АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

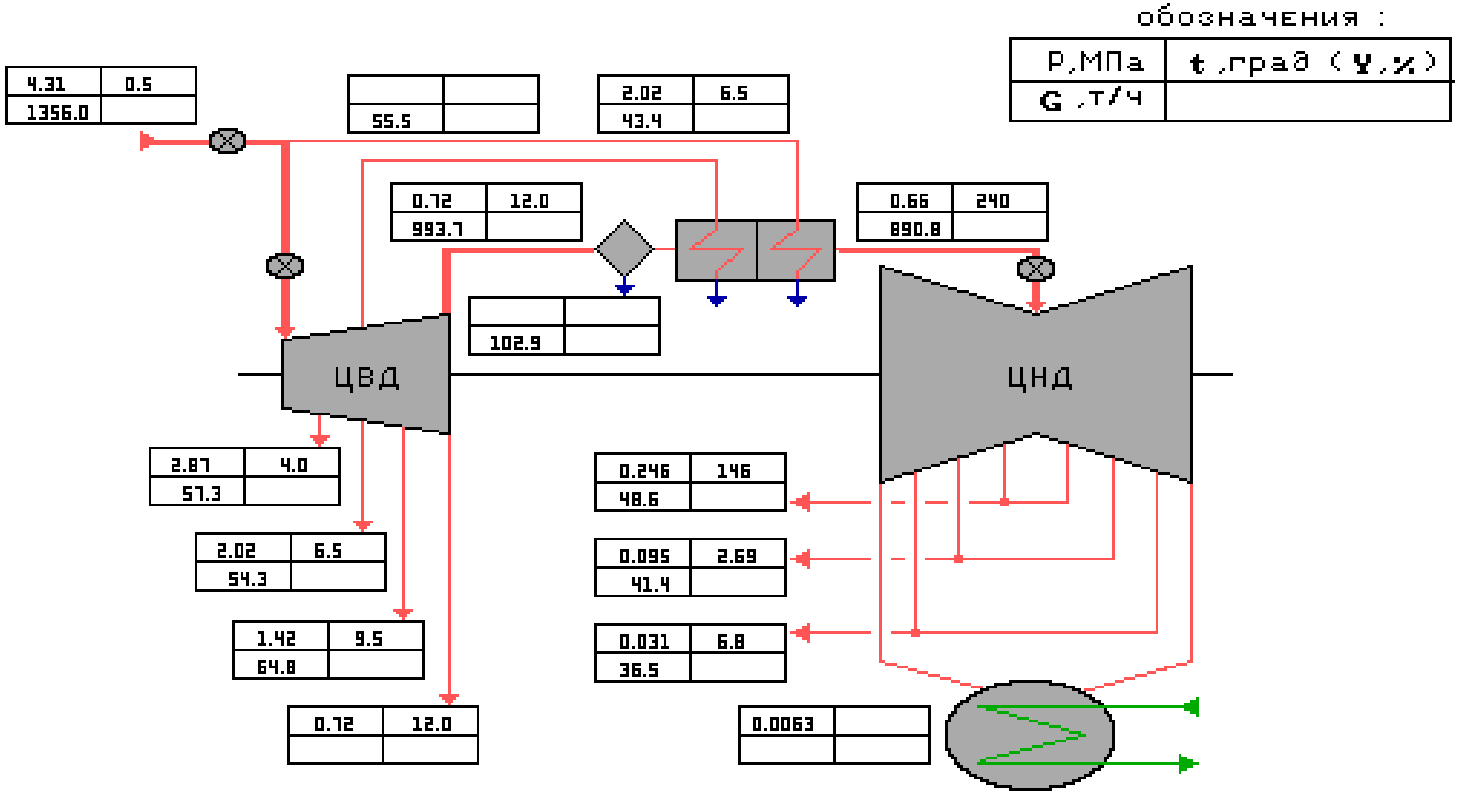
Тема 8. **ТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ АЭС**

