

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

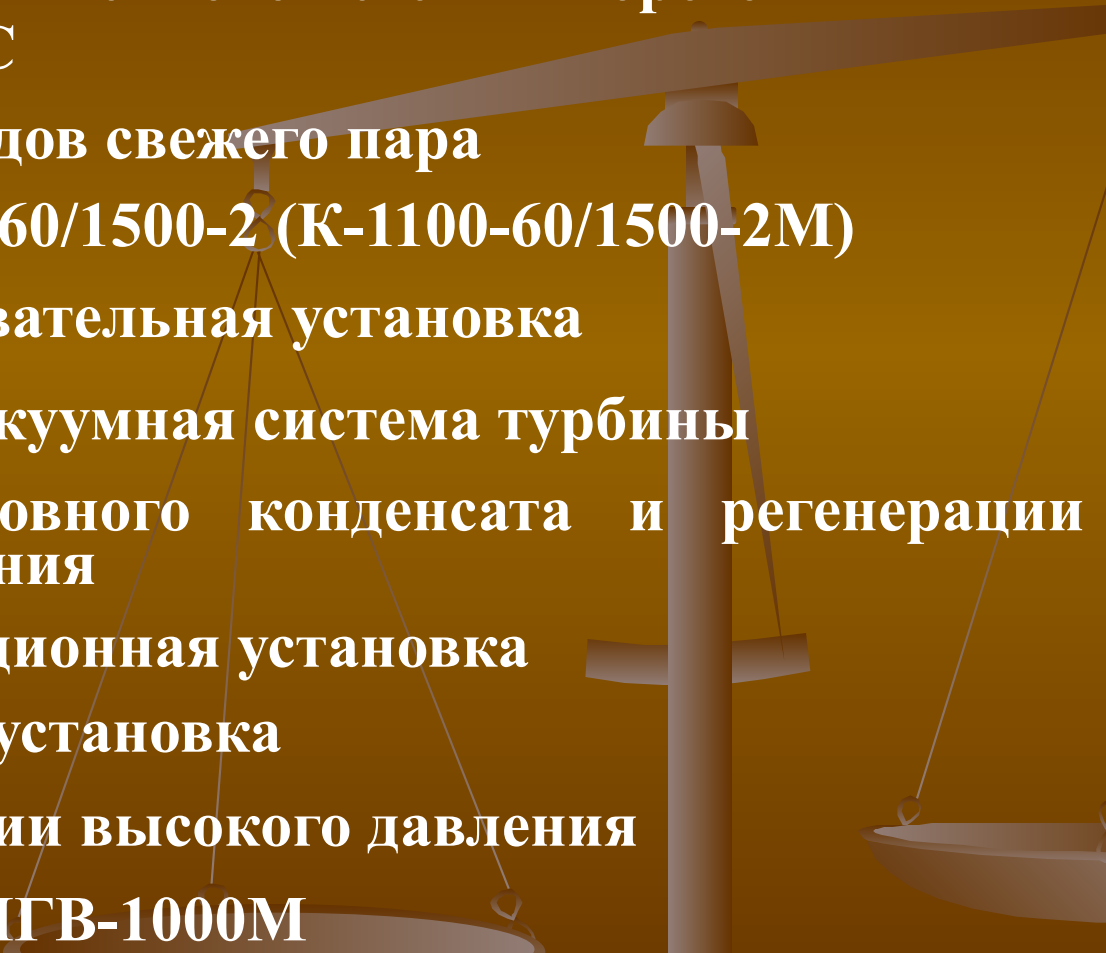
ПЦ-2 Указать расположение основного оборудования

ПЦ-3 Описать конструкцию и принцип работы основного оборудования

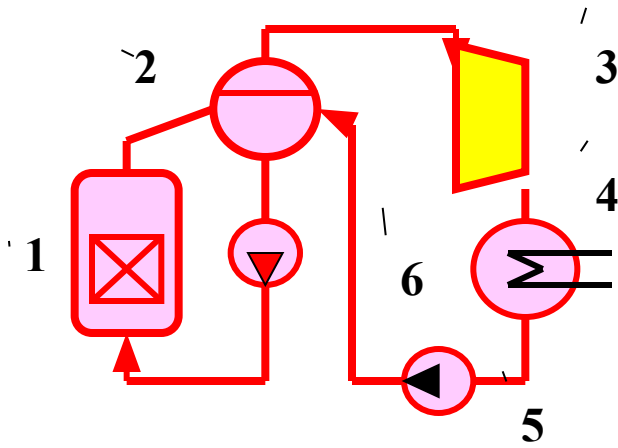
ПЦ-4 Объяснить взаимодействие первого и второго контуров и регулирование основных технологических параметров блока



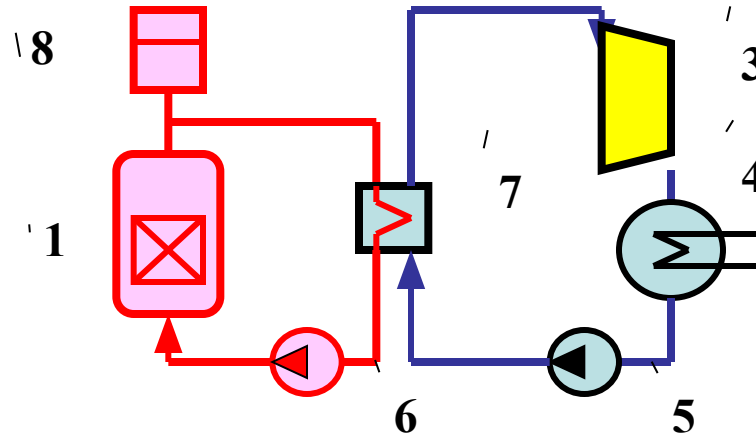
Порядок проведения занятия

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

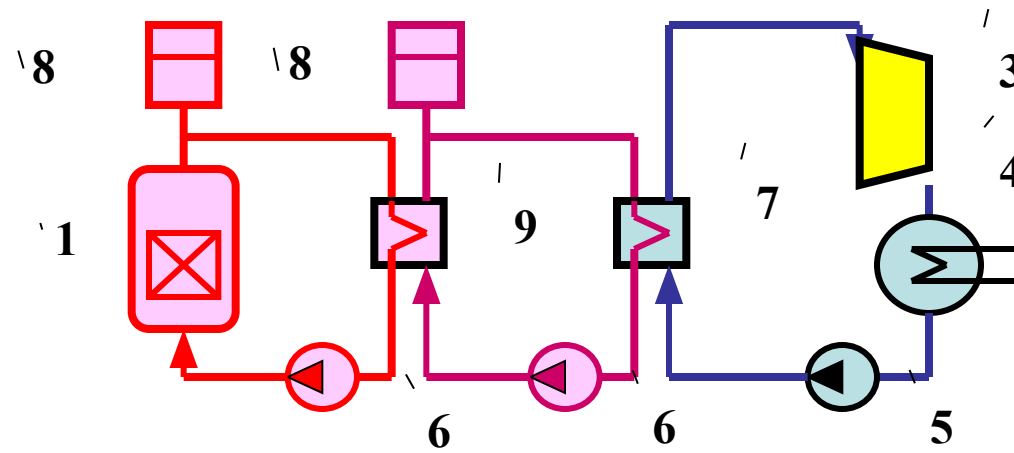
5-питательный насос

6-ГЦН

7-парогенератор

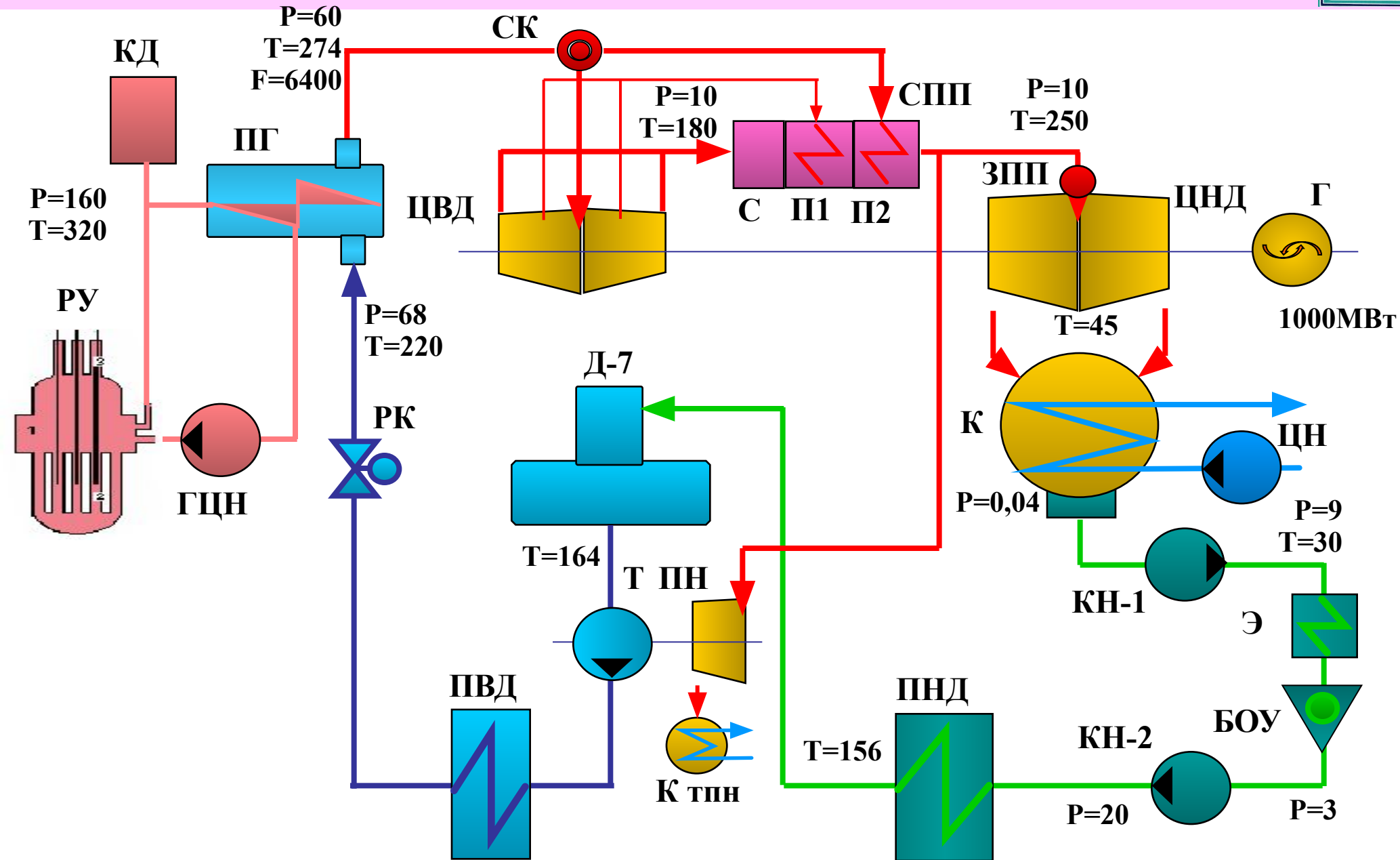
8-компенсатор давления

9-промежуточный теплообменник

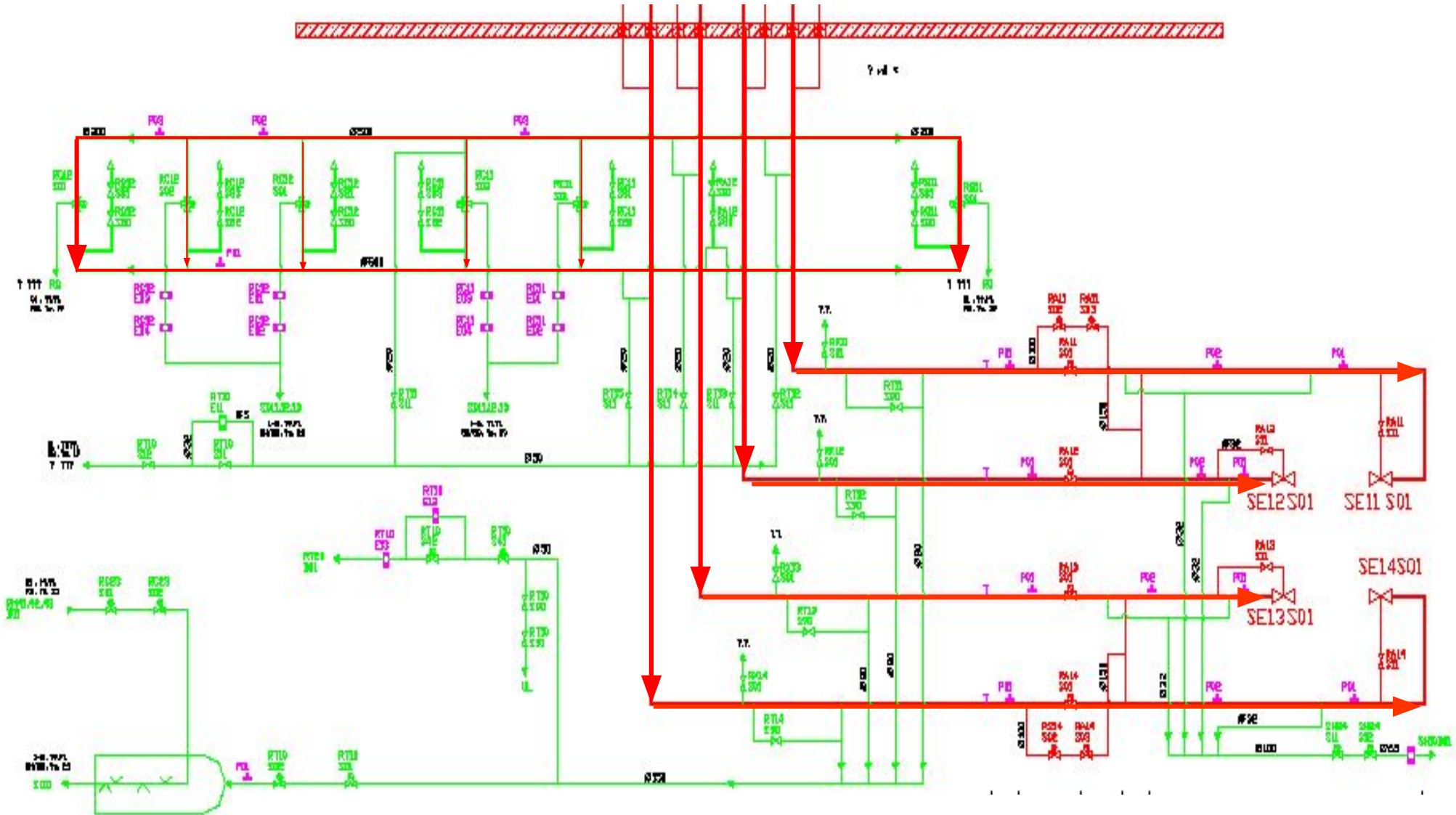


в) трехконтурная

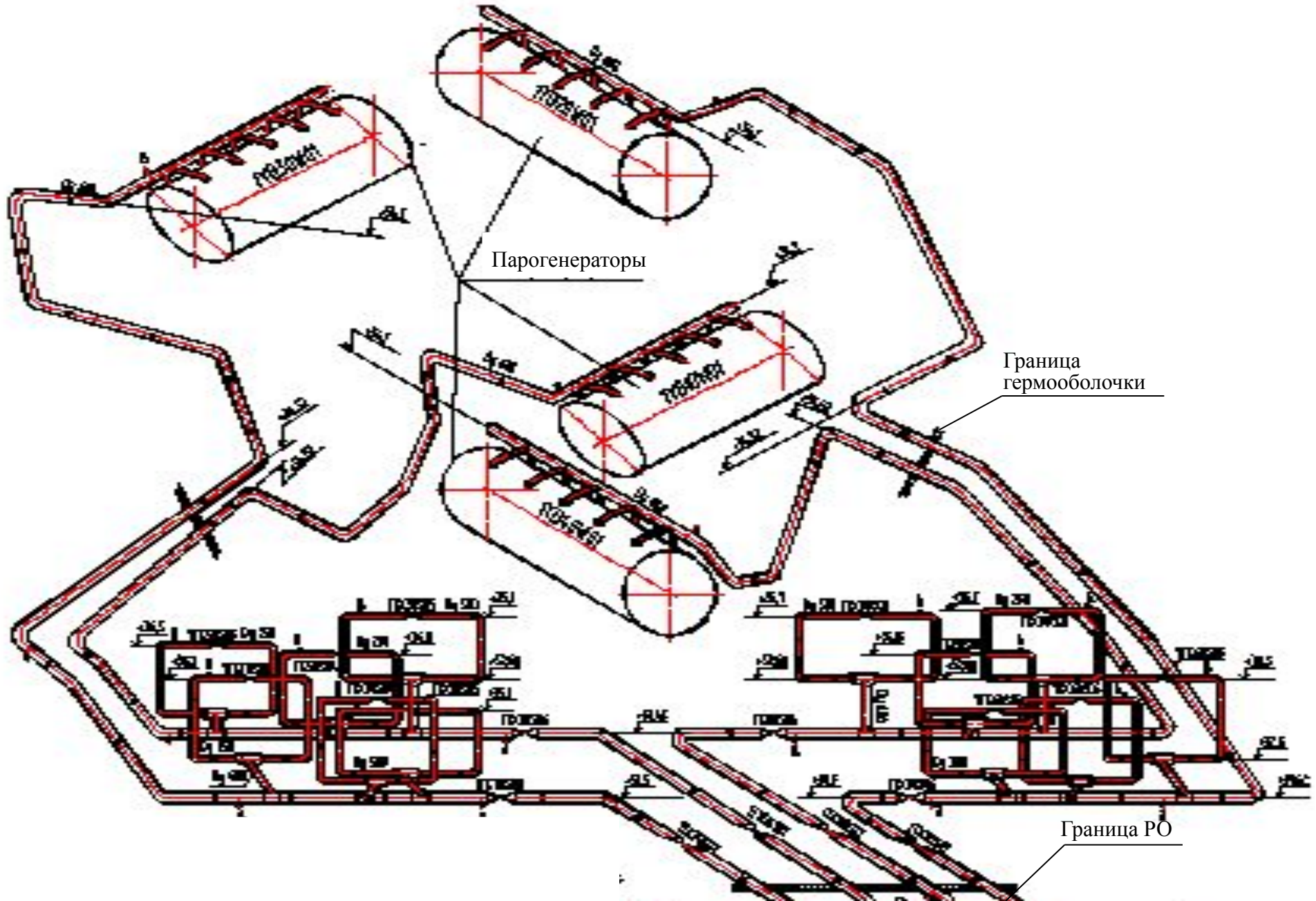
Принципиальная тепловая схема двухконтурной АЭС



Система паропроводов свежего пара



Аксонометрия паропроводов свежего пара (РО)



Аксонометрия паропроводов свежего пара (ТО)



