при повышении уровня КГП в корпусах ПВД-6,7А(Б) **более 3140 мм**

ВЛИЯНИЕ ОТКАЗОВ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА РАБОТУ БЛОКА

При отключении одной группы ПВД происходит снижение мощности ТГ \approx на 10МВт.

При отключении двух групп ПВД происходит снижение мощности ТГ $\square \approx$ на 30МВт.

При отключении 2-х групп ПВД по повышению уровня до 2-го предела отключается ТГ, 2-ТПНа, а через 2-мин., при подтверждении 2-го предела, отключаются оба ВПЭНа.

Конструкция парогенератора ПГВ-1000



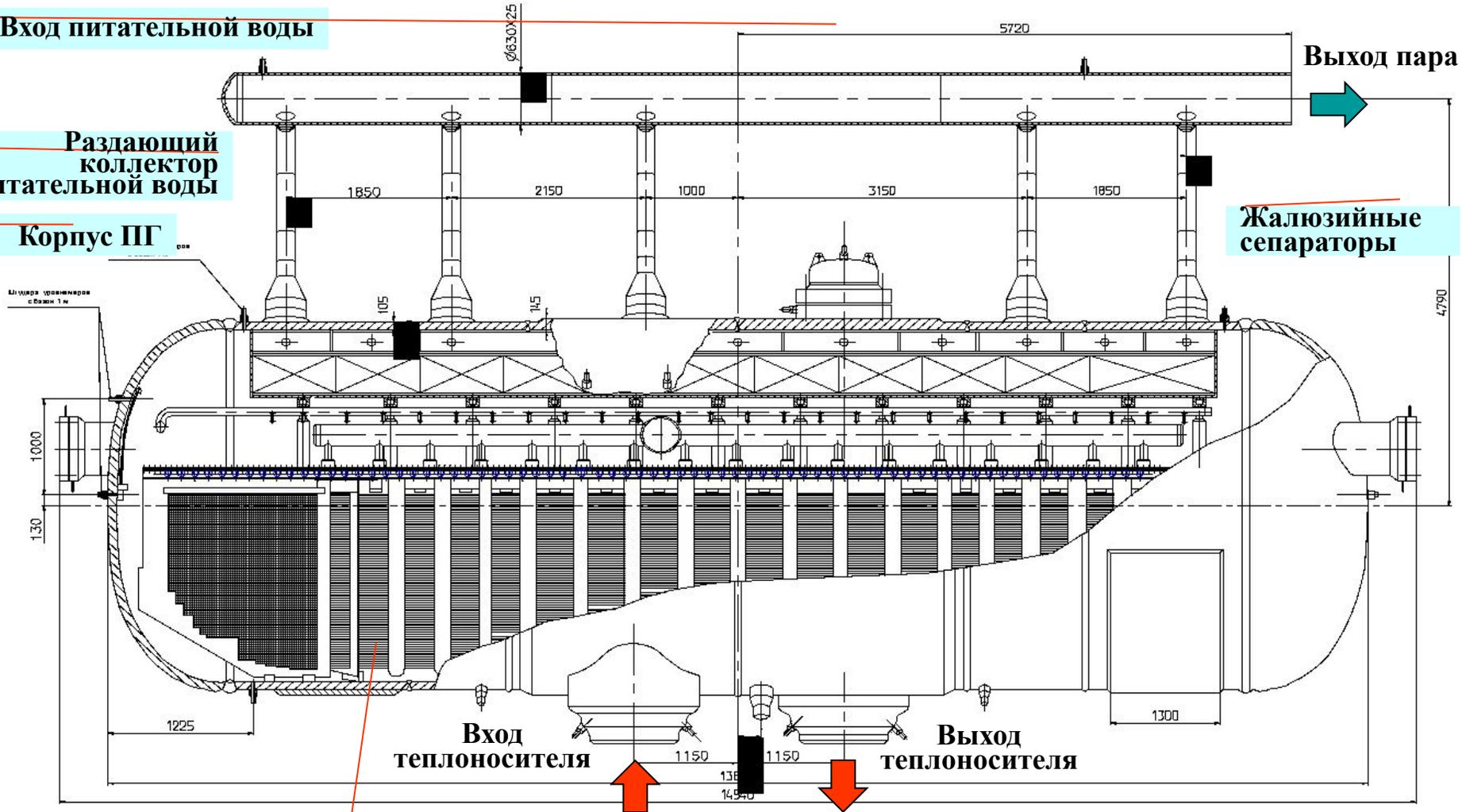
Вход питательной воды

Раздающий коллектор питательной воды

Корпус ПГ

Выход пара

Жалюзийные сепараторы



Поверхность теплообмена

Характеристики парогенератора



Число корпусов на блок	4
Тепловая мощность одного корпуса, МВт	750
Паропроизводительность, т/ч	1469
Давление пара на выходе, МПа	6,4
Влажность пара, %	0,2
Температура питательной воды, °С	220
Температура греющей воды на входе, °С	322
Температура греющей воды на выходе, °С	289
Скорость греющей воды, м/с	4,89
Диаметр/длина корпуса, м	3,7/13
Число трубок	15648
Размеры трубок, мм	12×1,2
Масса, т	265

Принципиальная тепловая схема двухконтурной АЭС