Основные вопросы

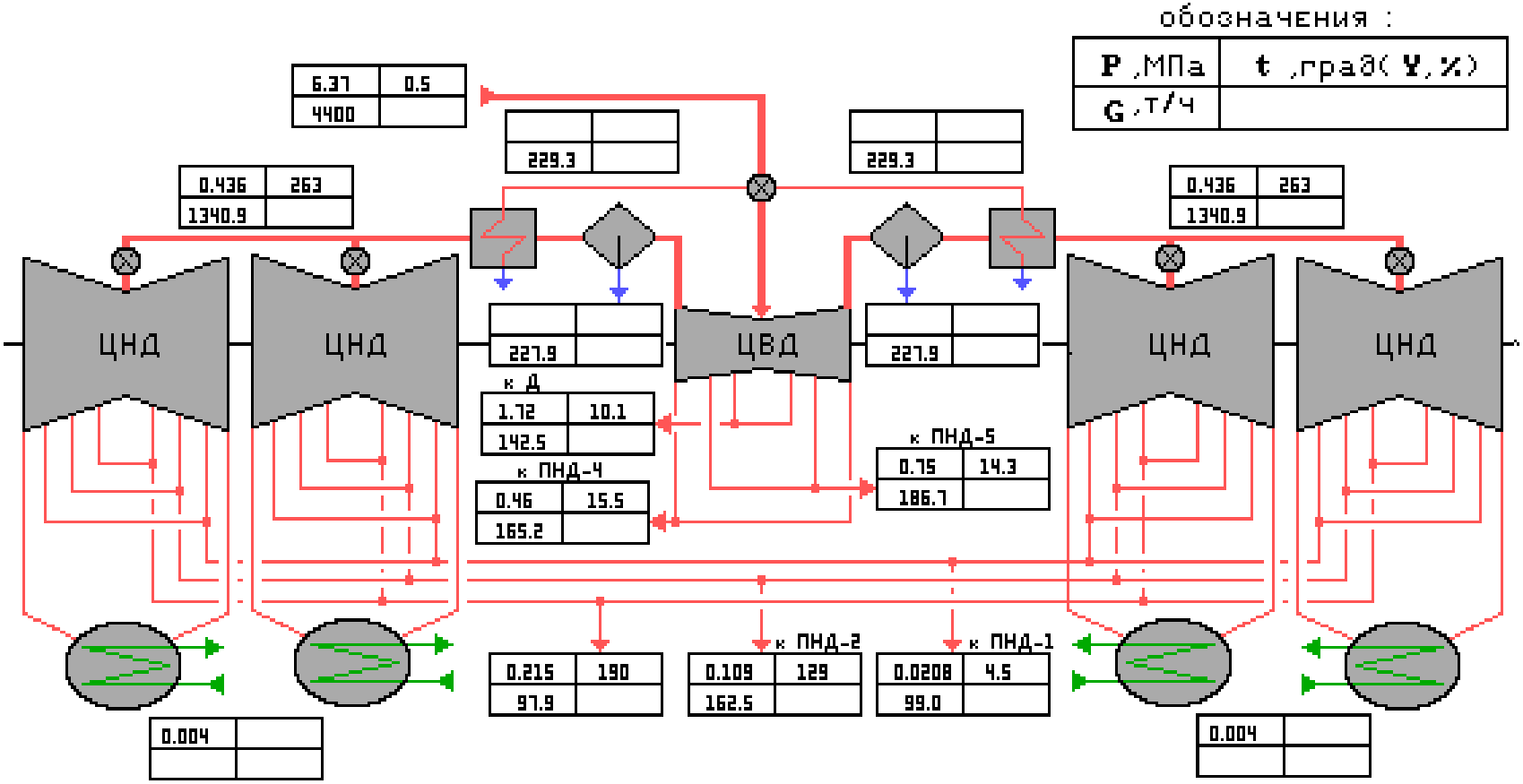
- Особенности турбинных установок
- Преимущества тихоходной турбины
- Особенности работы на радиоактивном паре
- Характеристики турбин насыщенного пара для АЭС с ВВЭР
- Характеристики турбин насыщенного пара для АЭС с РБМК