Граница РО

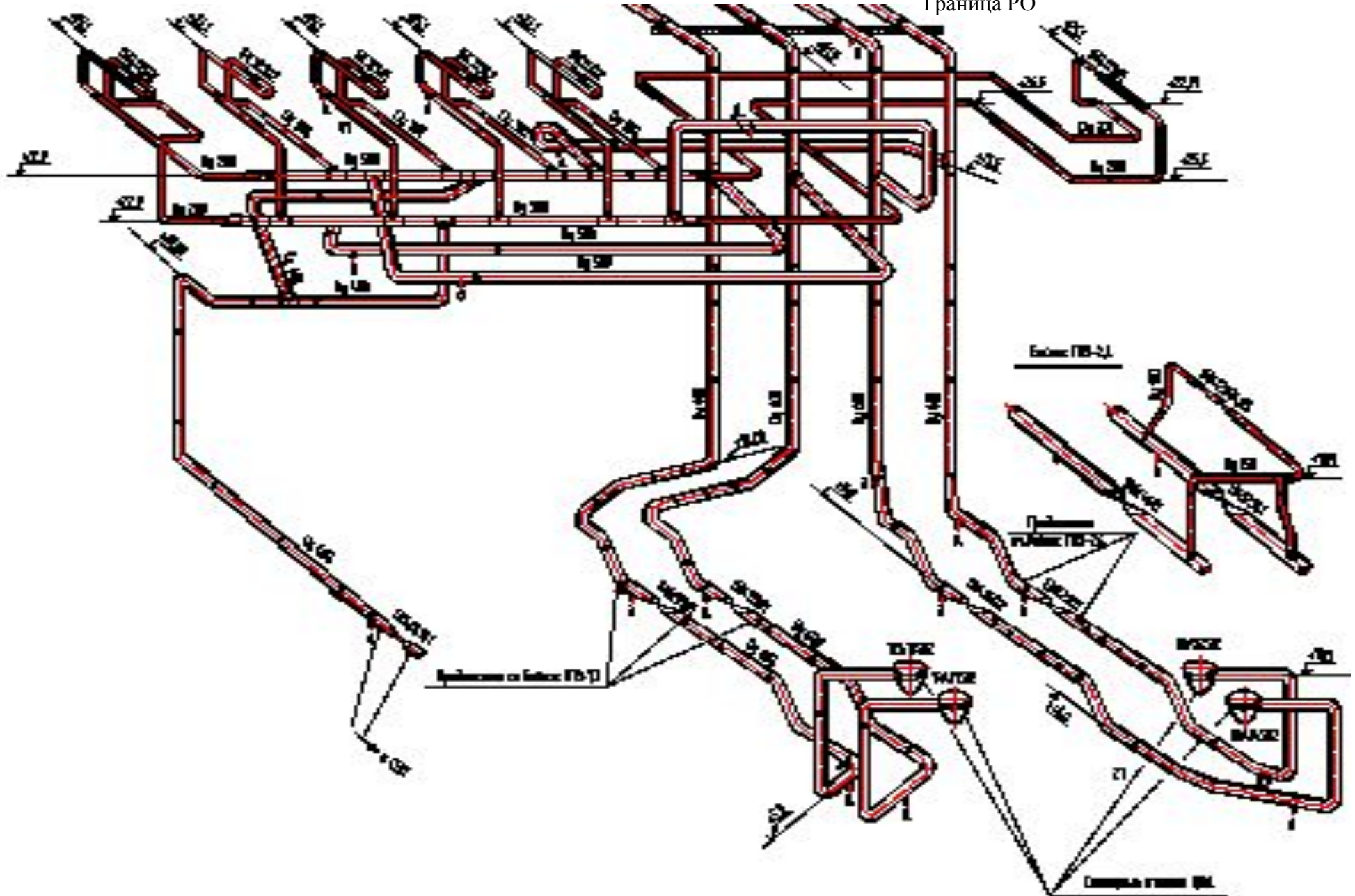
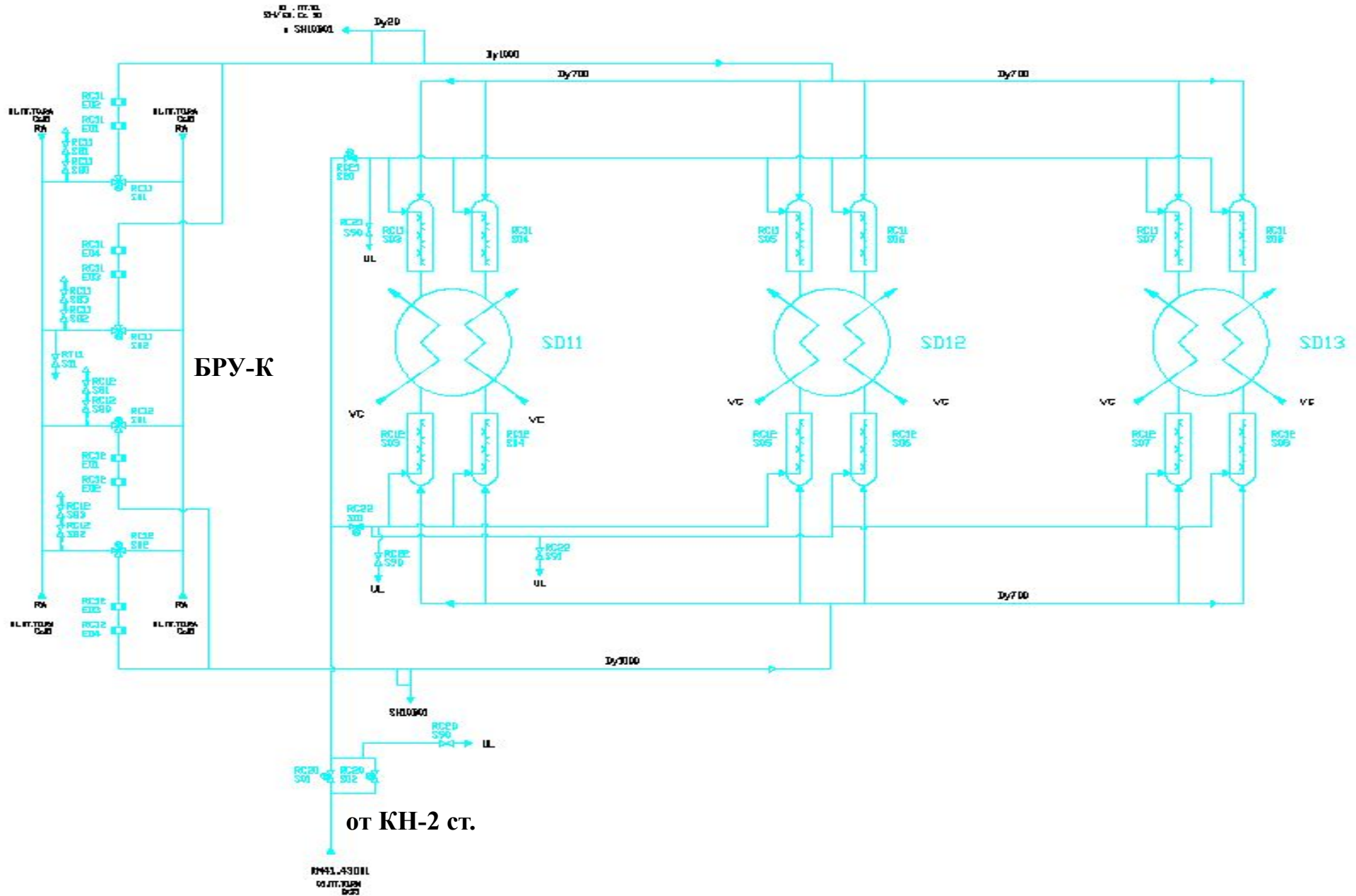


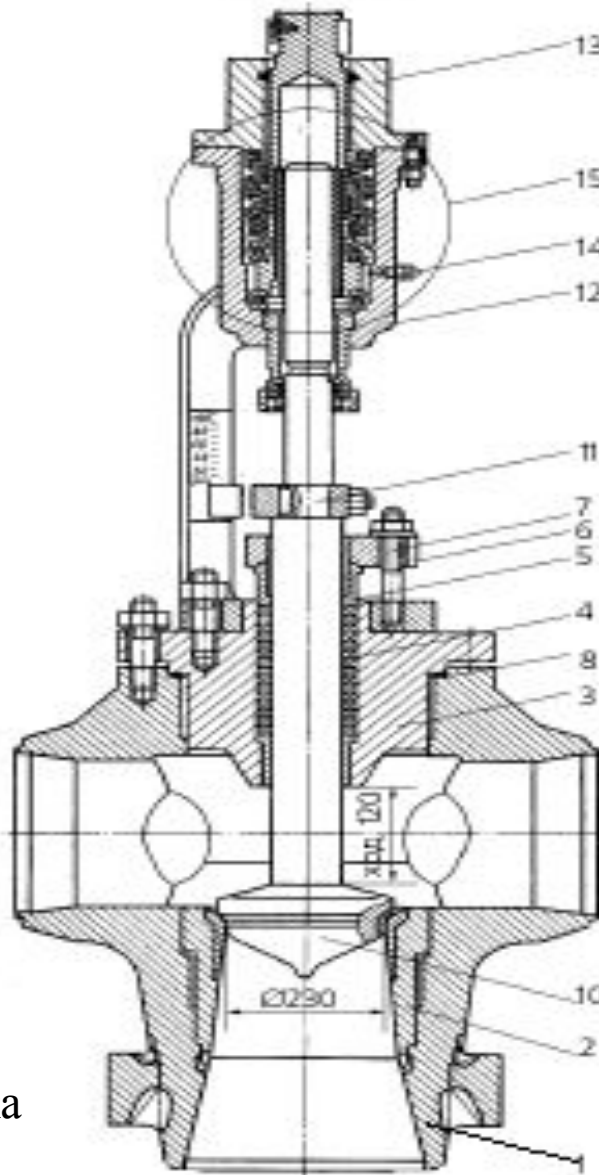
Схема сброса пара в конденсатор



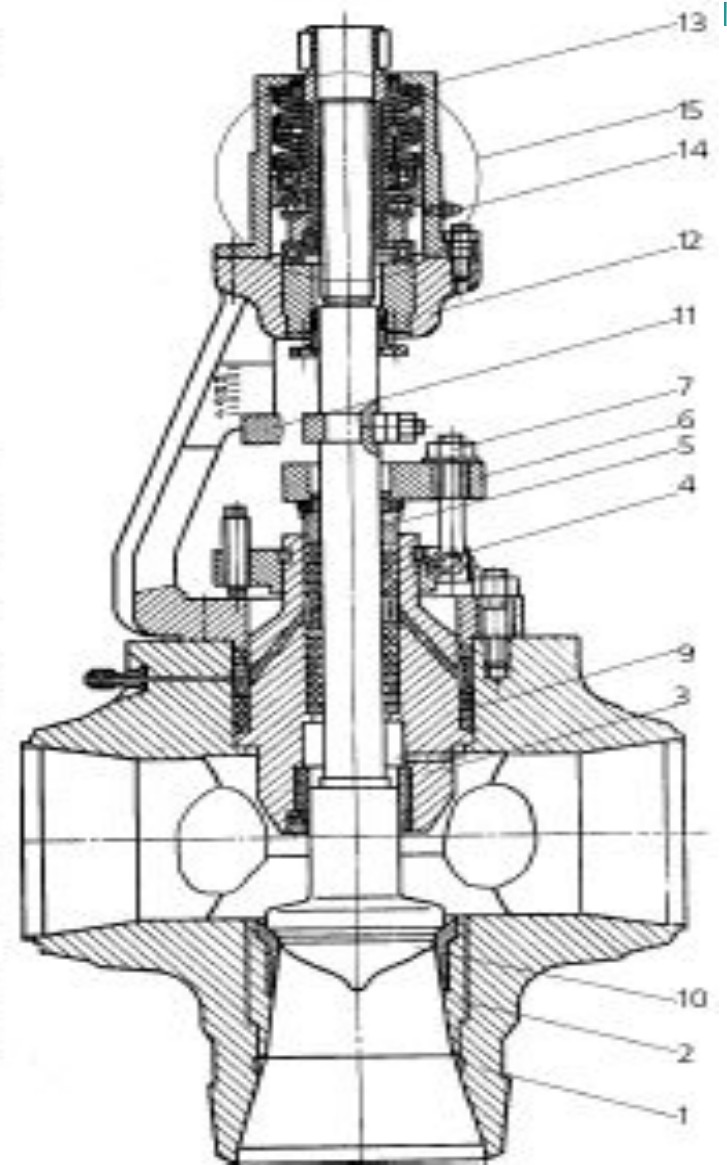
Конструкция запорно-дрессельных клапанов



- 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

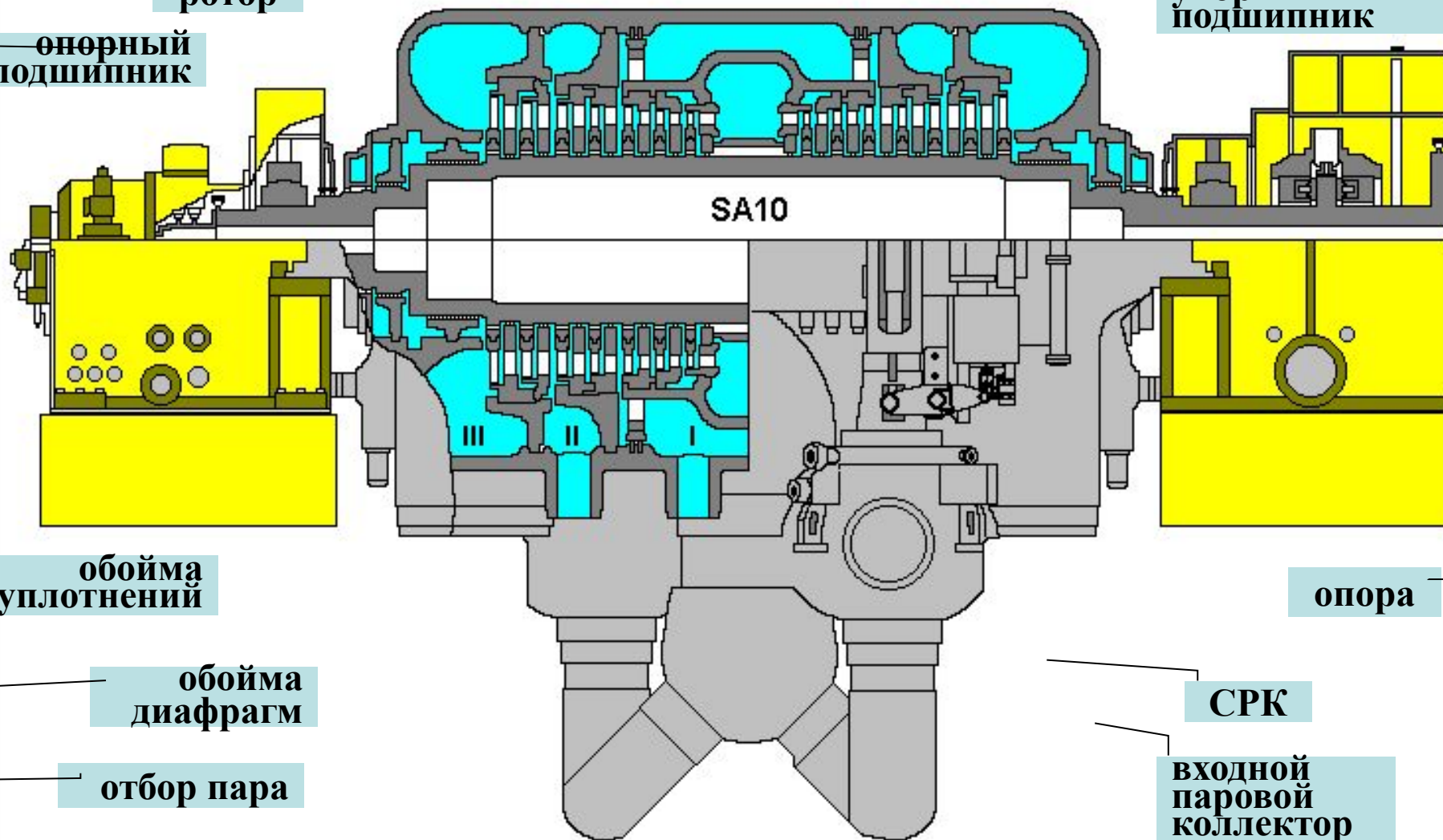
диафрагма

рабочая лопатка

ротор

упорный подшипник

опорный подшипник



опора

обойма уплотнений

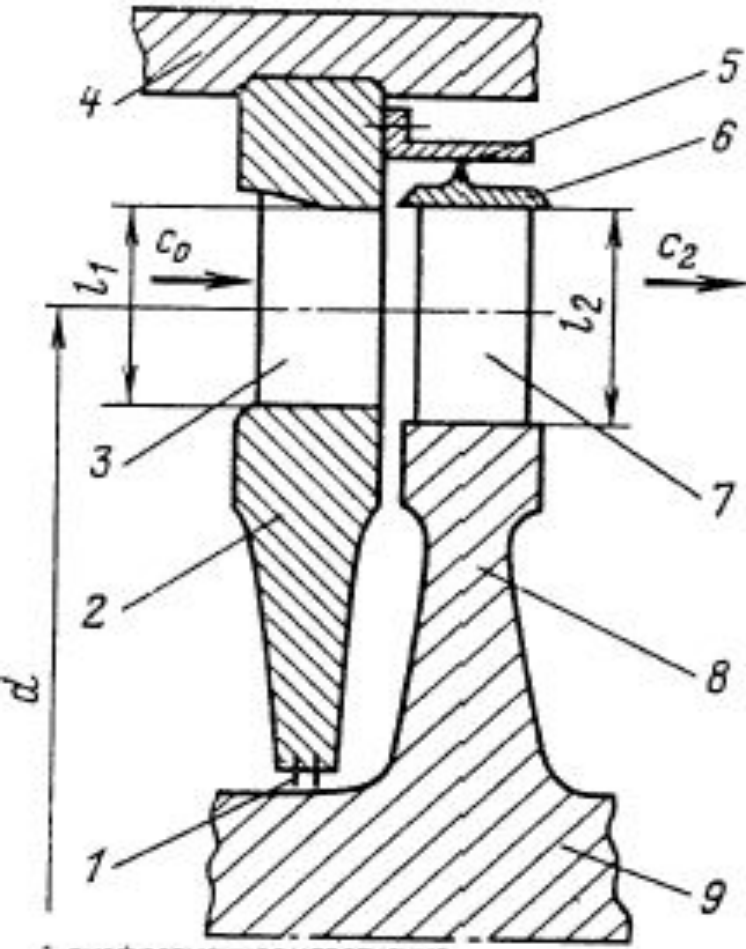
обойма диафрагм

отбор пара

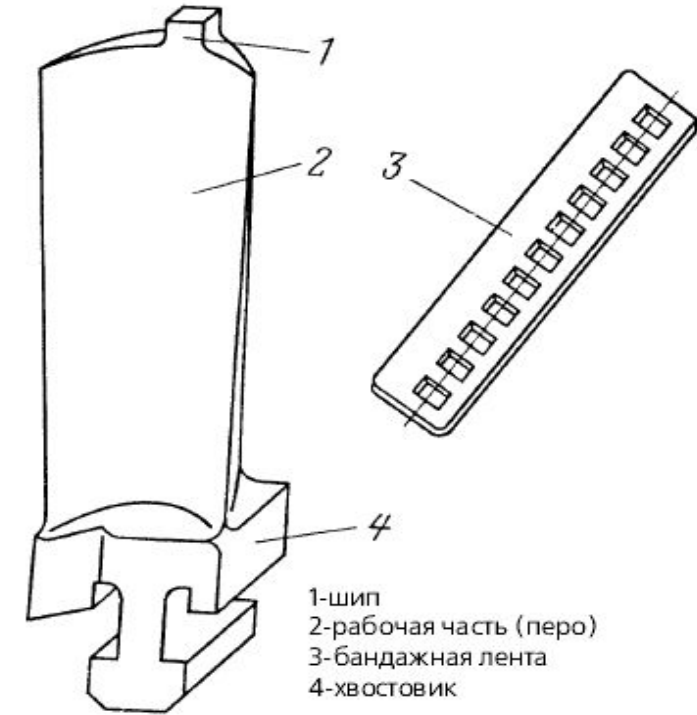
СРК

входной паровой коллектор

Схема турбинной ступени

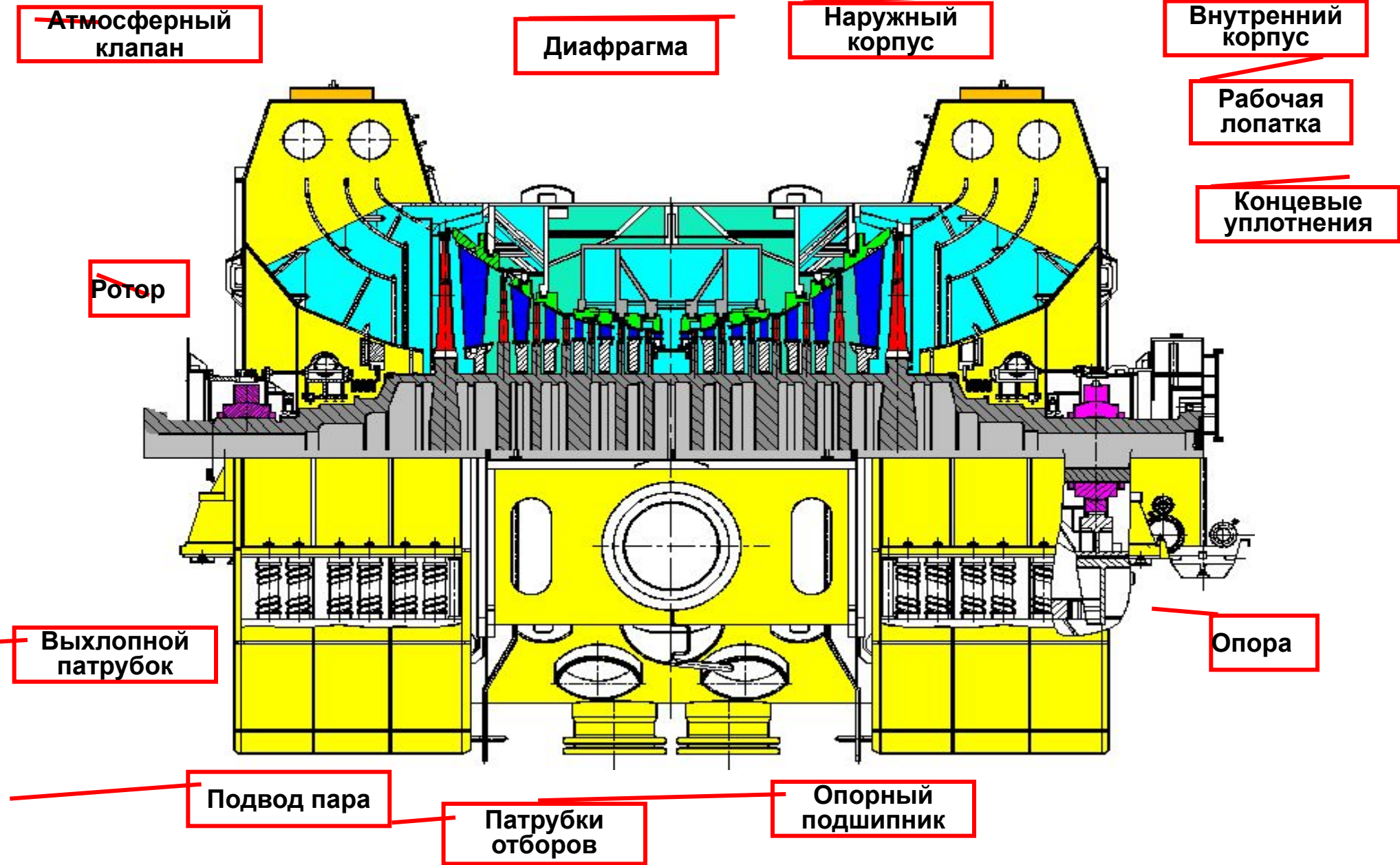


- 1-диафрагменное уплотнение
- 2-диафрагма
- 3-сопловая решетка
- 4-корпус турбины
- 5-надбандажное уплотнение
- 6-ленточный бандаж
- 7-рабочая решетка
- 8-диск
- 9-вал

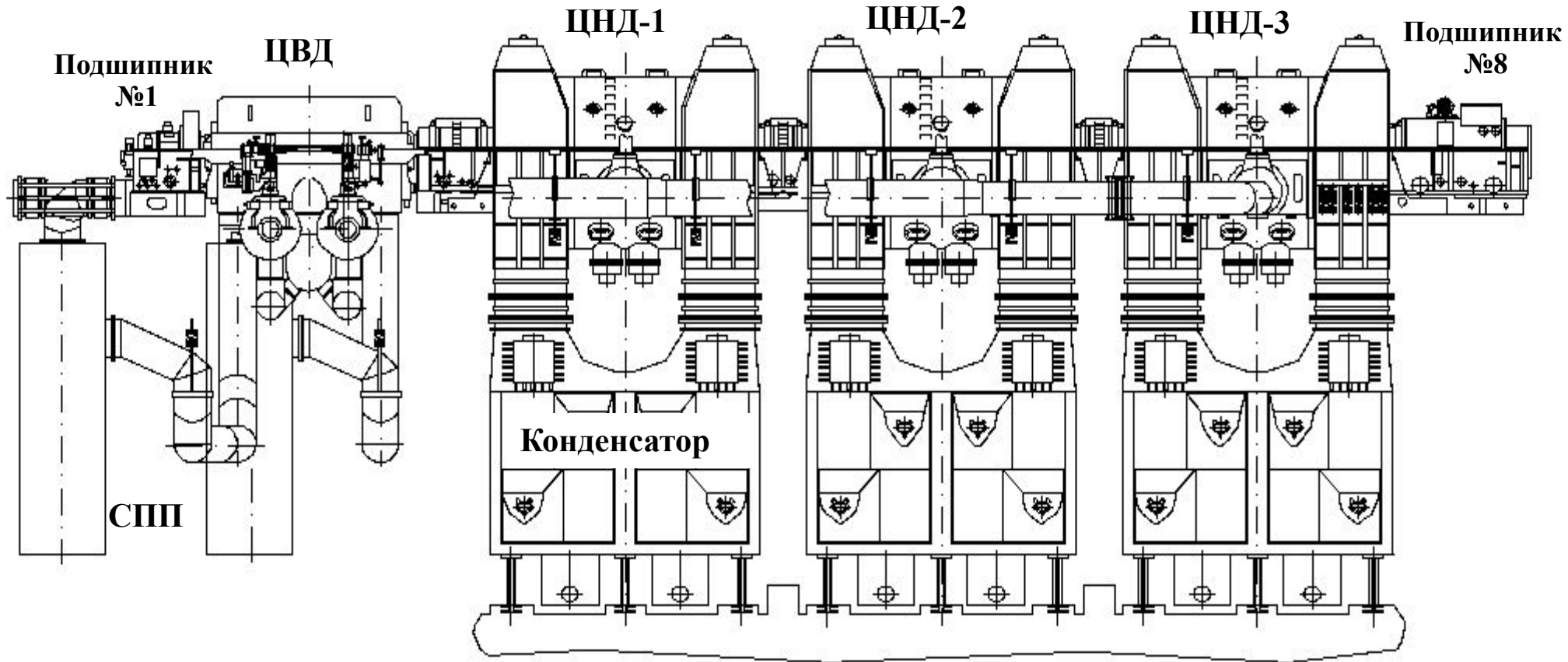


Конструкция лопатки.

Цилиндр низкого давления



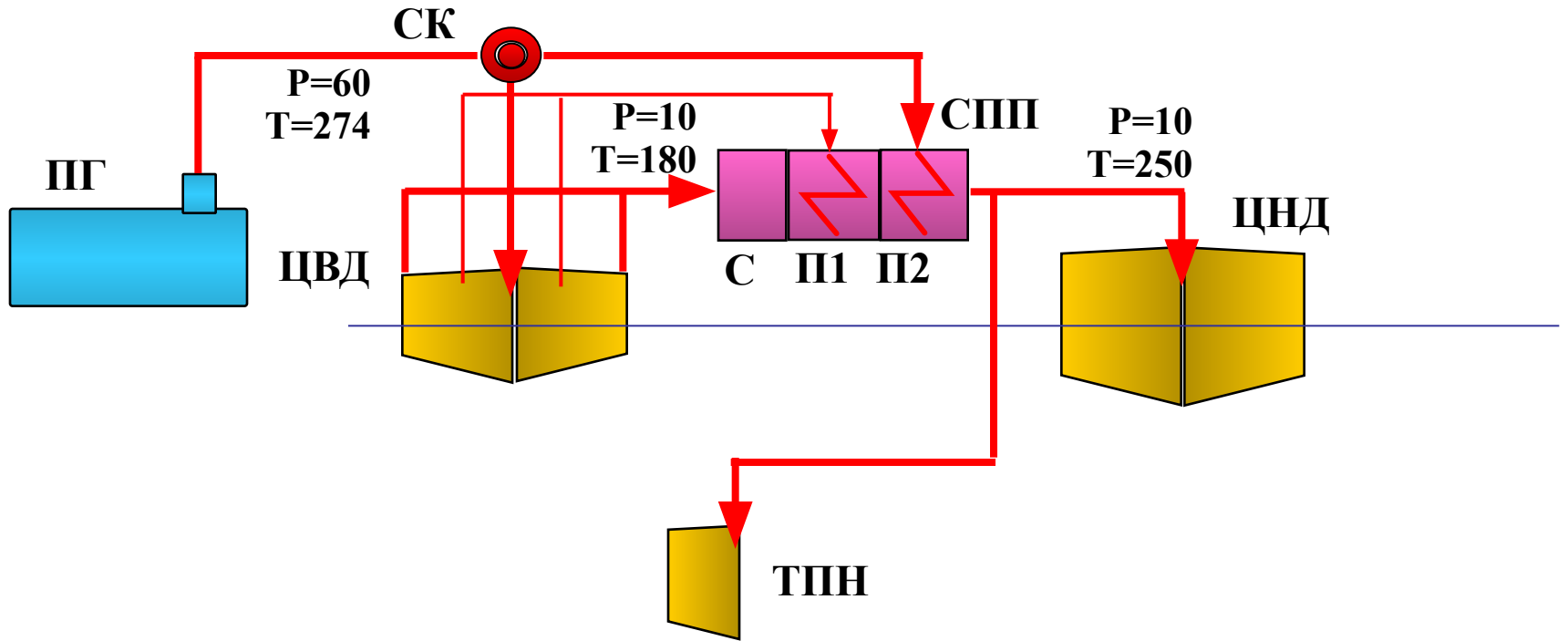
Турбина (вид в прозрачном фундаменте)



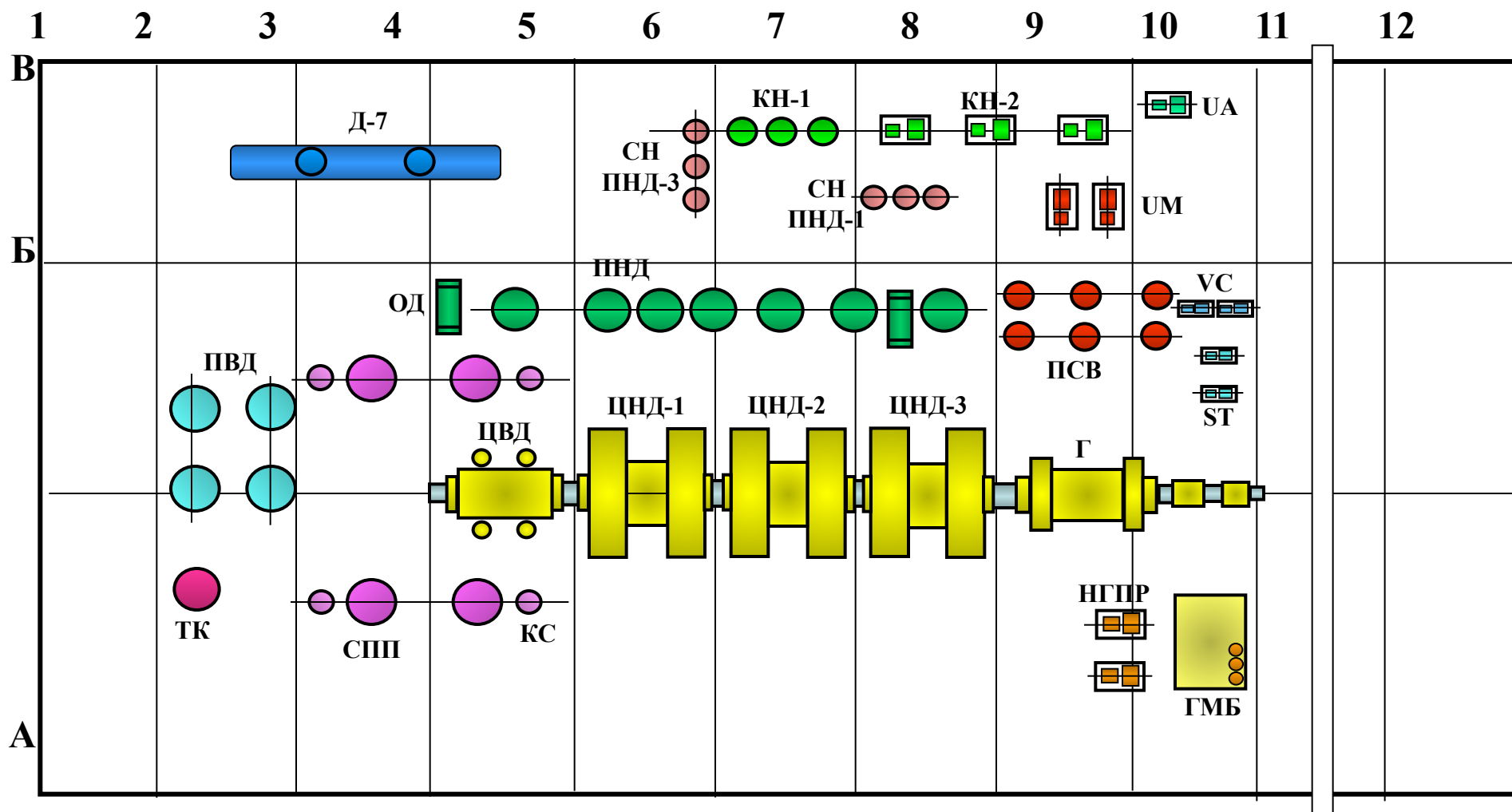
Блочный щит управления (БЩУ)



СПП



Расположение оборудования второго контура



Сепаратор пароперегреватель (СПП)

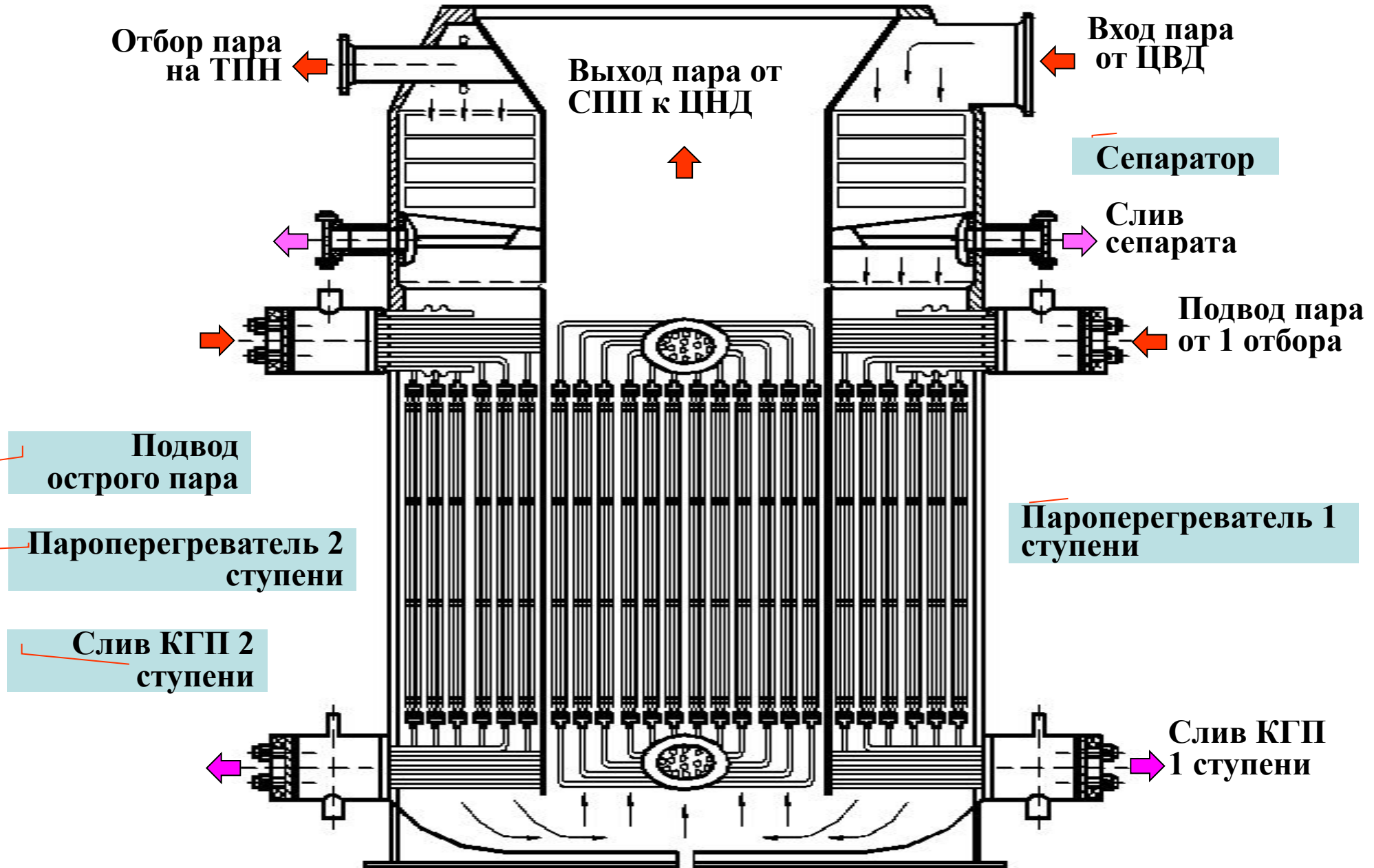
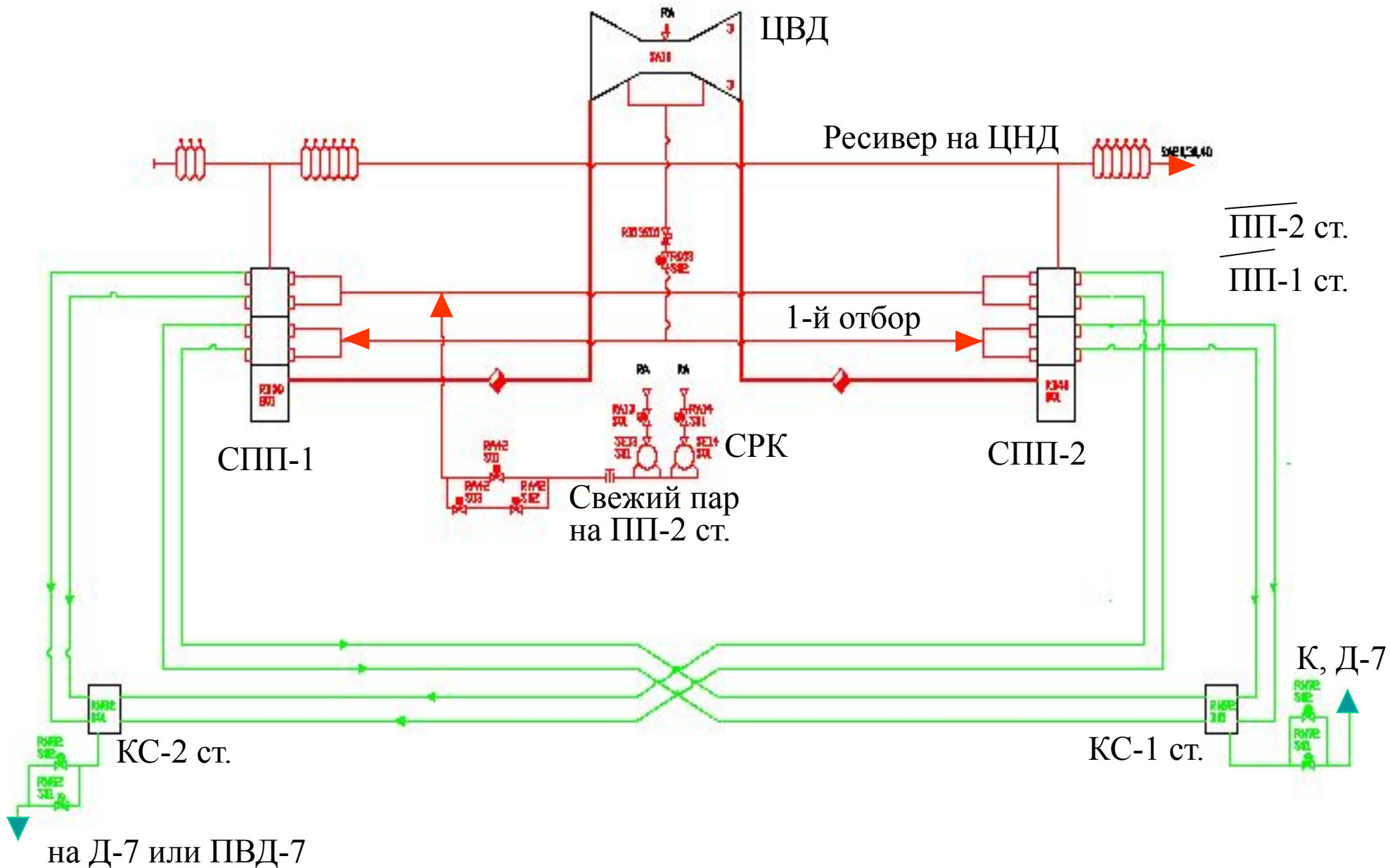


Схема промежуточного перегрева пара



Турбина К-1000-60/1500-2 (вид сверху)

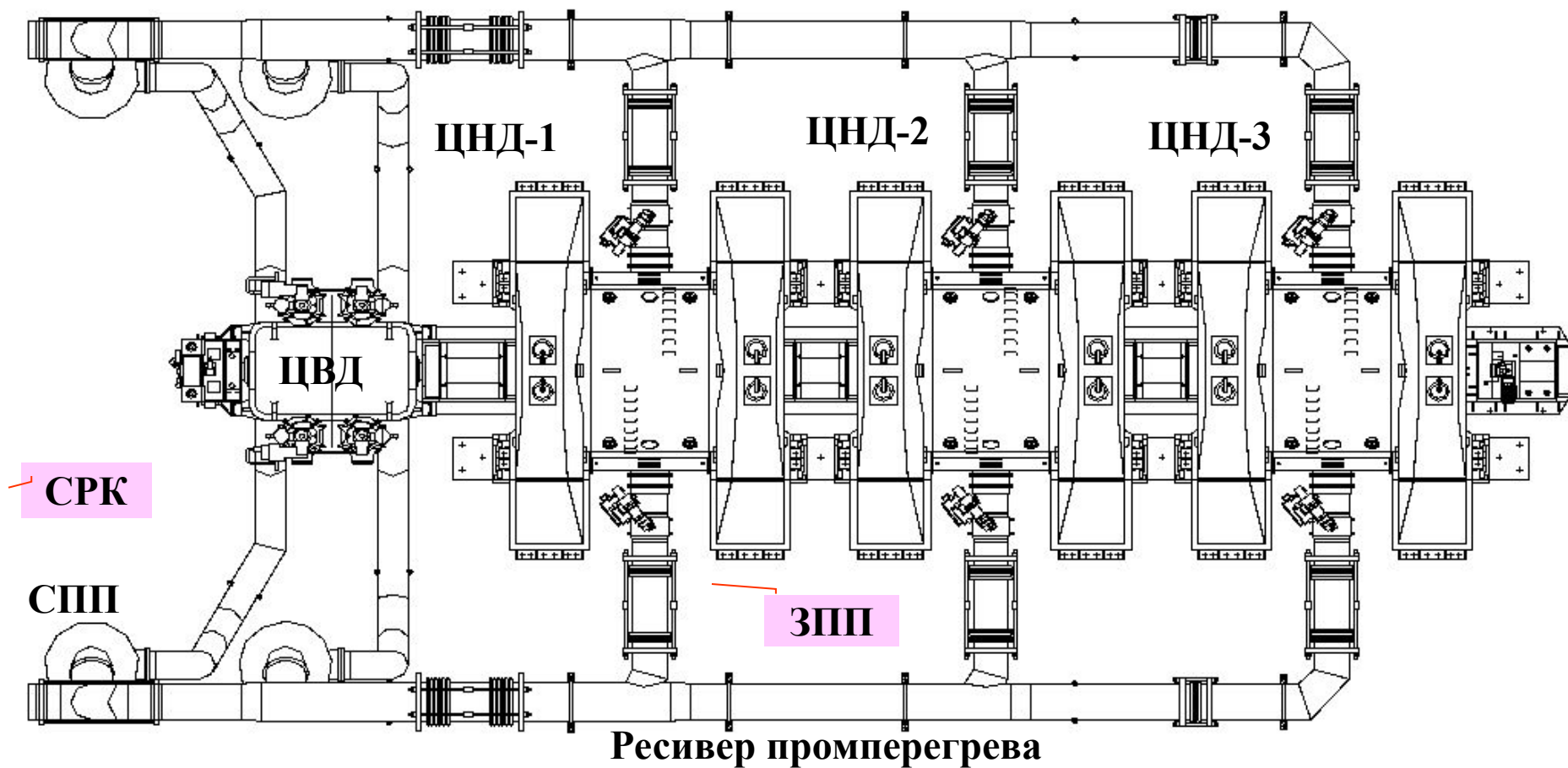
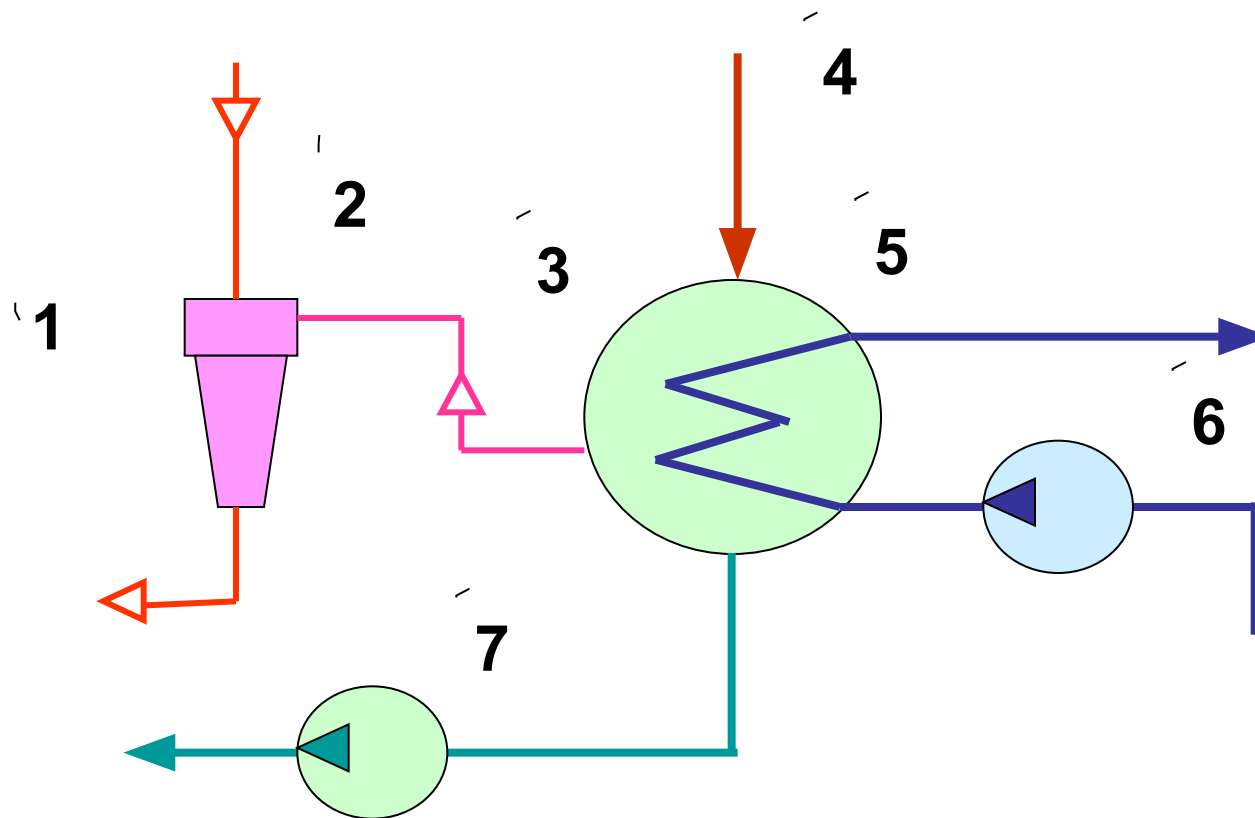