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ПАРАМЕТРЫ ПАРА В ОТБОРАХ К-220-44-4

(конденсационный режим : Nэл =220 МВт)

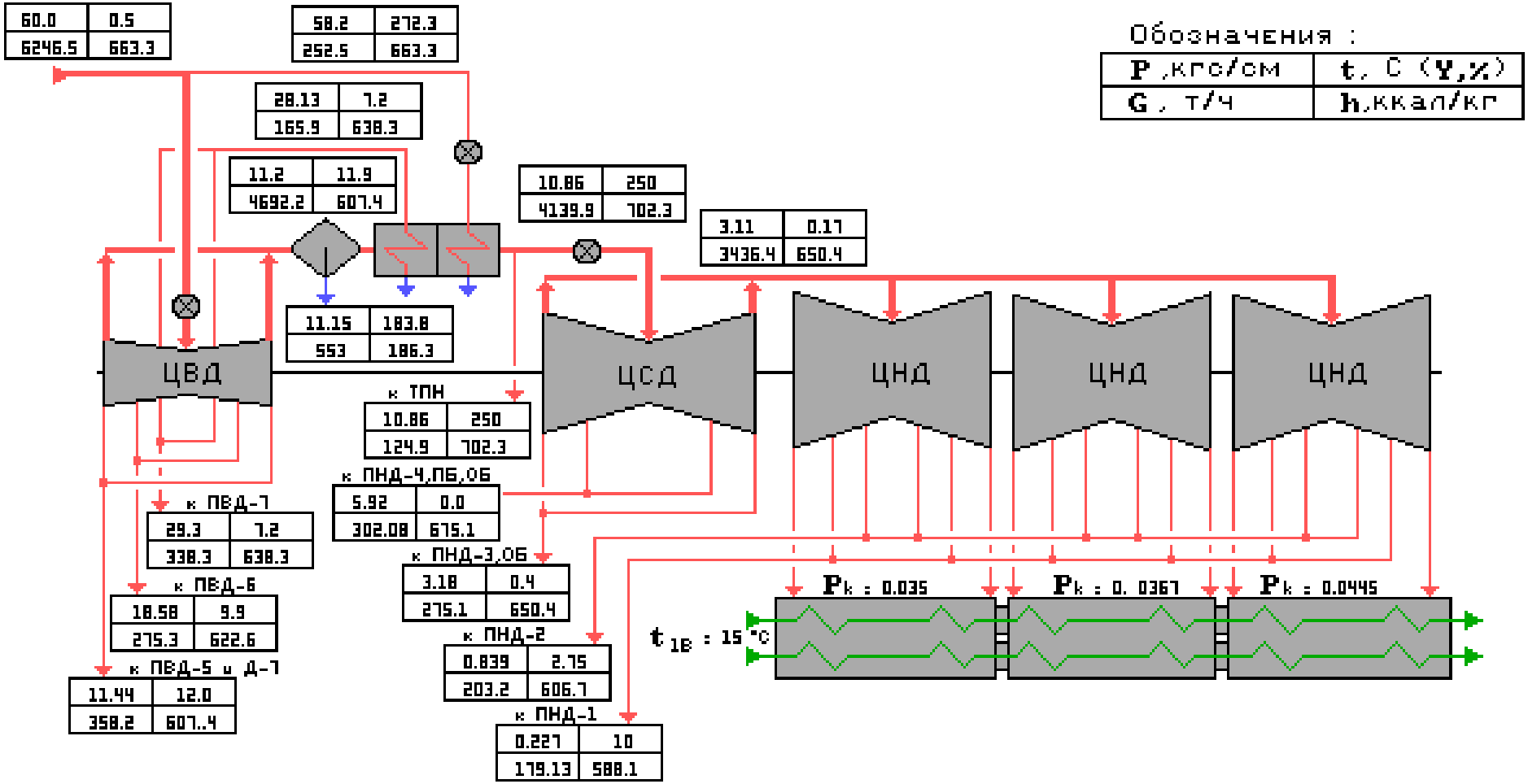