Схема конденсационной установки



- 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

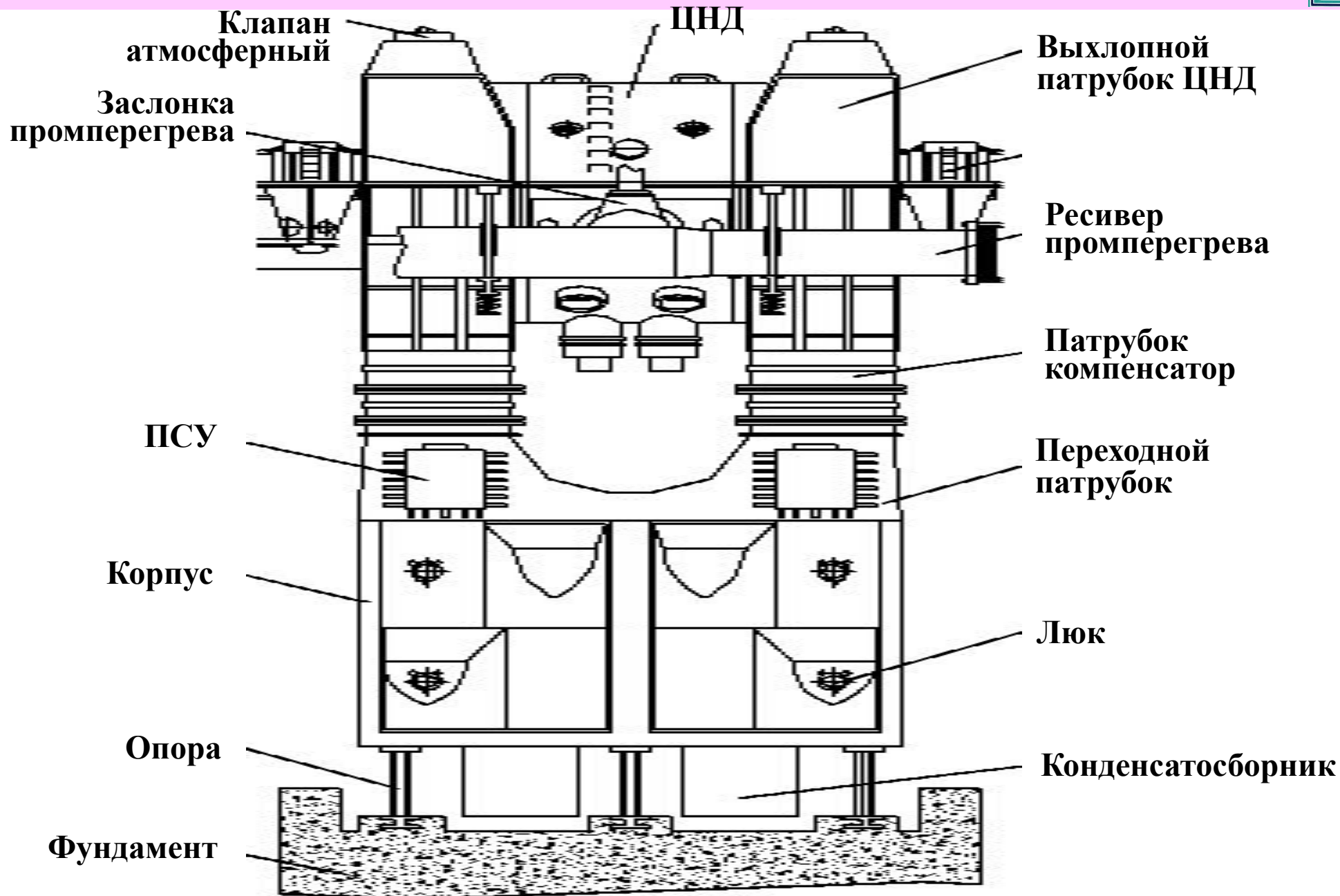


Технические характеристики конденсатора типа 33160

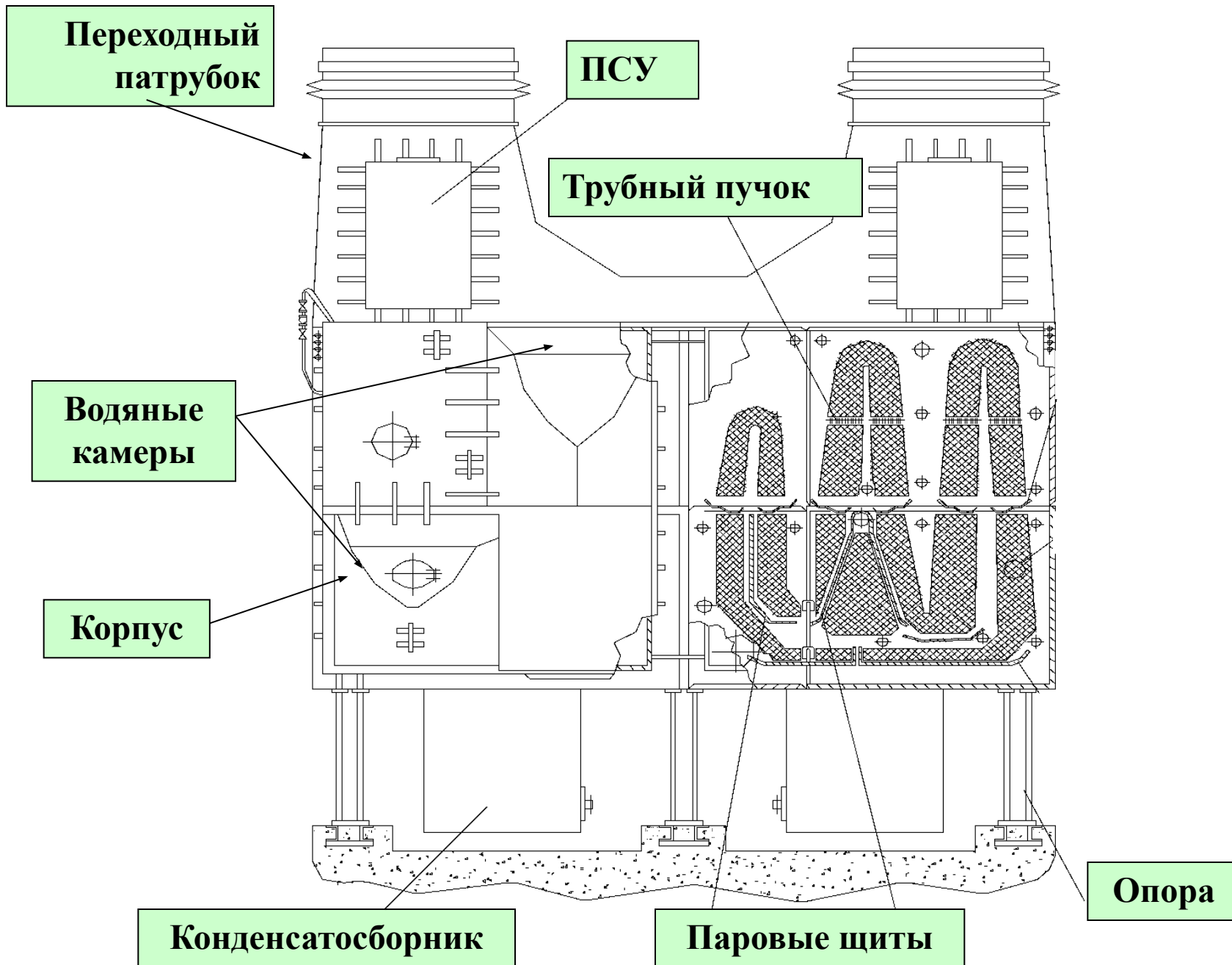


Поверхность охлаждения одного конденсатора, м ²		33160
Расчетное абсолютное давление в паровом пространстве, кгс/см ²		0,04
Расчетный расход пара на все конденсаторы при номинальной мощности, т/ч		3457
Расчетный расход охлаждающей воды на все конденсаторы, м ³ /ч		169800
Температура охлаждающей воды, °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

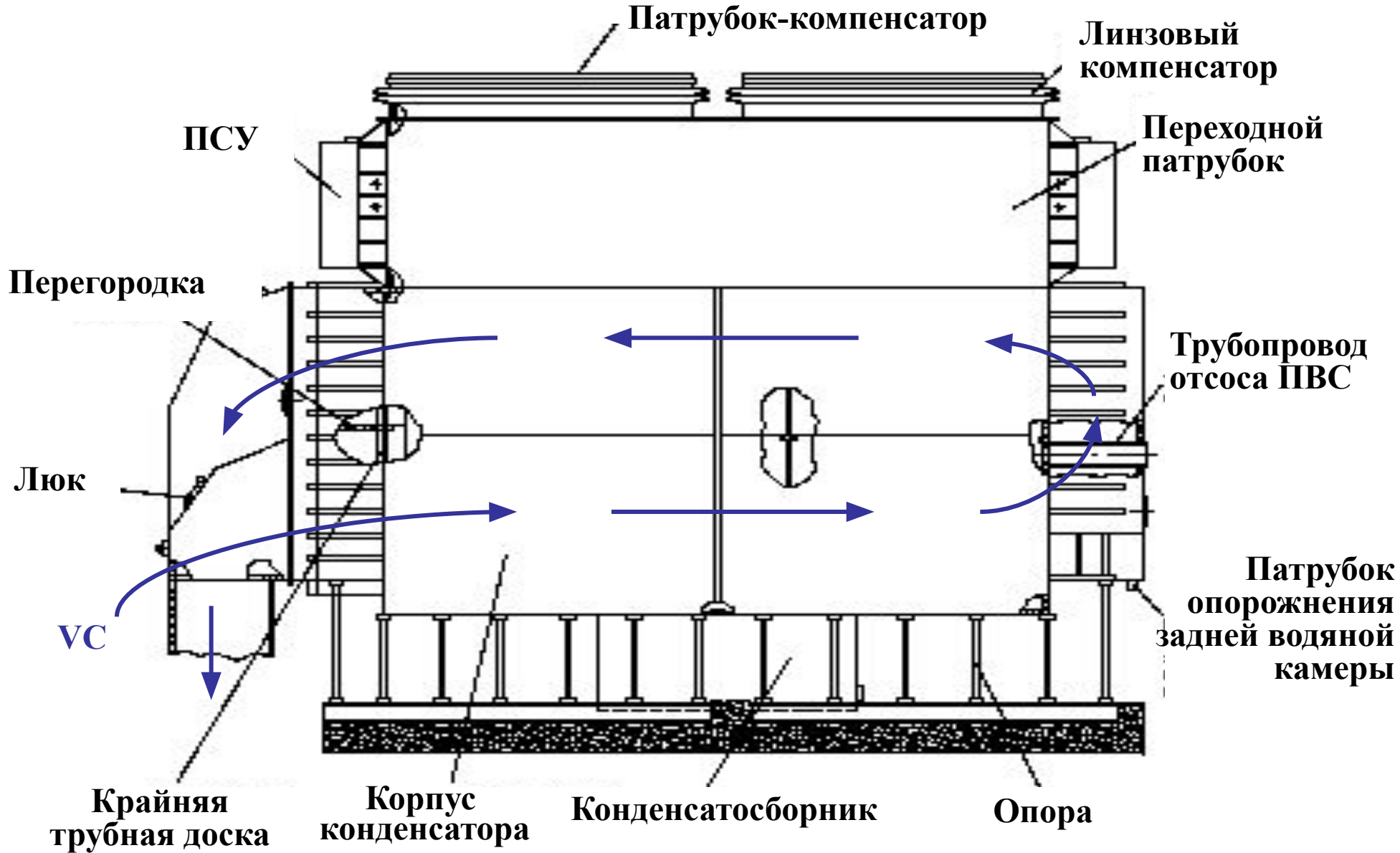
Цилиндр низкого давления турбины с конденсатором



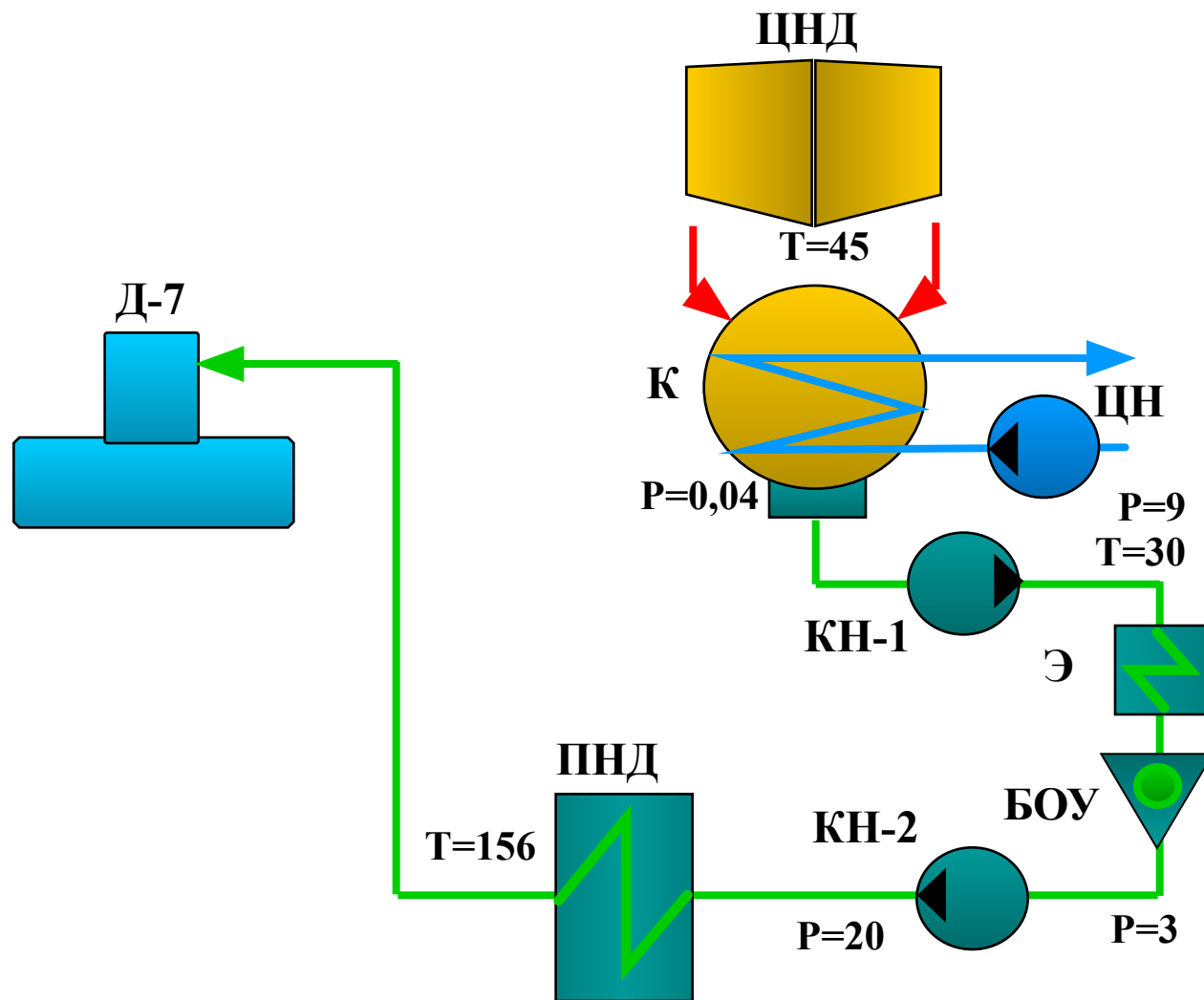
Конденсатор (вид со стороны водяных камер)



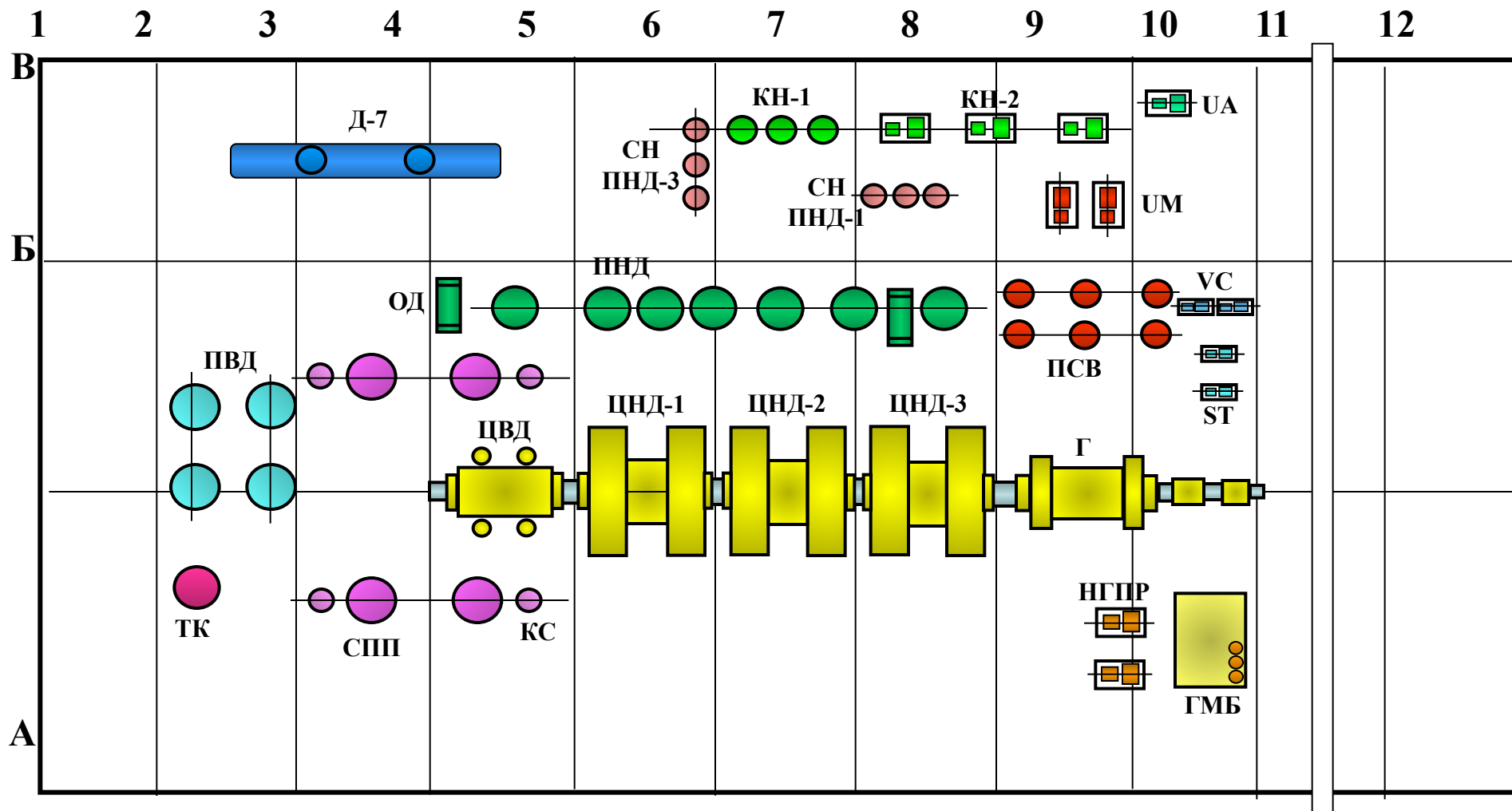
Конденсатор (вид по оси турбины)



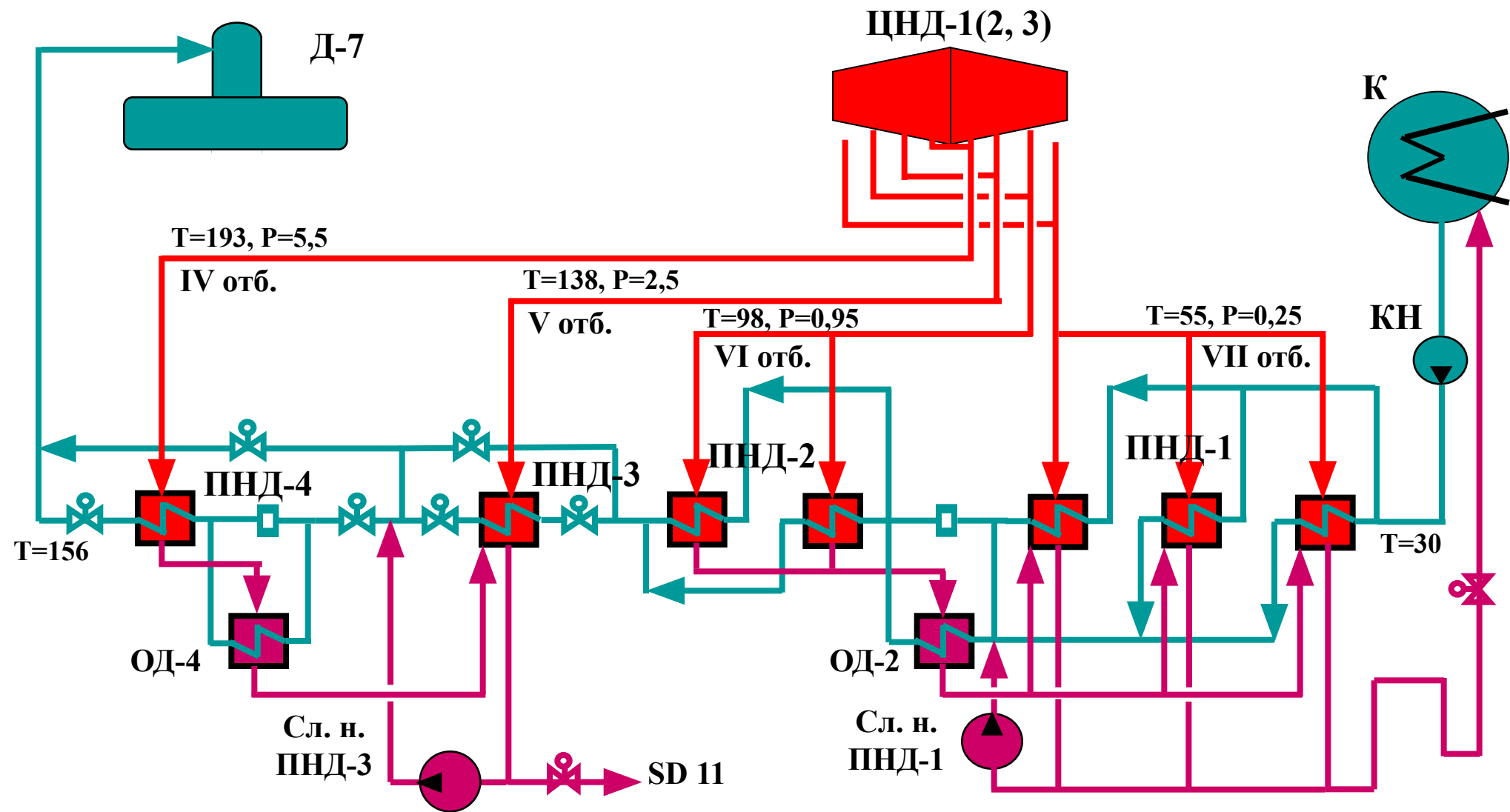
Система основного конденсата и регенерации низкого давления



Расположение оборудования второго контура



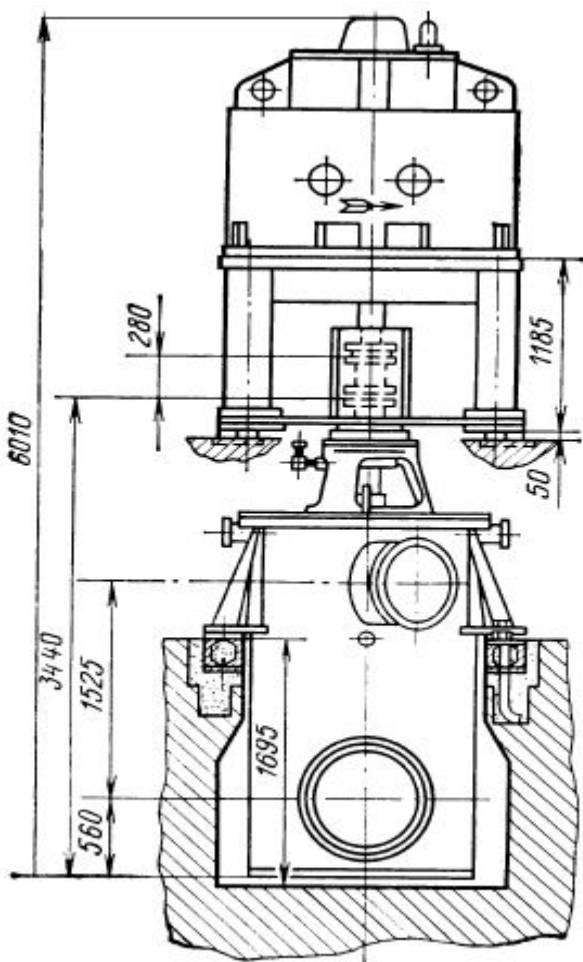
Принципиальная схема регенерации низкого давления



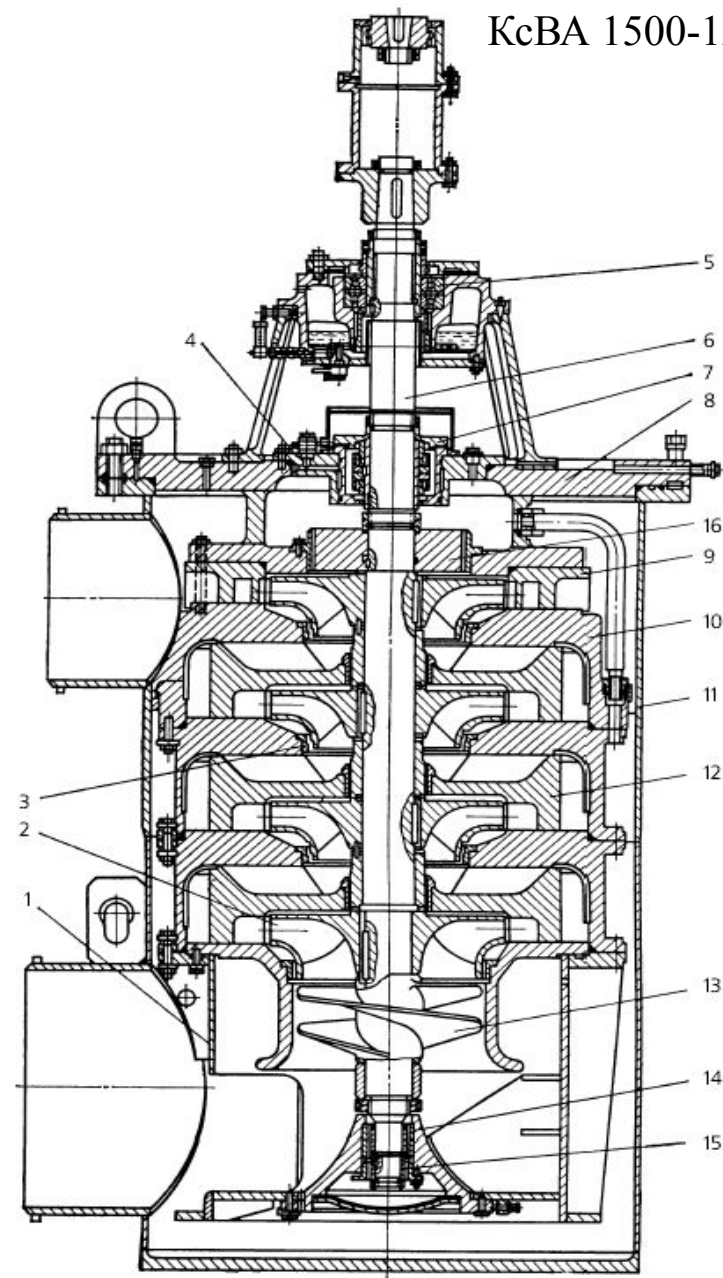
Устройство конденсатного насоса 1-ой ступени



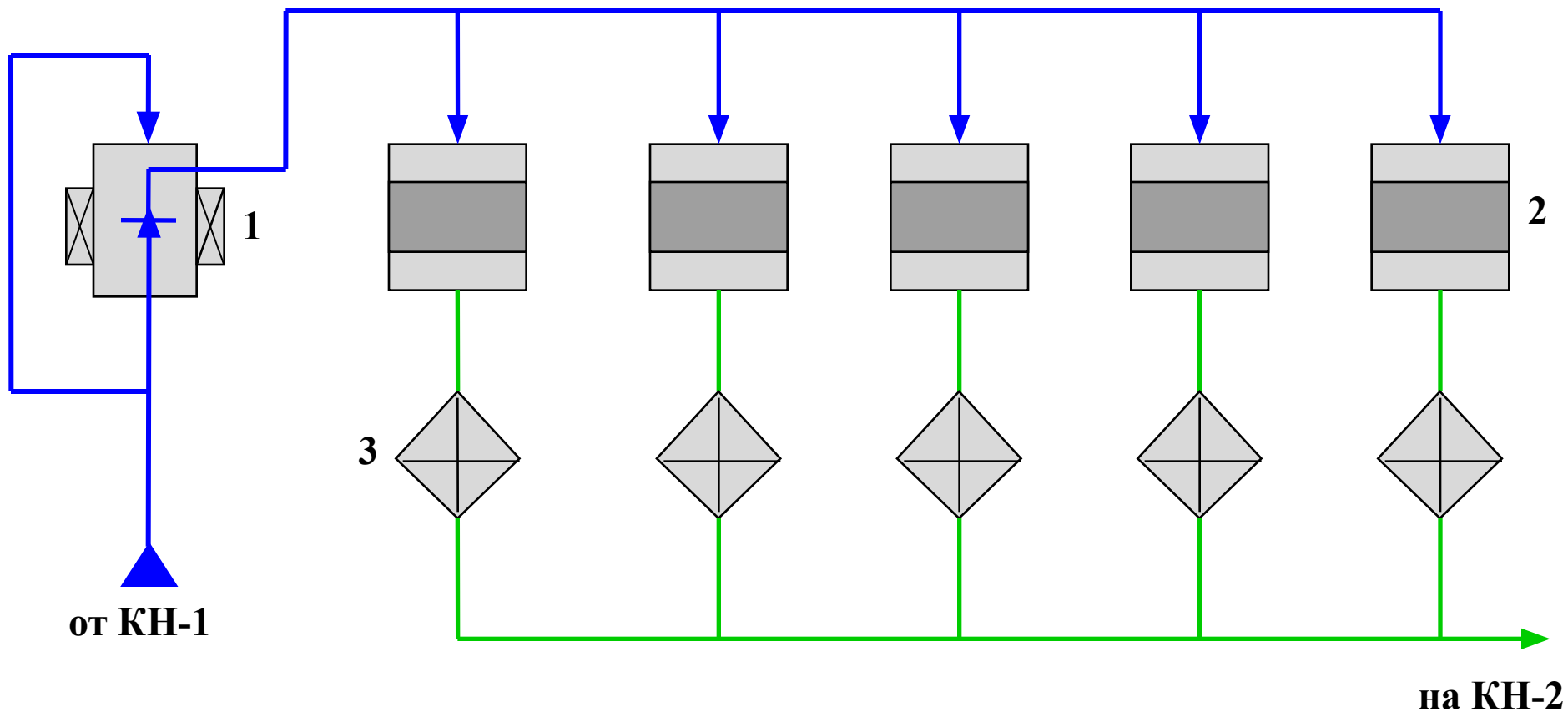
КсВА 1500-120



- 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

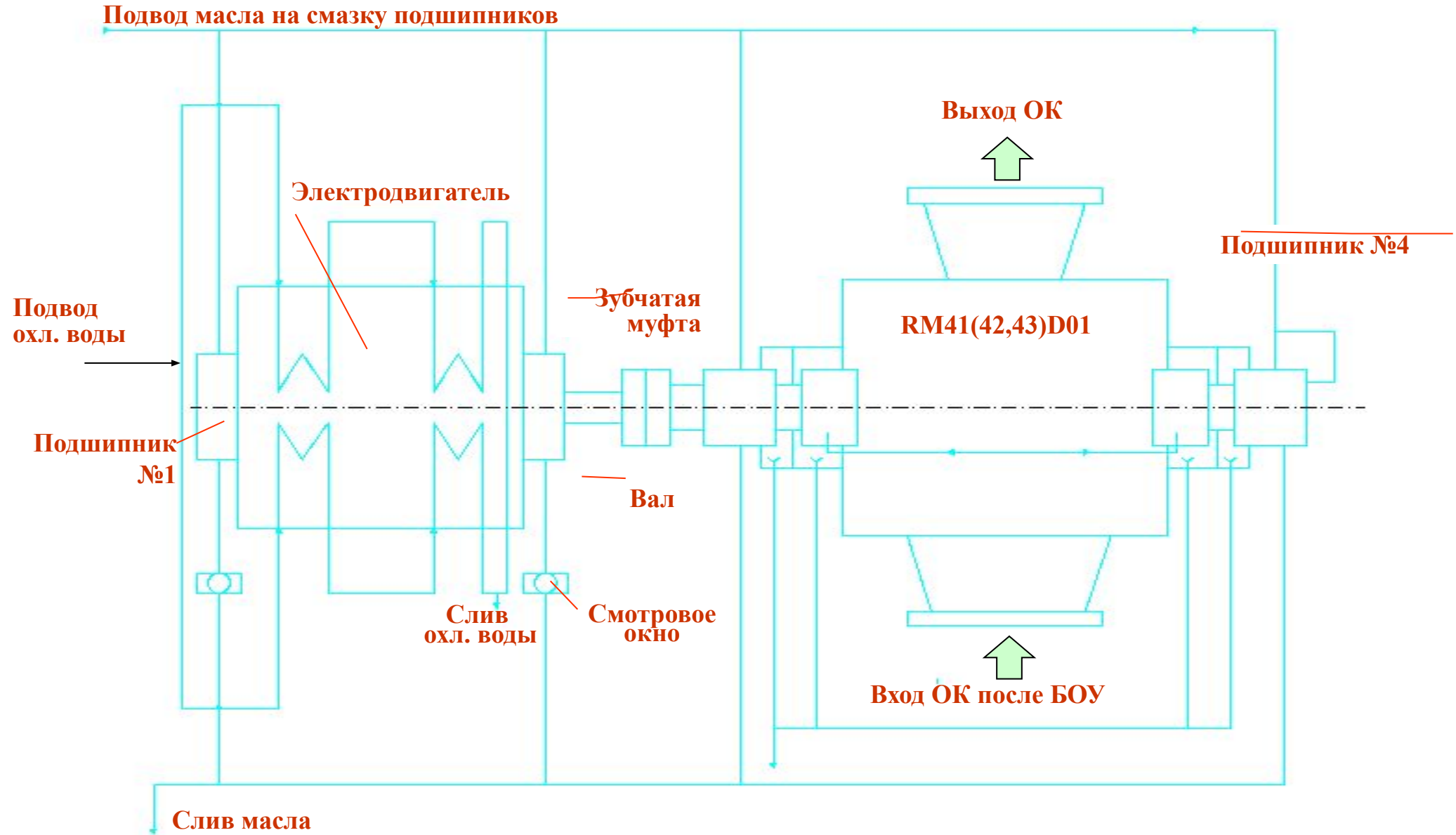


БОУ - принципиальная схема установки очистки ОК



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

Схема обвязки КН-2 ст.