Структурная схема и параметры пара 6 отборах К-750-65/3000

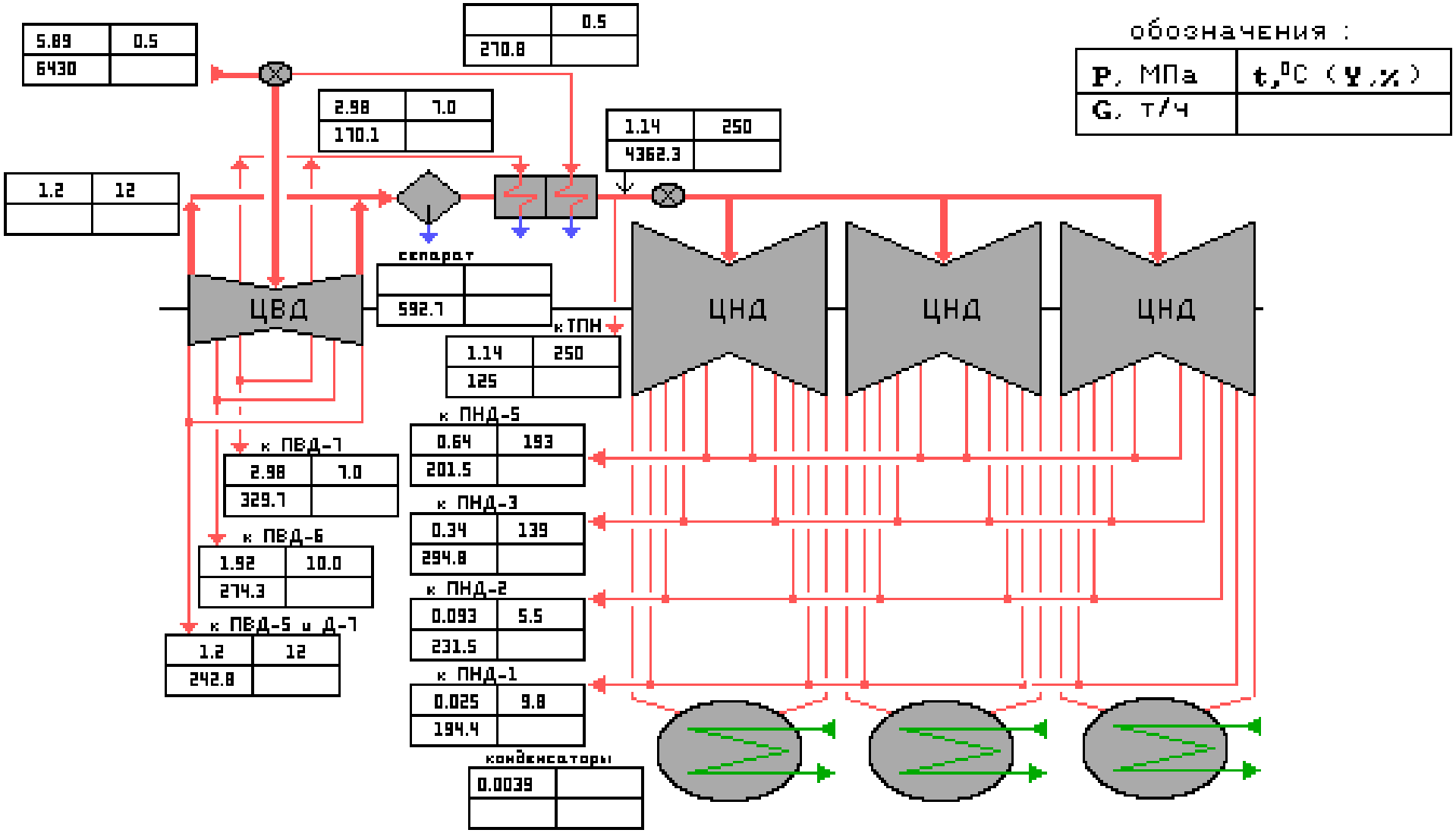


Структурная схема и параметры пара 8 отборах К-1000-60/1500-1

(турбина с боковым расположением конденсаторов)