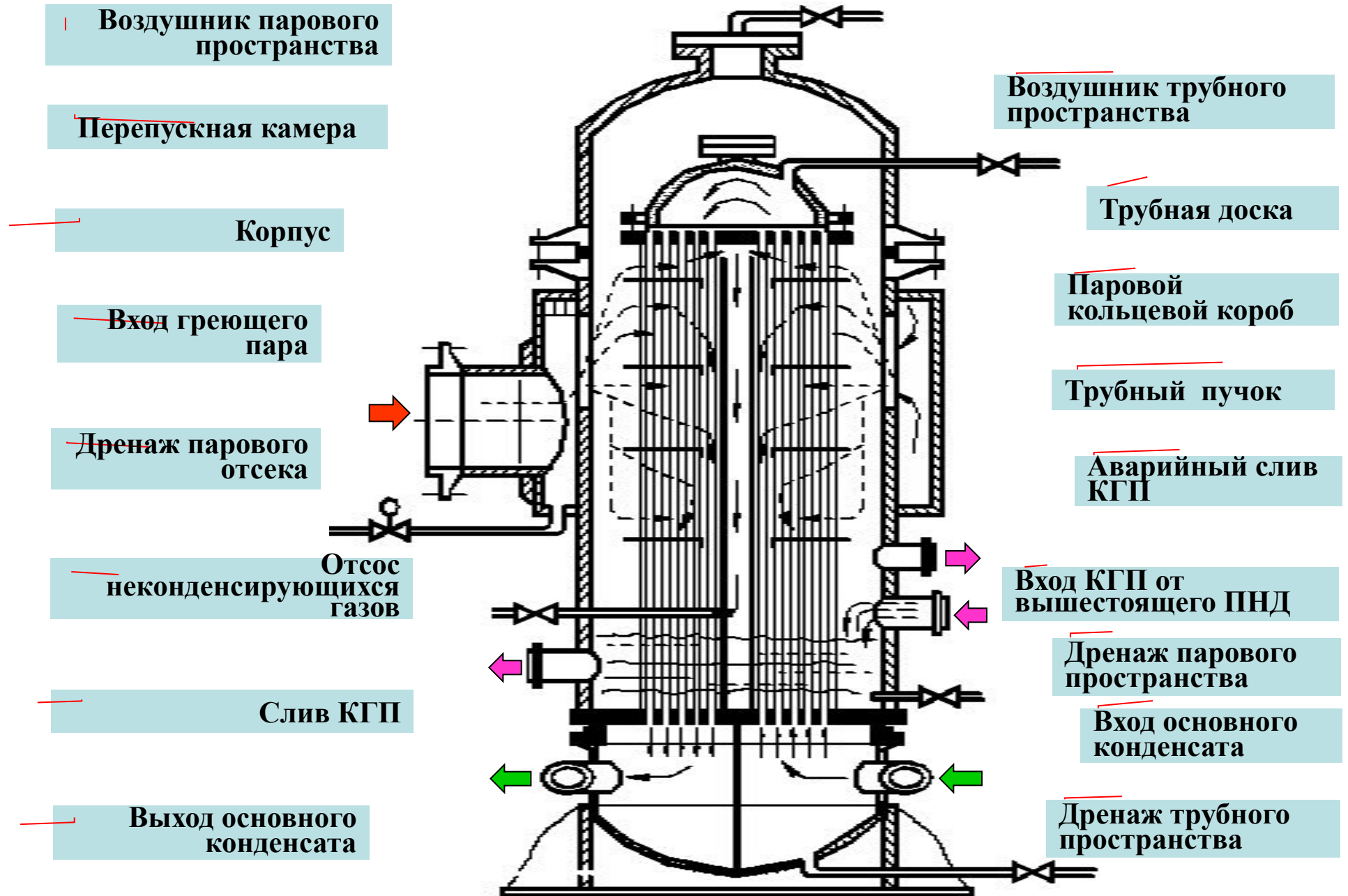


Характеристики конденсатных насосов



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

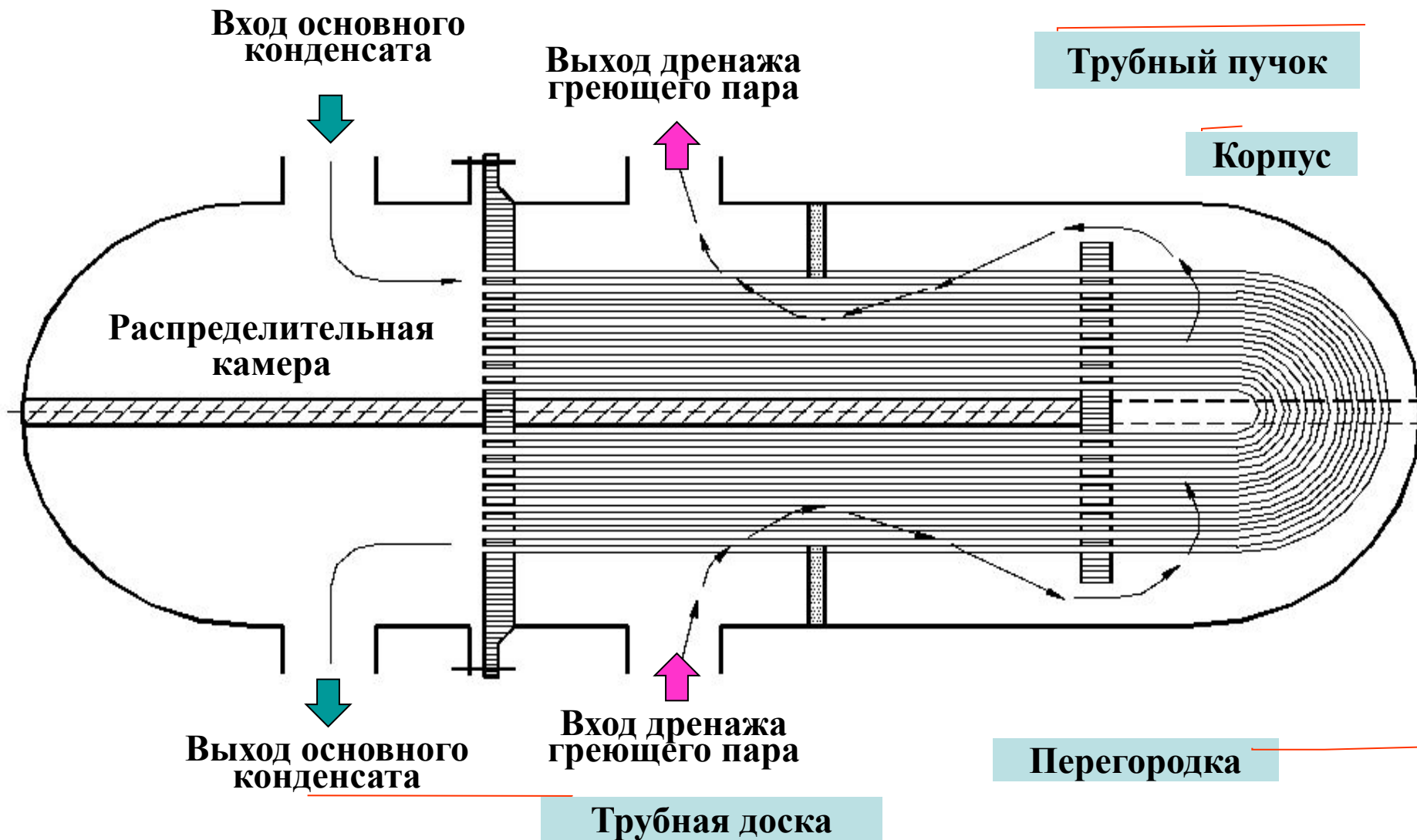


Технические характеристики ПНД



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

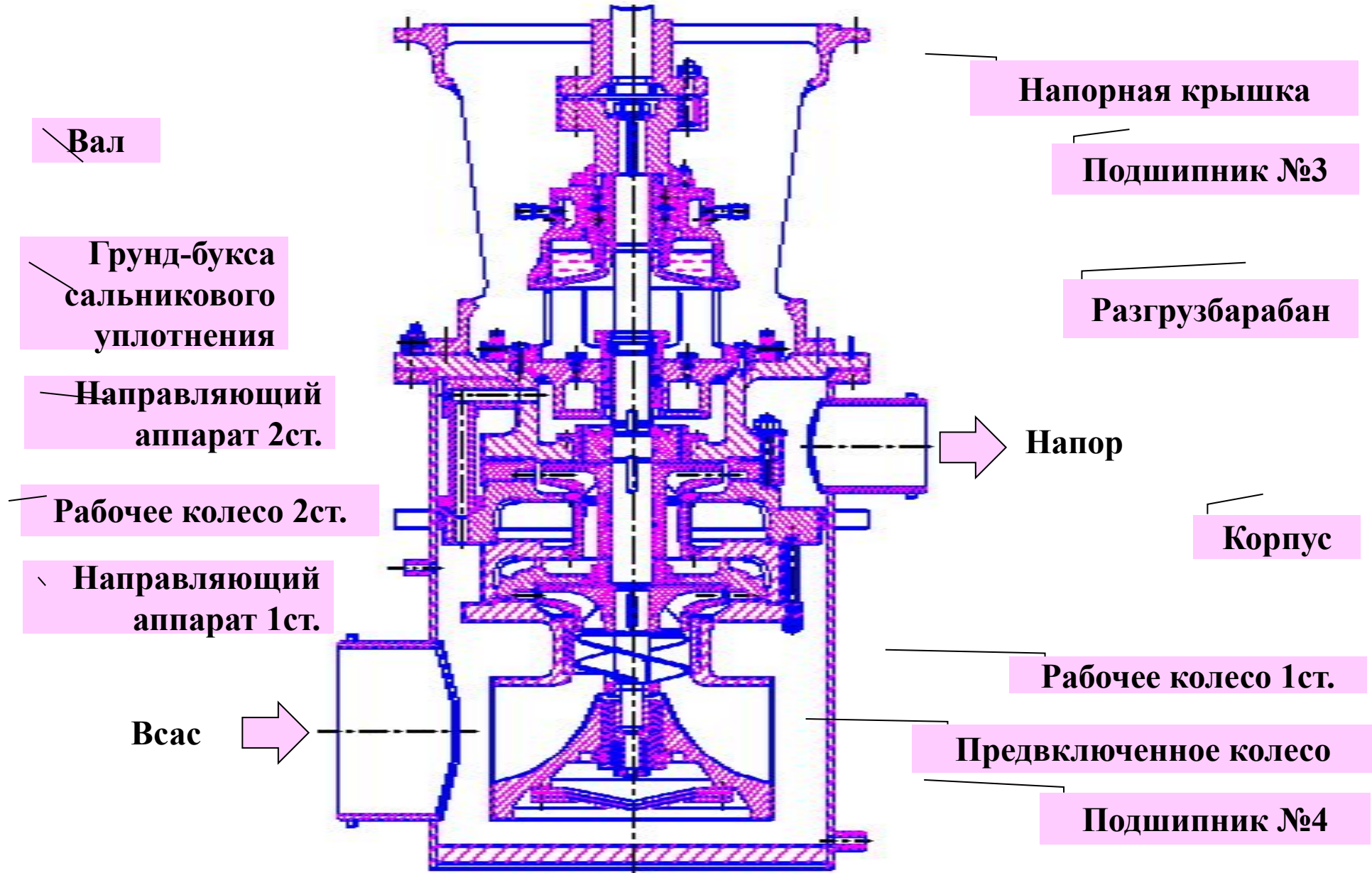


Технические характеристики Од



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

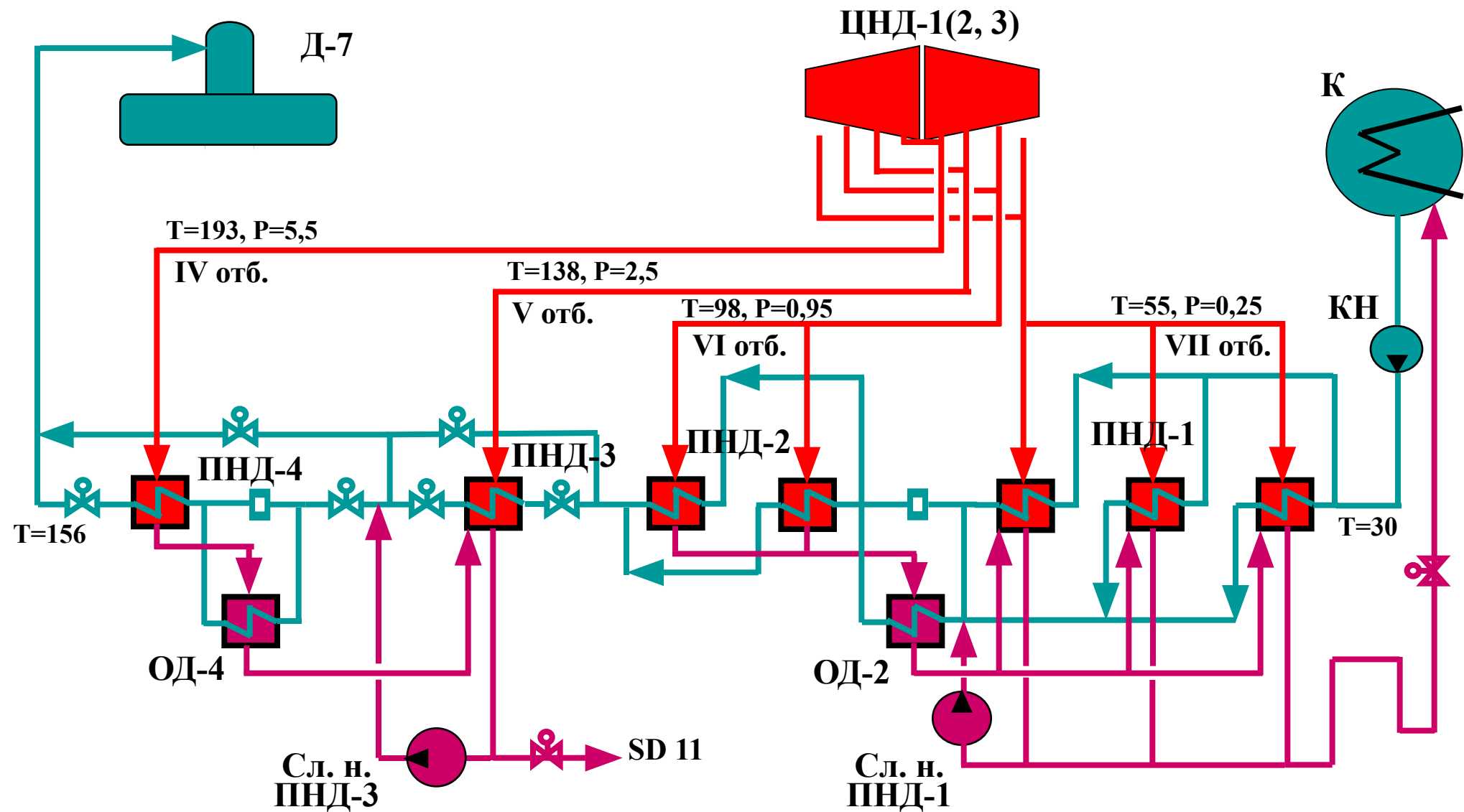


Характеристики сливных насосов ПНД



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	кг с/ см ²	1,5	2,7
Эл.напряжение двигателя	кВ	6	6
Мощность эл.двигателя	кВт	315	500

Принципиальная схема регенерации низкого давления

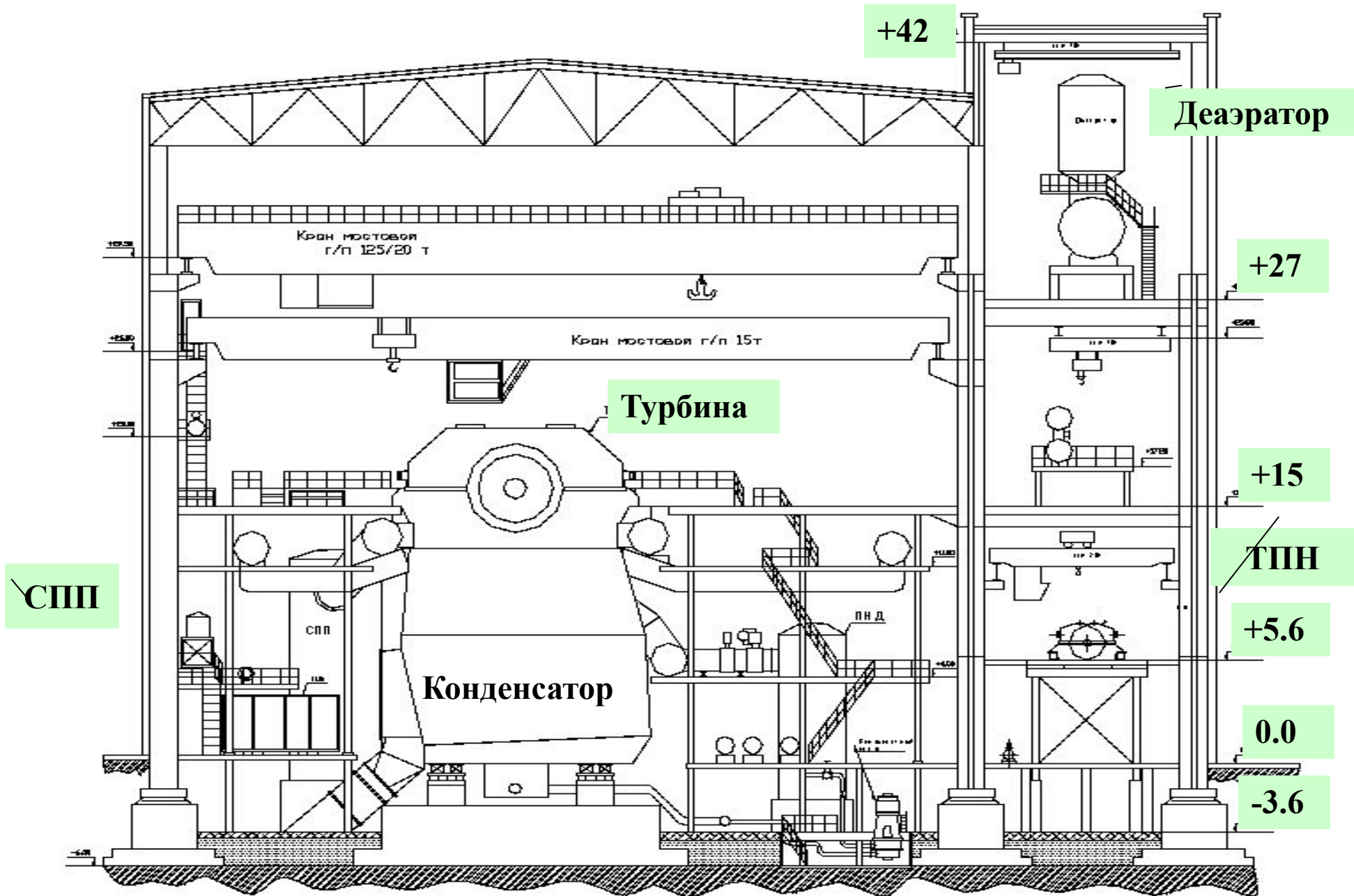




Назначение деаэрационной установки

- 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

Пароперепускная труба

Переливная тарелка

Барботажный лист

Выпарная труба

Горловина

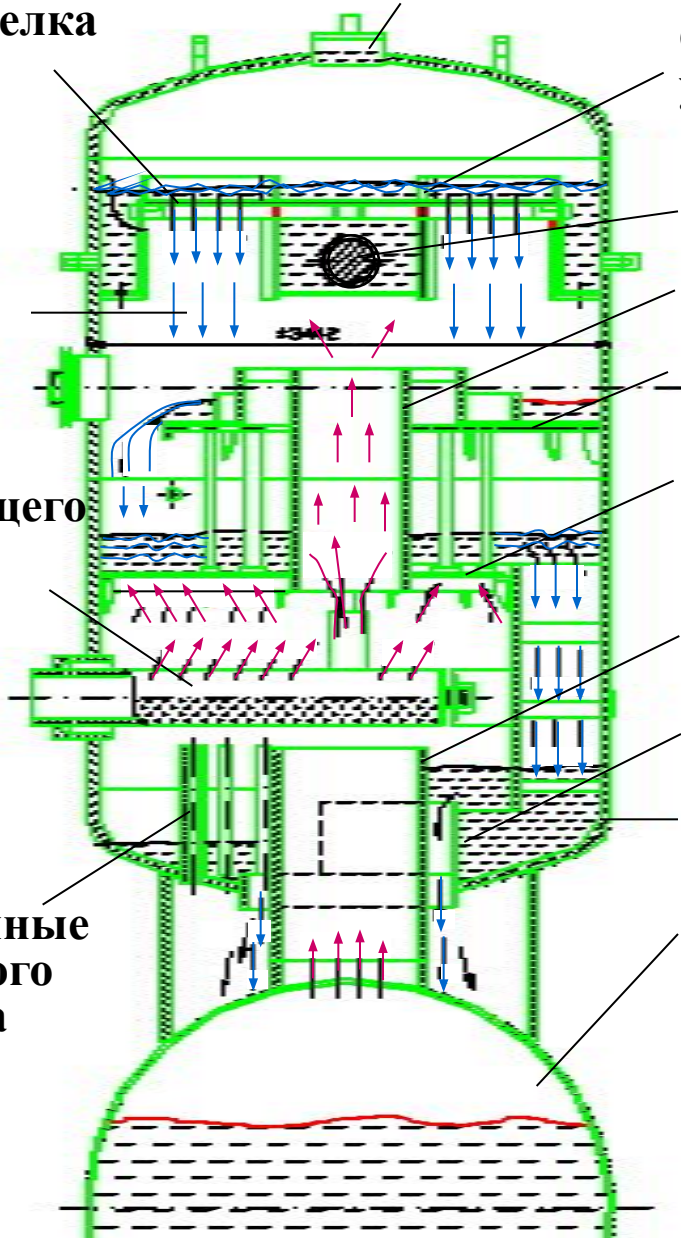
Деаэрационная колонка

Бак-аккумулятор

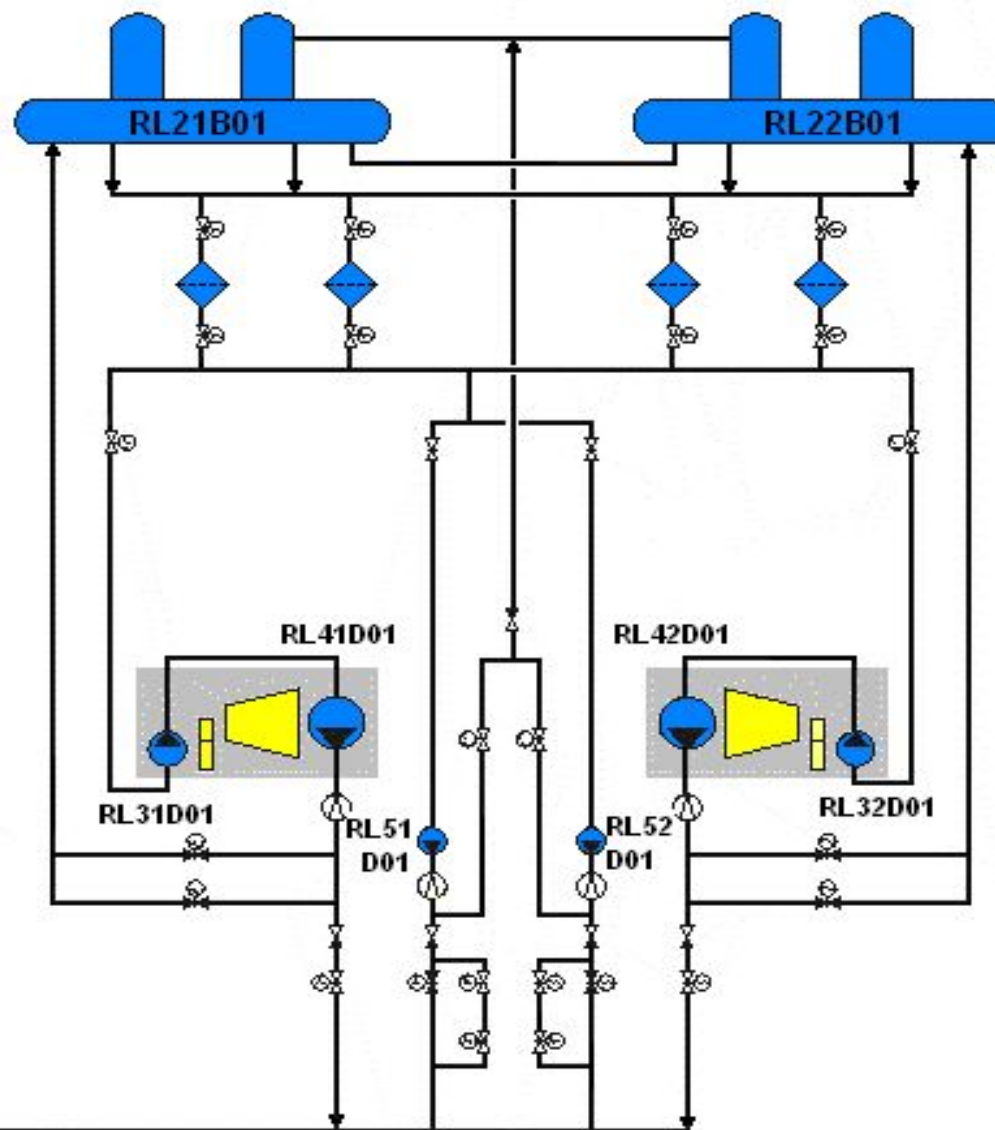
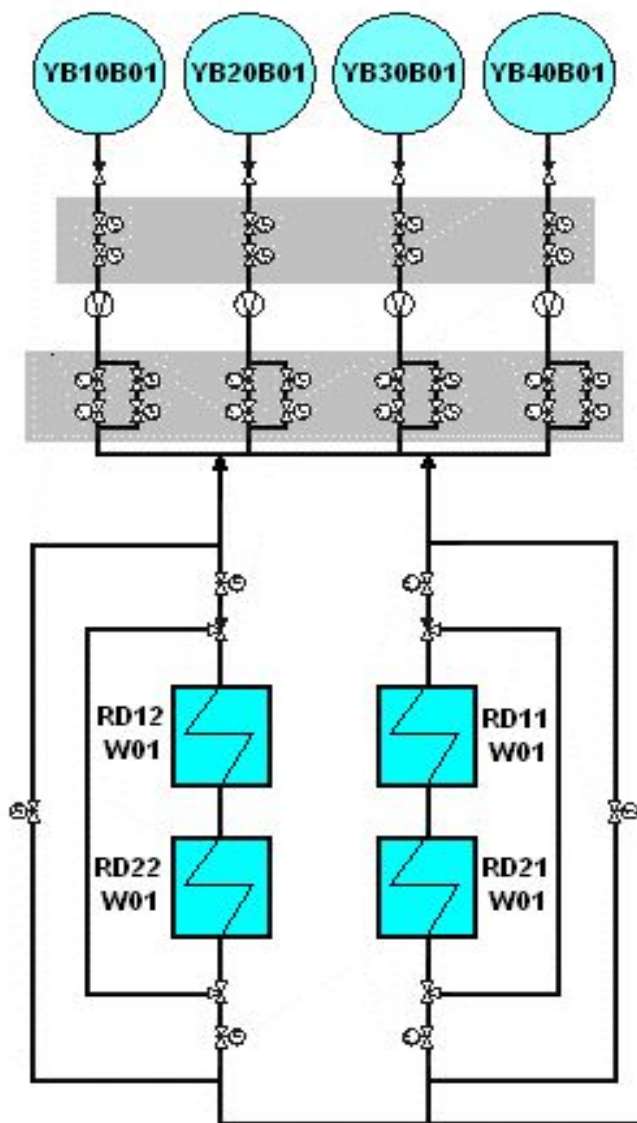
Струйный отсек