Структурная схема и параметры пара в отборах К-1000-60/1500-2



Паровые турбины для АЭС ПО "ЛМЗ"

Турбина	Год выпуска гол. образца	Тип реактора	Где установлена
1. К-210-130	1958(демонт.)	БН	Белоярская АЭС
2. К-800-130		БН	Белоярская АЭС
3. К-1000-60/3000	1984	ВВЭР-1000	Юж.Укр. Запорожская АЭС; проект:Кольская, Калининская АЭС
4. К-600-5.9/50	проект	ВПБЭР-600	Буйская АЭС
5. КТ-1000-60/3000-1	проект	ВВЭР-1000	
6. КТ-1000-60/3000-2	проект	ВВЭР-1000	

Особенности турбинных установок на насыщенном паре

- относительно низкая экономичность
- большие расходы пара
- нарастающая влажность по ступеням

Увеличение средней влажности пара на 1 %

- снижает внутренний относительный КПД турбины примерно на 1%

$$\eta_{oi\,вл} = \eta_{oi}\, x_{ср}/100$$

Влияние влажности пара на работу турбины

- эрозия лопаток

Методы отвода влаги из проточной части турбины:

- внешние сепараторы, устанавливаемые между корпусами турбины
- внутритурбинные сепарационные устройства

Внутритурбинные сепарационные устройства

- пар отсасывается из влагоулавливающей камеры и направляется в систему регенерации

- эффективность влагоудаления возрастает с увеличением отсоса (при y > 5 %)

Способы борьбы с эрозией путем упрочнения поверхности лопаток:

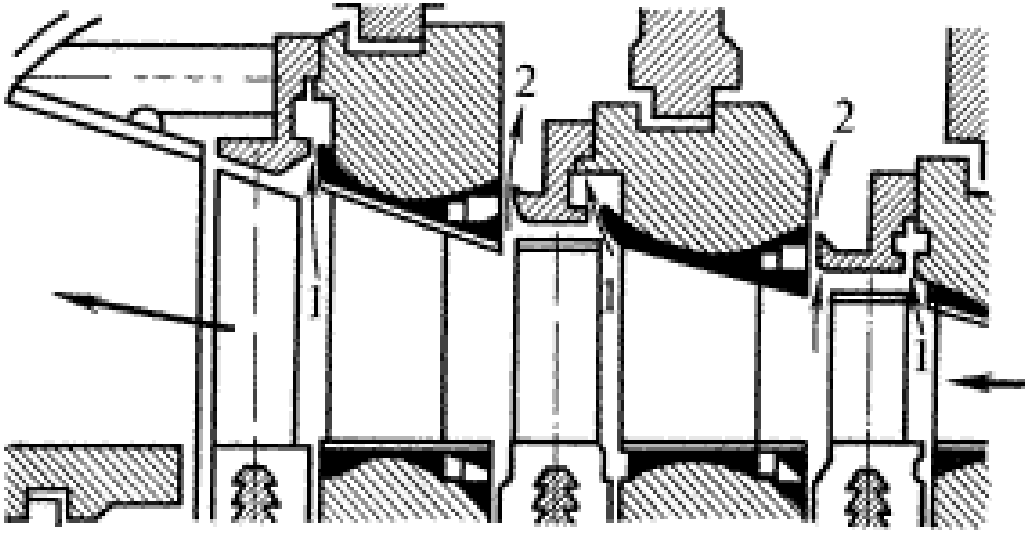
- хромирование
- местная закалка кромок
- упрочнение поверхностного слоя электроискровым способом и др.

влагоулавливающие устройства располагают не за всеми ступенями, а только в ЦНД

Допустимая влажность для стальной лопатки

Высота, мм	Частота вращения, 1/с	Допустимая влажность пара, %
1500	25	13 ---14
1500	50	7 - 8
780	50	13 ---14

Проточная часть ЦВД турбины К-500-65/3000 с поступенчатой сепарацией



система ловушек для влаги, срывающейся с лопаток

Преимущества тихоходной турбины

- значительное увеличение торцовой площади единичного выхлопа
- уменьшение числа ЦНД
- уменьшение выходных потерь
- более высокая тепловая экономичность

Недостатки тихоходной турбины

- большие затраты металла
- трудоемкость изготовления

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПТУ НА РАДИОАКТИВНОМ ПАРЕ

В блоке с РБМК - 1000 пар, поступающий в турбину - радиоактивный

Мощность дозы γ - излучения (мР/ч) в эксплуатации в машинном зале одной из АЭС США

вблизи паропровода свежего пара	700
клапанная коробка турбины	300
конденсатоочистка (в конце цикла работы, перед регенерацией)	100
водяная емкость конденсатора	11
трубная доска конденсатора	5
питательный насос	0,5
подогреватели питательной воды:	
первый по ходу воды	0,5
последний по ходу воды	225

- В ПТУ одноконтурной АЭС доосушивание пара перед его перегревом приводит к твердым радиоактивным отложениям

Радиоактивность пара

- связана с газовой активностью, быстро спадающей при останове оборудования
- в машинном зале наибольшая радиоактивность связана с острым паром

Биологическая защита

- водяные емкости конденсаторов
- конденсатоочистка
- Водяная емкость корпусов подогревателей РППВ
- часть объема сепаратора, в которой скапливается сепарат

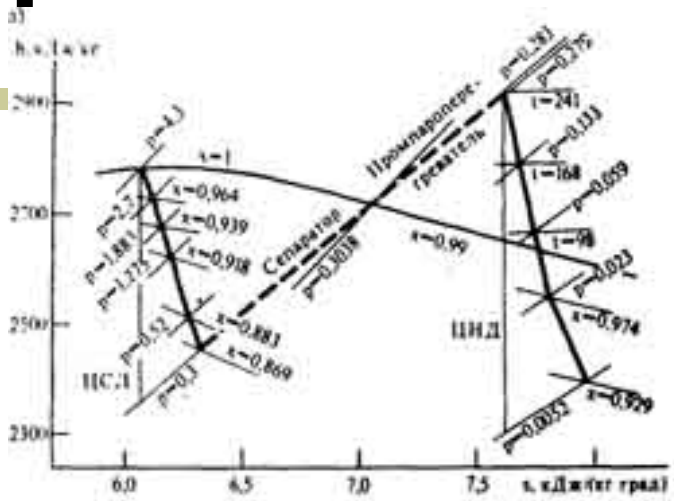
Радиоактивность подогревателей РППВ

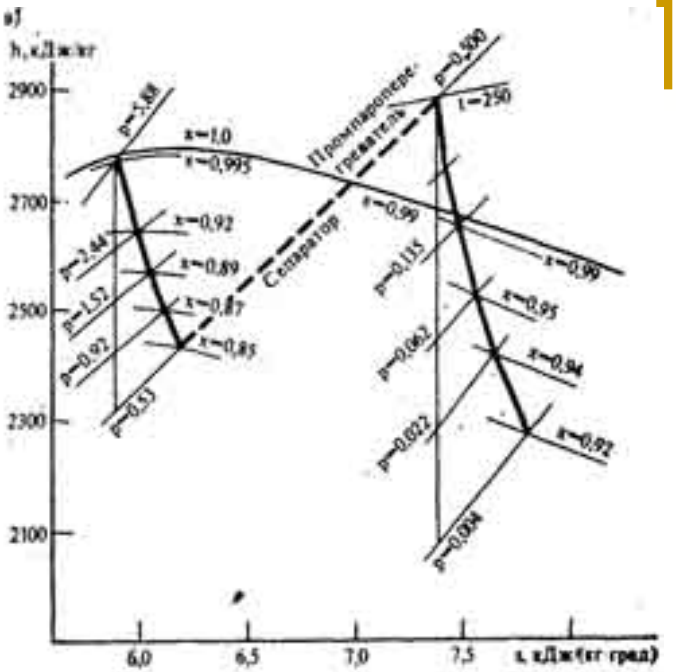
- в первом по ходу воды подогревателе уровень радиоактивности низок
- в последнем подогревателе радиоактивность относительно высока