Коллектор подачи греющего пара

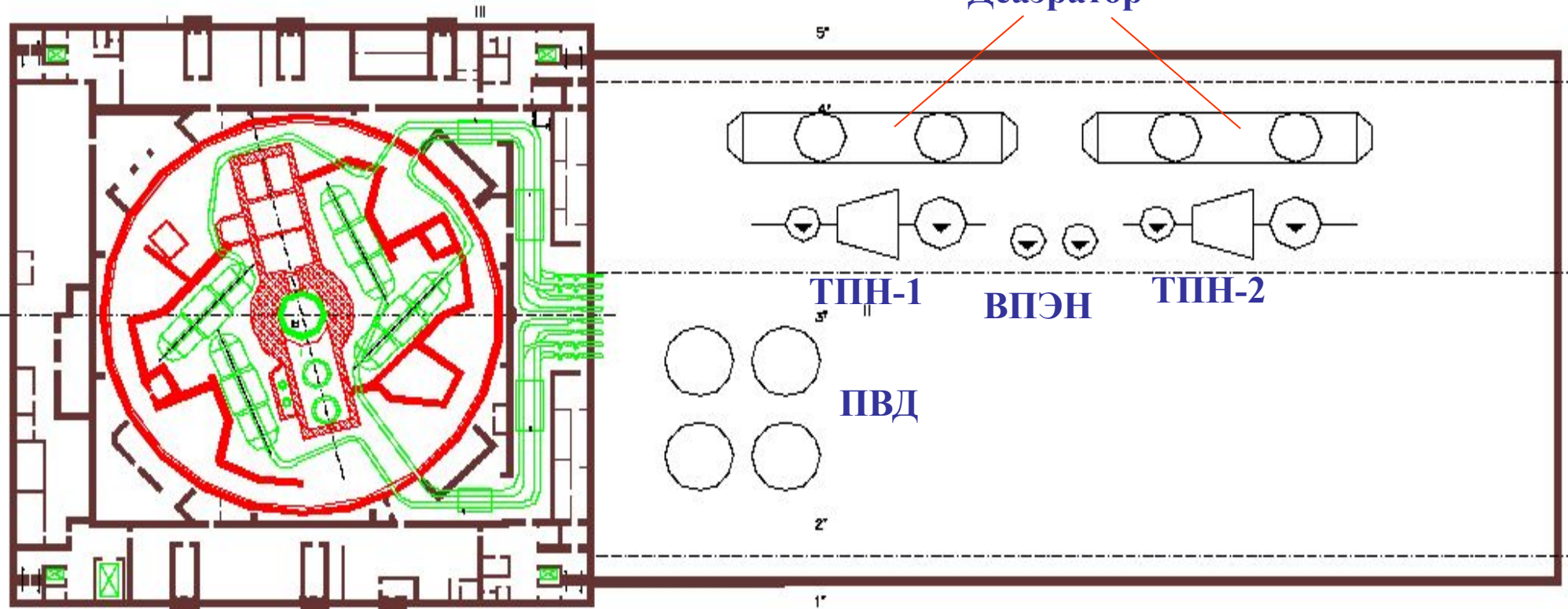
Вентиляционные трубы парового пространства



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

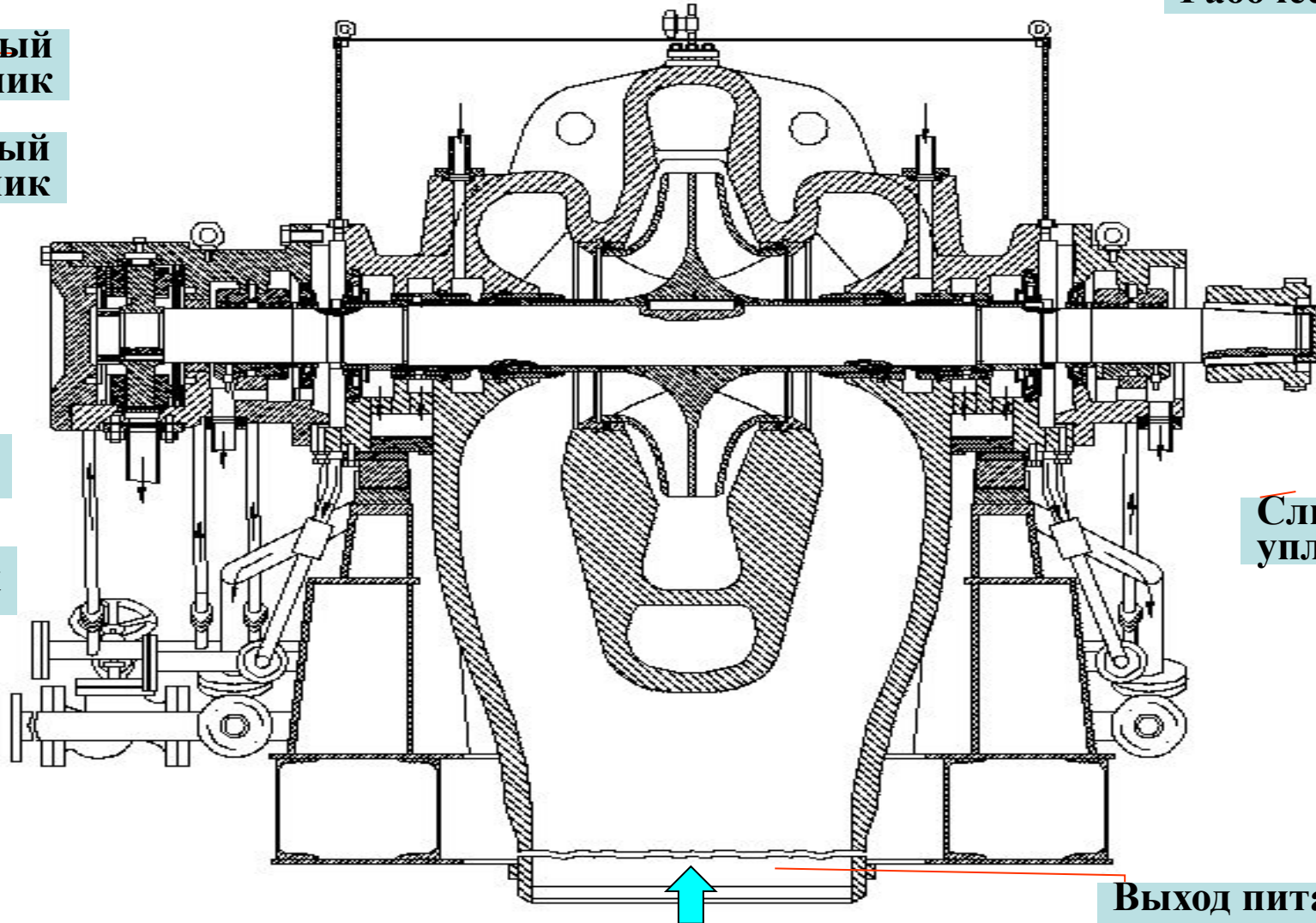
Корпус

Ротор

Слив с уплотнений

Выход питательной воды

Вход питательной воды

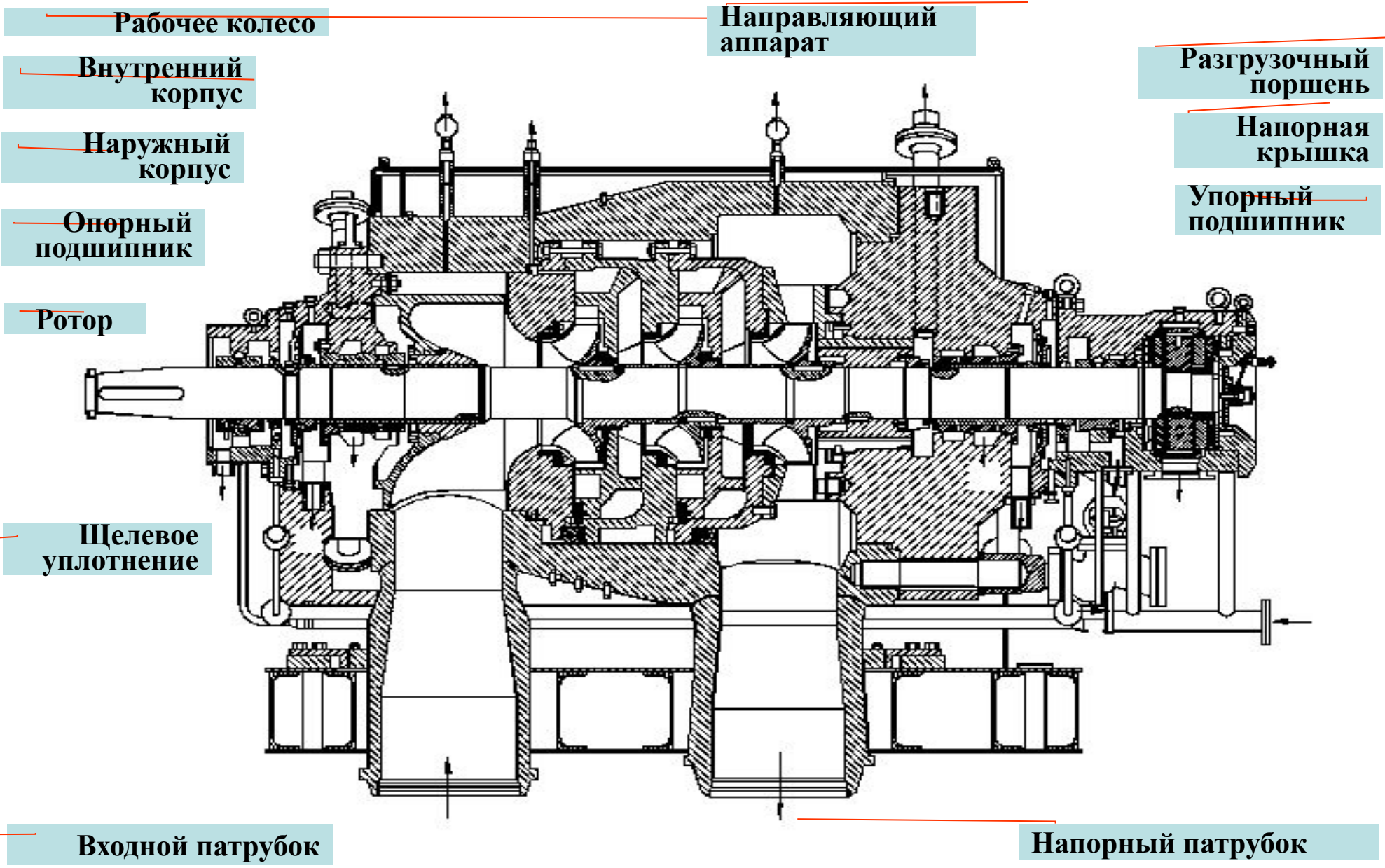




Характеристики бустерного насоса

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

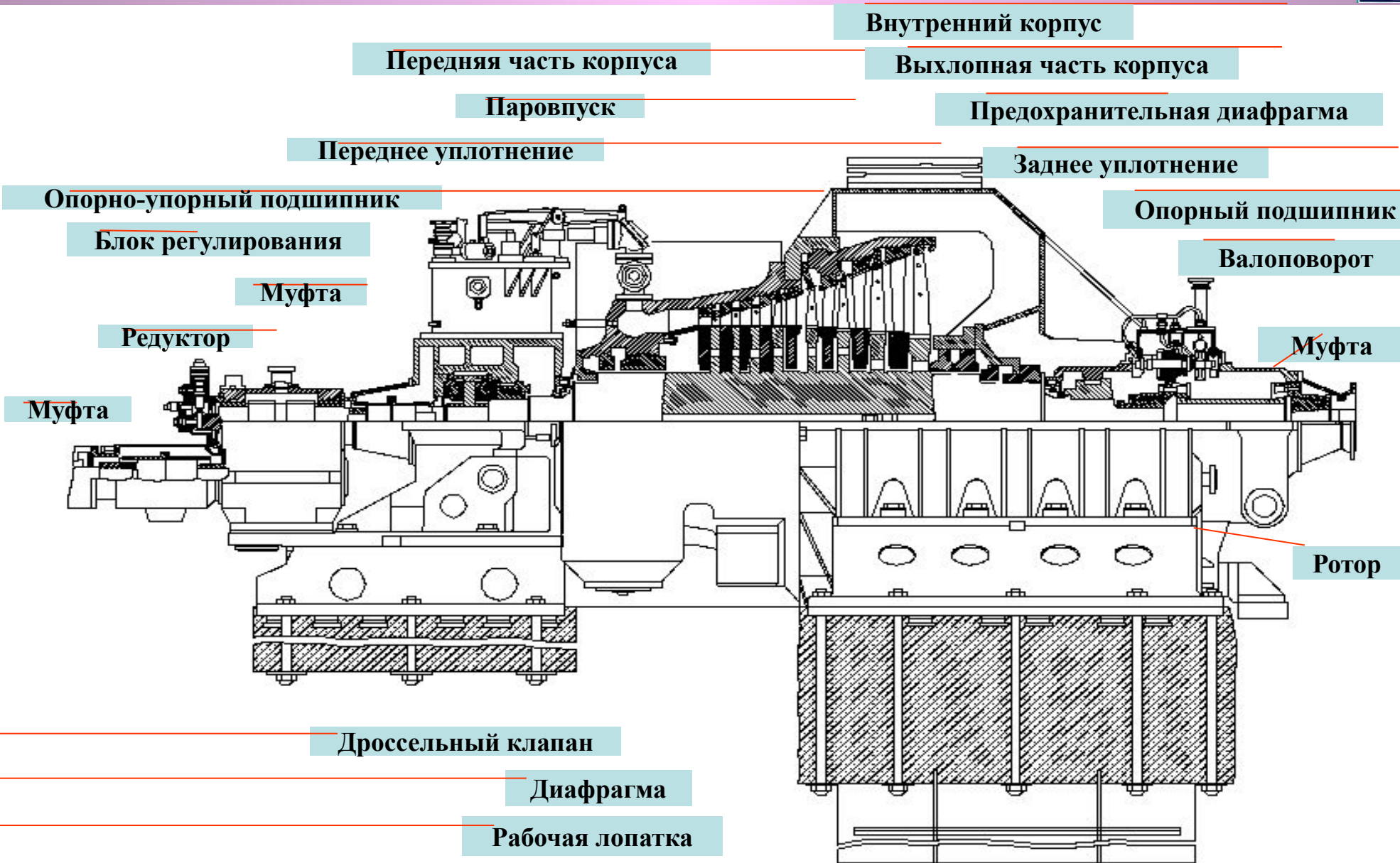


Характеристики питательного насоса



Наименование показателей	Ед. измерен.	Значения
Тип	--	ПТ-3750-75
Производительность	м³/час	3760
Давление воды на входе в насос	кгс/см²	27
Напор	м.вод.ст	808
Давление воды на выходе	кгс/см²	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

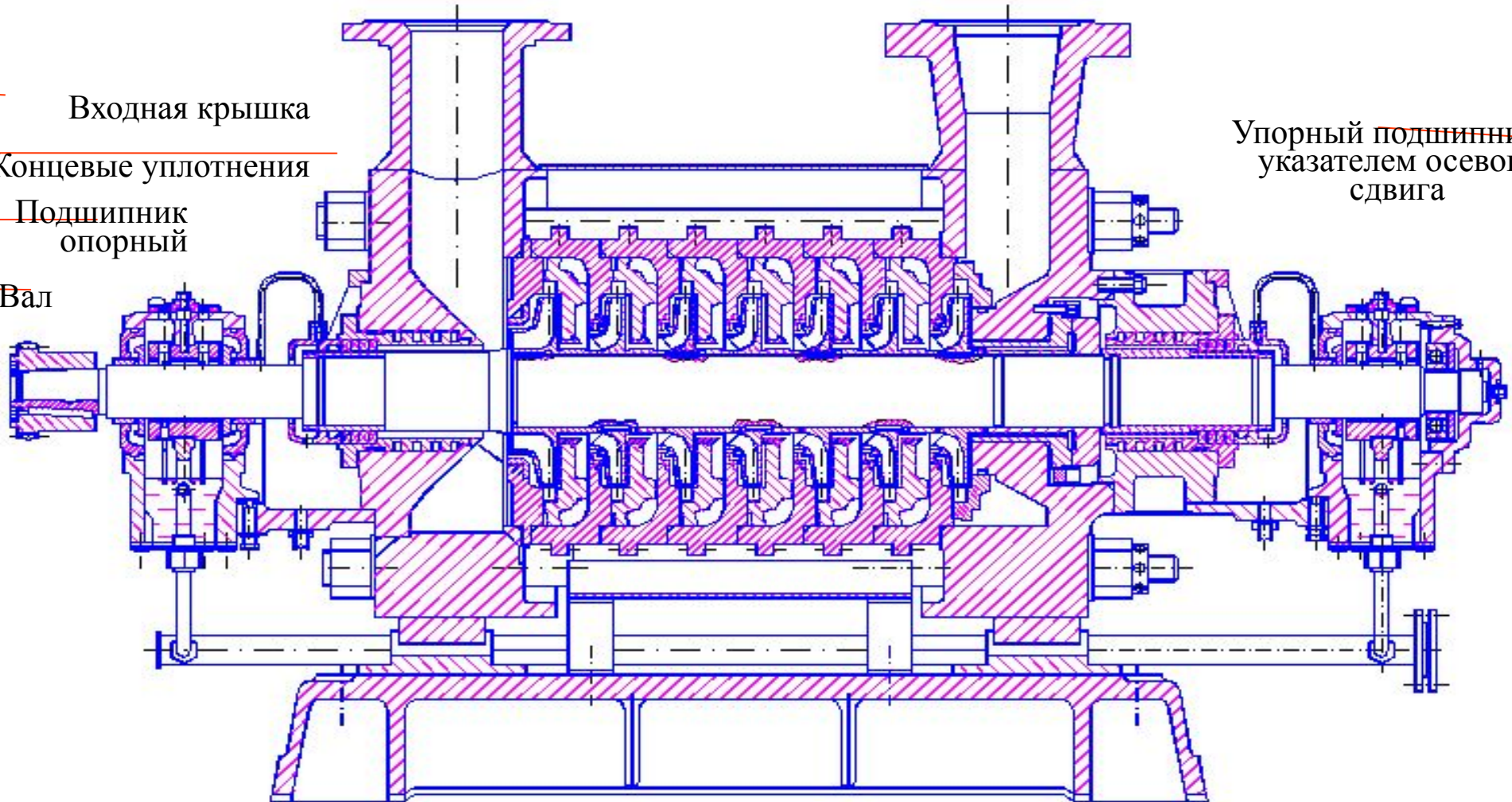
Входная крышка

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

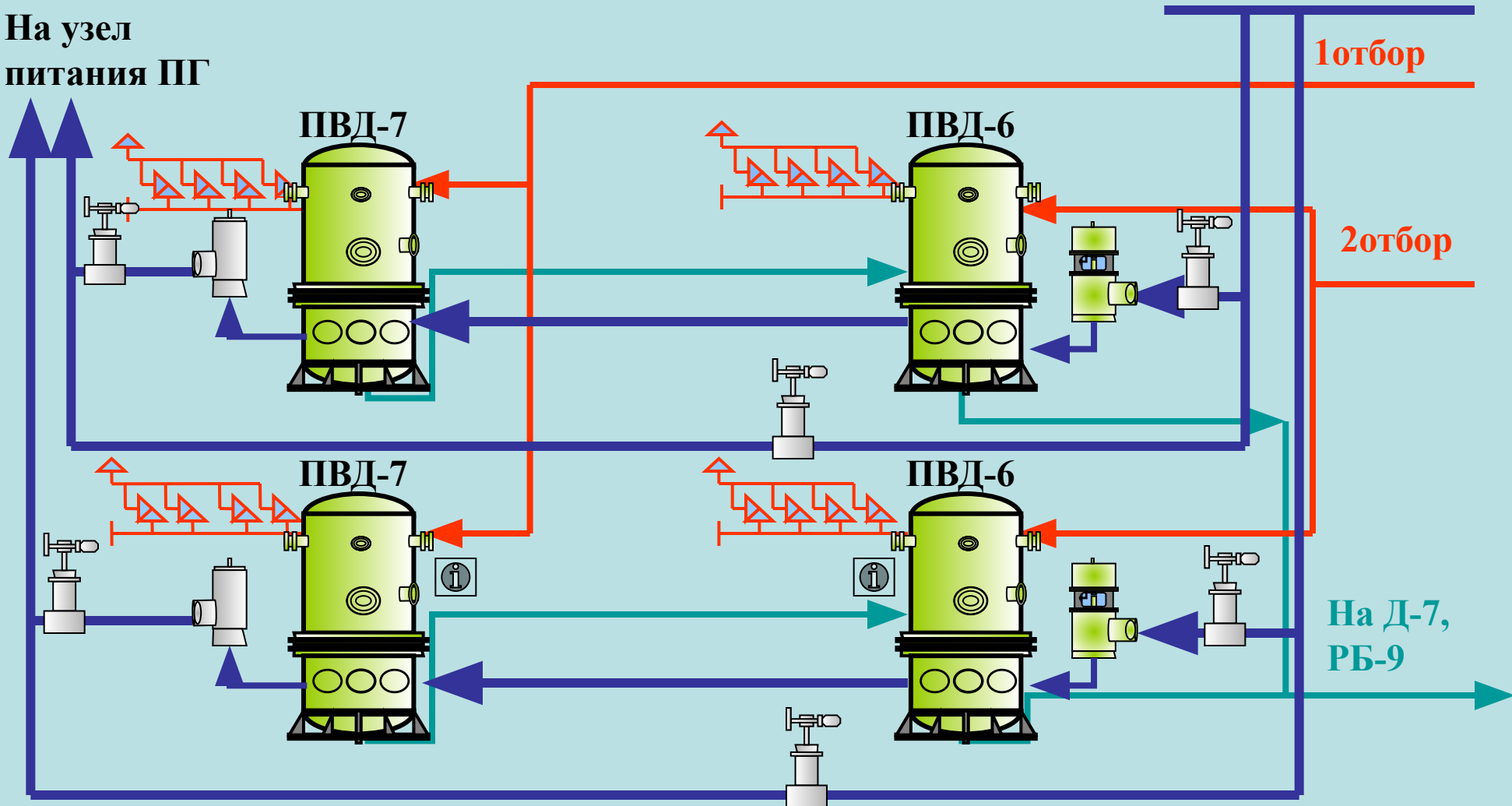
Назначение системы регенерации высокого давления

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

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ПВД

На узел
питания ПГ

От ТПН (ВПЭН)



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

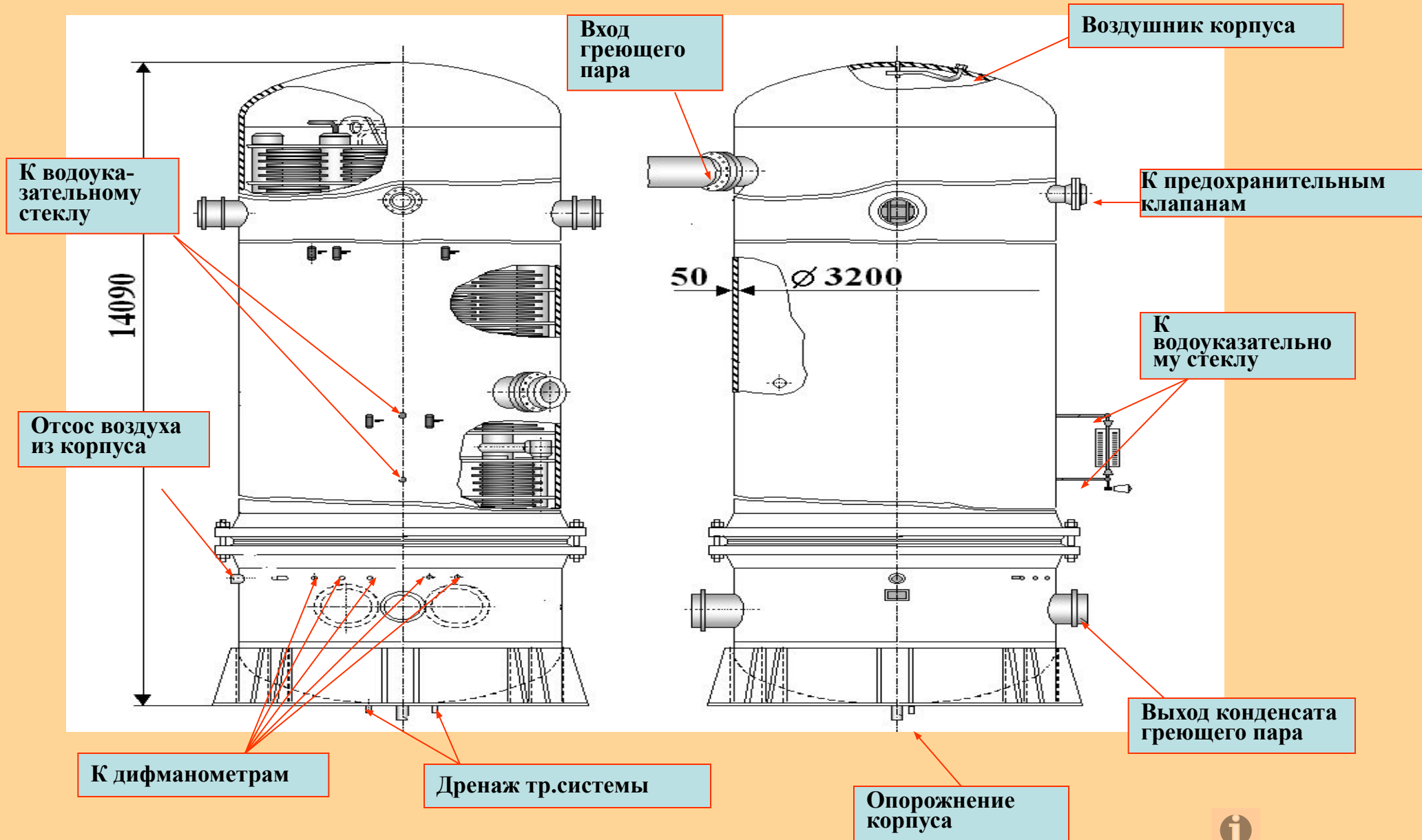


ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПВД-7

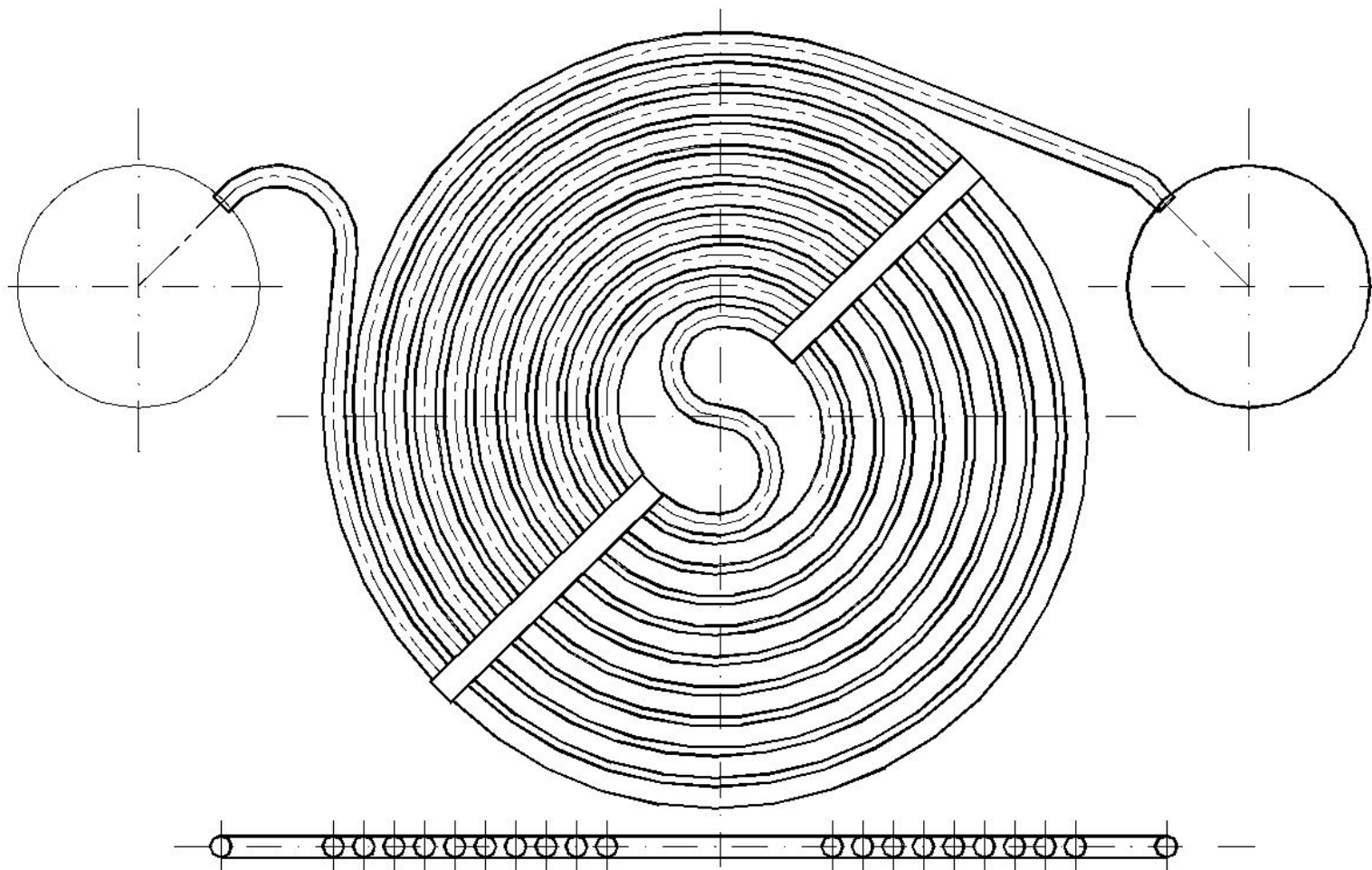
Тип	ПВ-2500-97-28А
Поверхность нагрева	2500 м²
Объем водяного пространства	16 м²
Скорость прогрева корпуса	55 °С/час
Расчетное давление в паровой части	36 кгс/см²
Расчетное давление в водяной части	120 кгс/см²
Давление срабатывания предохранительных клапанов	41,4 кгс/см²
Объем парового пространства	79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



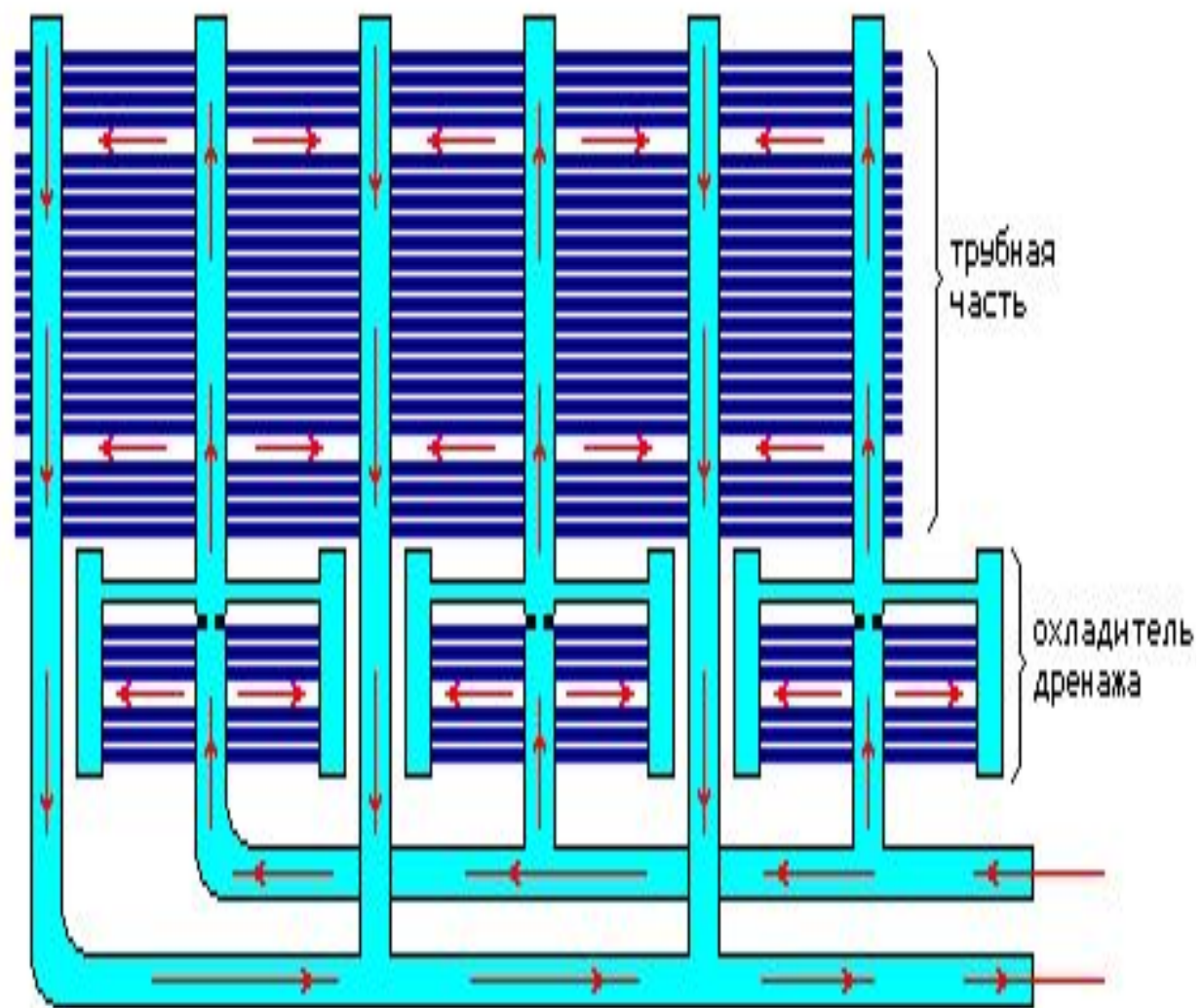
ПОДОГРЕВАТЕЛЬ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ



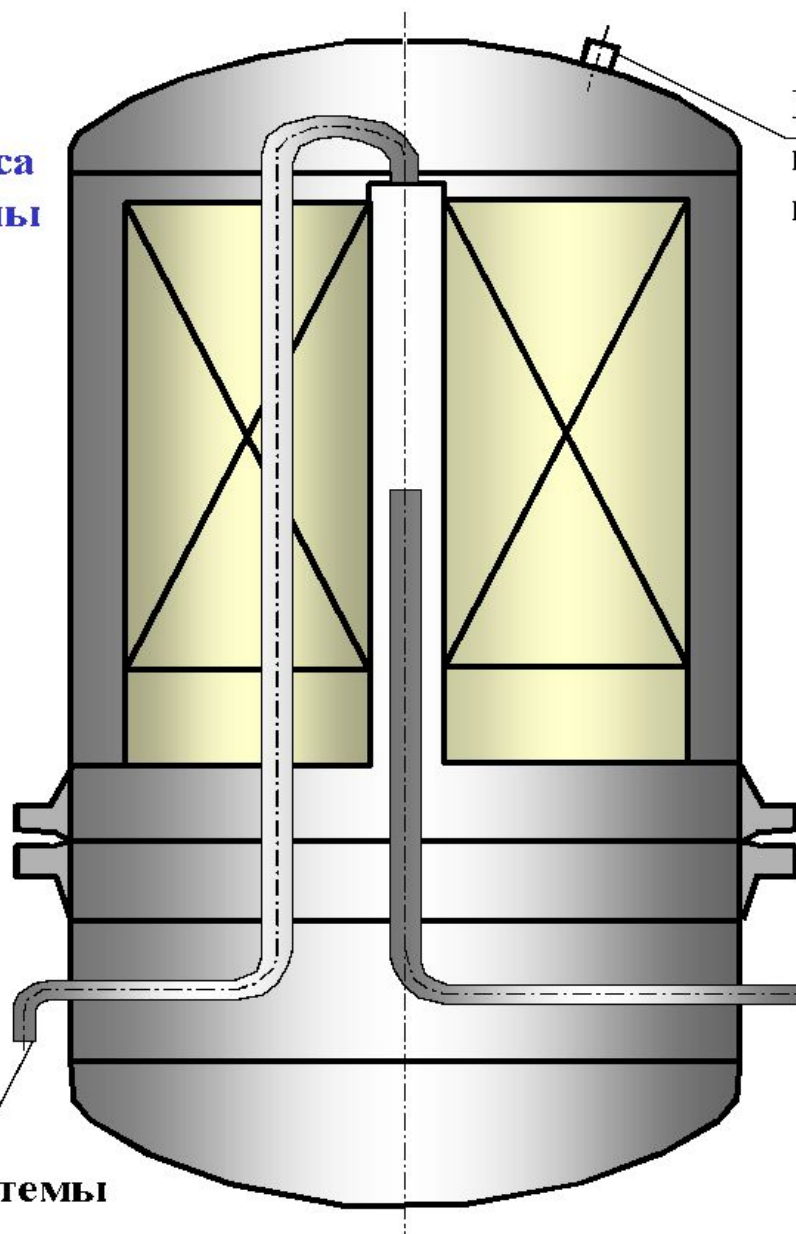
Спиральный змеевик трубной части подогревателей высокого давления



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



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

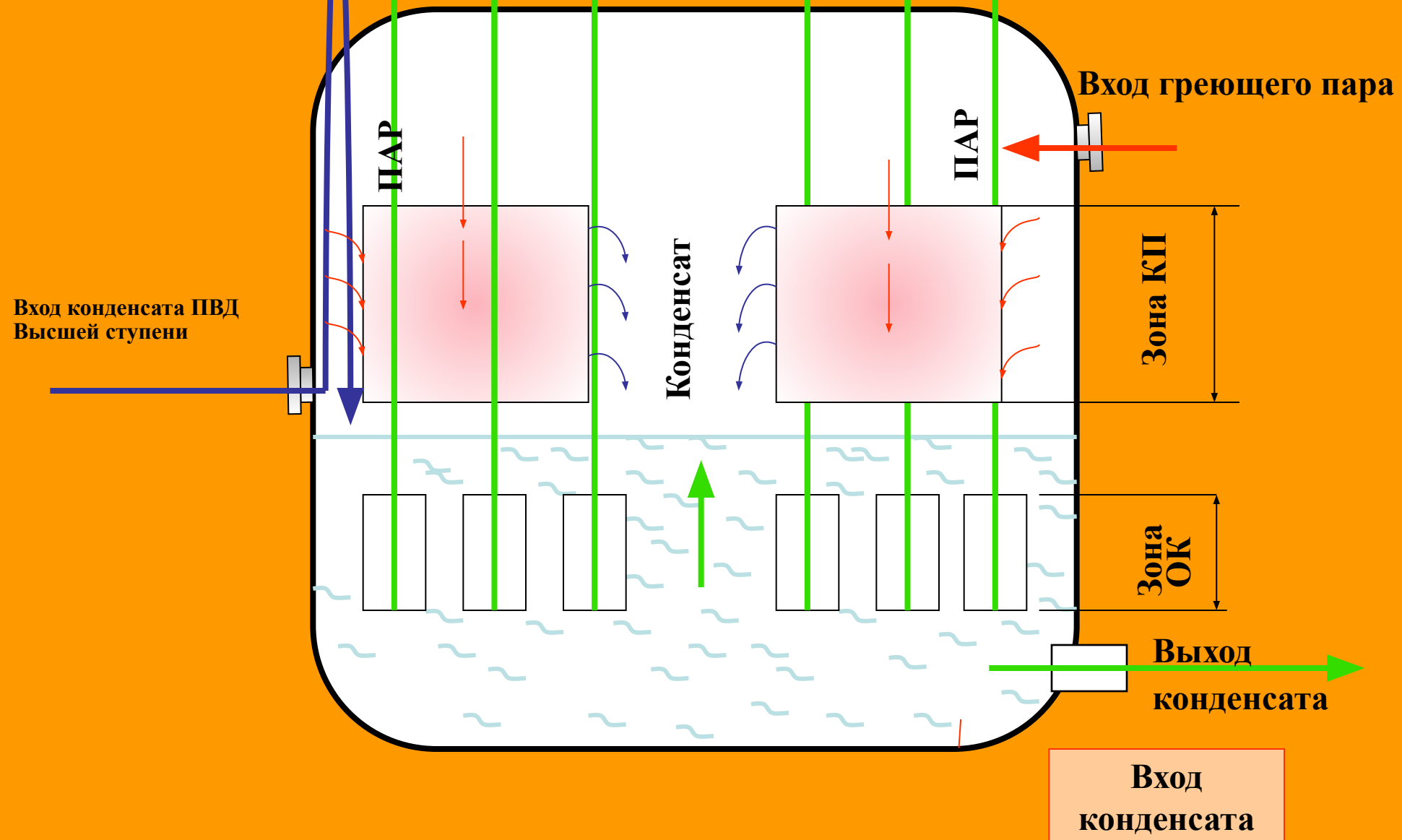


**Вытеснение
воздуха из
корпуса**

**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 \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



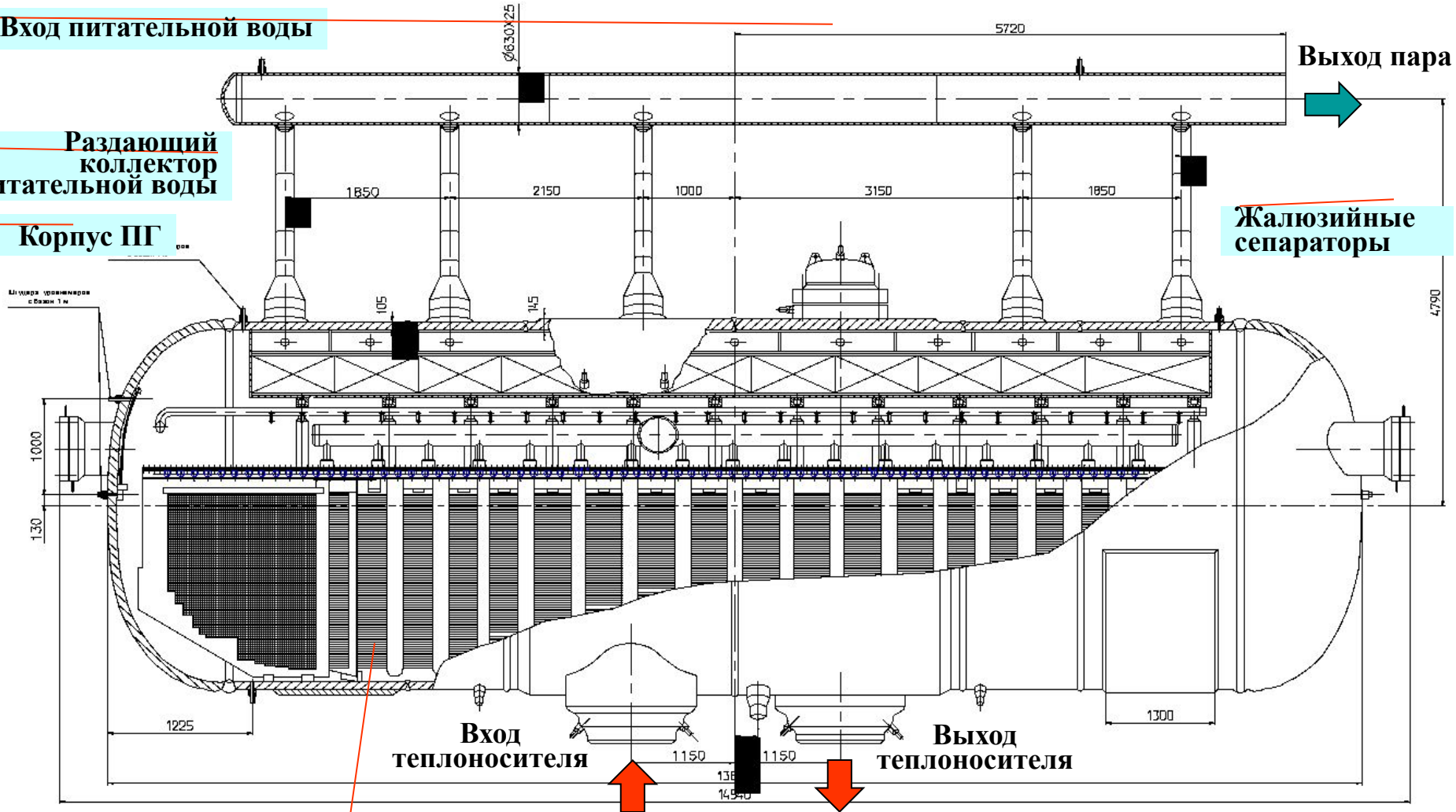
Вход питательной воды

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