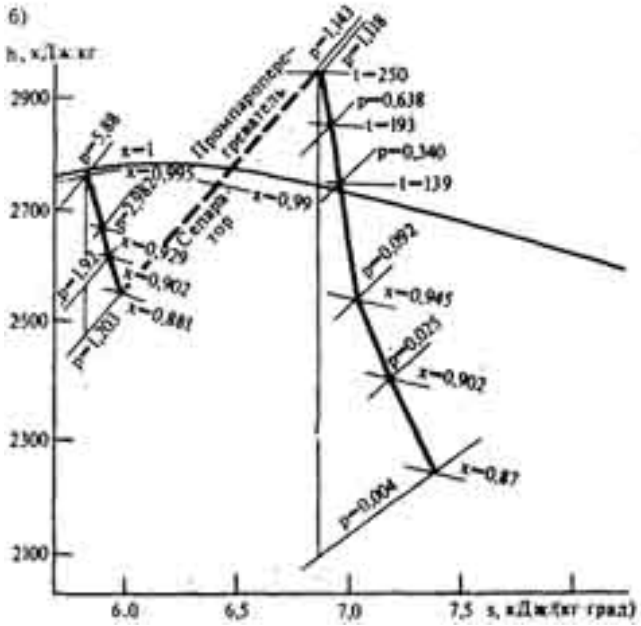
ИСПАРИТЕЛЬ В ПТУ ОДНОКОНТУРНОЙ АЭС

- для производства нерадиоактивного пара для концевых уплотнений турбины

Процесс в *h,s* — диаграмме для турбины насыщенного пара







Основные характеристики турбин насыщенного пара для АЭС с ВВЭР

Основные показатели	Турбина		
	К-220-44	К-1000-60/1500	К-1000-60/3000
Мощность, МВт	220	1000	1000
Частота вращения, $с^{-1}$	50	25	50
Начальное давление, МПа	4,3	5,88	5,88
Давление в конденсаторе, кПа	5	4	4
Разделительное давление, МПа	0,300	1,2	0,583
Температура перегрева, °С	241	250	250
Температурный напор на выходе промежуточного перегревателя, °С	13,9	24,3	24,3

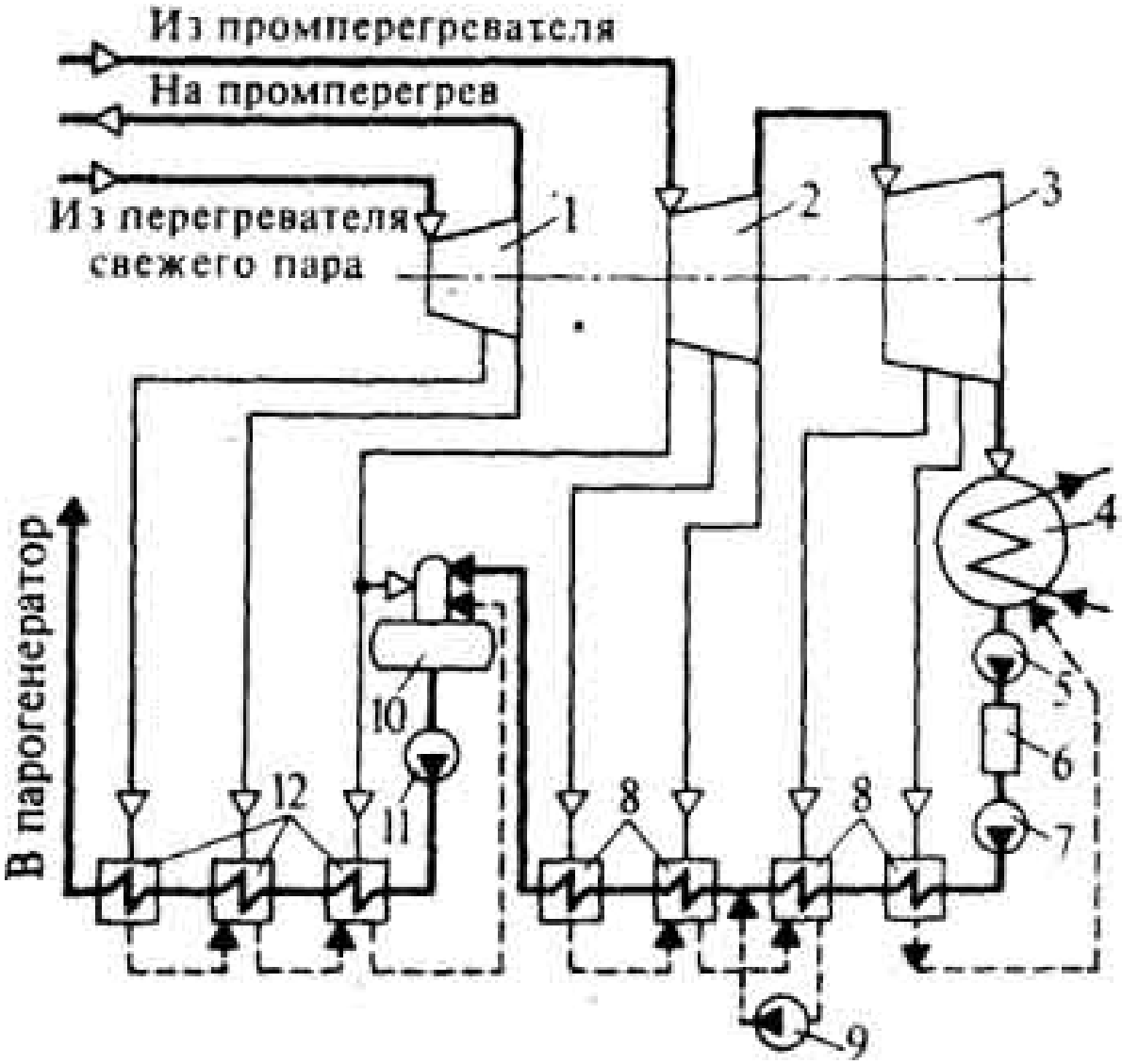
Продолжение

Основные показатели	Турбина		
	К-220-44	К-1000-60/1500	К-1000-60/3000
Конечный подогрев питательной воды в регенеративной системе, °С	225	225	220
Расход пара на турбину при номинальном режиме, т/ч	1439	6160	6430
Количество двухпоточных ЦНД	2	3	4
Количество выхлопов	4	6	8
Мощность на один выхлоп, МВт	55	166	125
Общая длина турбины + генератор, м	42,0	57,8	74,0
Удельный расход теплоты на турбинную установку брутто, кВт·ч/кВт	$3{,}2 \cdot 10^3$	$2{,}88 \cdot 10^3$	$2{,}92 \cdot 10^3$

Основные характеристики турбины насыщенного пара для АЭС с РБМК-1000

Основные показатели	Турбина К-500-65/3000
Мощность, МВт	500
Частота вращения, $с^{-1}$	50
Начальное давление, МПа	6,45
Давление в конденсаторе, кПа	4
Разделительное давление, МПа	0,348
Температура перегрева, °С	265
Температурный напор на выходе промежуточного перегревателя, °С	14,5
Конечный подогрев питательной воды в регенеративной системе, °С	165
Расход пара на турбину при номинальном режиме, т/ч	2855
Количество двухпоточных ЦНД	4

Продолжение

Основные показатели	Турбина К-500-65/3000
Количество выхлопов	8
Мощность на один выхлоп, МВт	62,5
Общая длина турбины + генератор, м	56,0
Удельный расход теплоты на турбинную установку брутто, кВт·ч/кВт	$3{,}08 \cdot 10^3$

Принципиальная тепловая схема паротурбинной установки третьего блока БАЭС