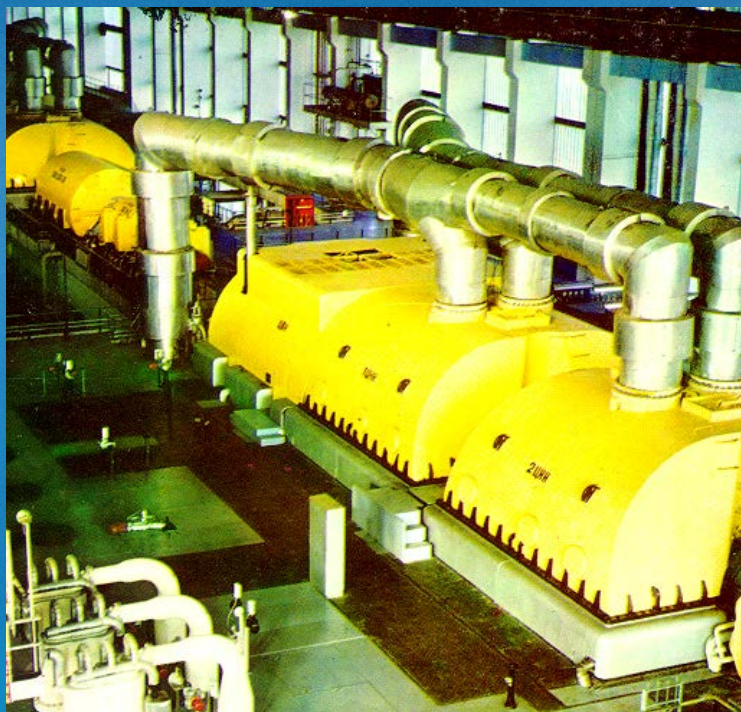
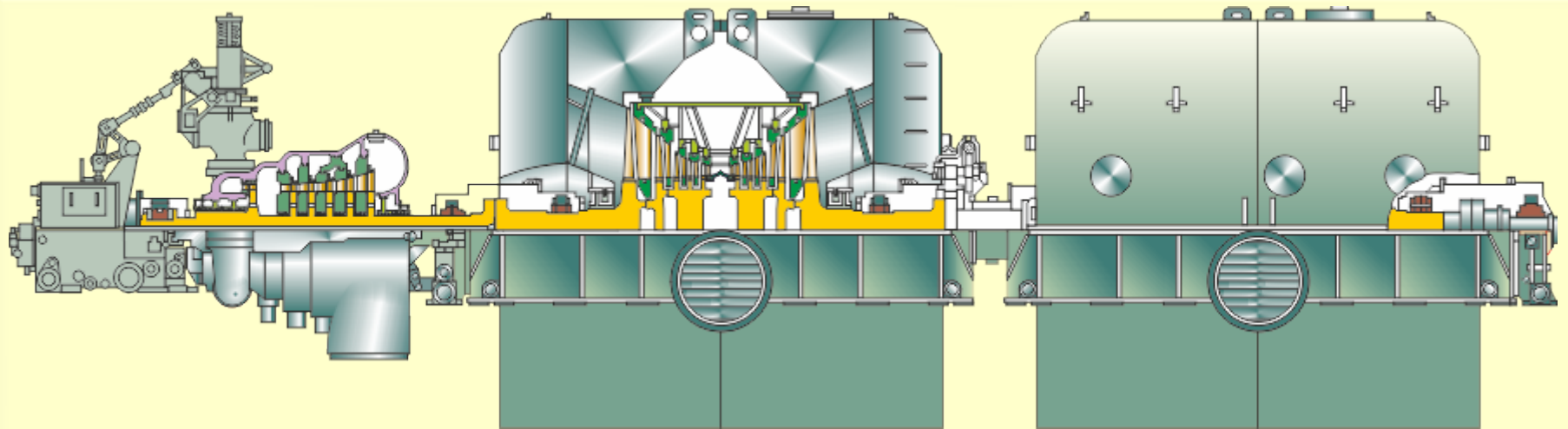




Модернизация турбин К-220-44



ТУРБОАТОМ



Продольный разрез турбины К-220-44

- Турбоустановка К-220-44 рассчитана для работы в дубли-блоке с реактором ВВЭР-440 на параметры острого пара:
 - давление – 4,3 МПа;
 - температура – 255⁰С.
- Турбоустановка отличается высокой надежностью, неоднократно занимала верхние строчки таблиц по коэффициенту использования установленной мощности среди энергоблоков атомных электростанций мира.
- **Расчетный срок службы – 30 лет.**

Поставки турбин К-220-44



С 1968 по 1991 год изготовлено 52 турбины различных модификаций.
В настоящее время из эксплуатации выведены 22 турбины.



ТУРБОАТОМ

Мероприятия по модернизации турбин

Для повышения технических характеристик во время расчетного срока службы, а также для продления жизненного цикла турбоустановок ПАО «Турбоатом» разработал ряд мероприятий:

❖ **модернизация цилиндра высокого давления;**

- модернизация проточной части, диафрагменных и концевых уплотнений ЦВД;
- модернизация корпуса;
- модернизация выходного отсека ЦВД с установкой диффузора за последней ступенью.

❖ **модернизация цилиндра низкого давления;**

- модернизация проточной части 1-5 ступеней, диафрагменных и концевых уплотнений ЦНД;
- модернизация выхлопного отсека ЦНД с установкой профилированного надбандажного кольца последней ступени.

❖ **модернизация конденсатора.**

- замена существующих конденсаторов с трубками из медно-никелиевых сплавов на конденсаторы «блочно-модульного» исполнения с трубками из коррозионно-стойкой стали марки TP 316L по ASTM 249, или из титанового сплава BT1-0.

Опыт модернизации турбин К-220-44

№ п/п	АЭС	Блок/турбина	Год поставки	Год ввода в эксплуатацию
Модернизация проточных частей ЦВД и ЦНД				
1.	Кольская АЭС, Россия	блок № 2, турбина № 3	1993	1993
		блок № 1, турбина № 2	1997	1997
2.	АЭС "Ловииса", Финляндия	блок № 2, турбина № 4	1998	1998
3.	АЭС "Пакш", Венгрия	блок № 4, турбины № 7, 8	1998	1998
		блок № 1, турбина № 2	1999	1999
		блок № 2, турбины № 3, 4	2000	2000
		блок № 3, турбины № 5, 6	2001	2001
		блок № 1, турбина № 1	2001	2003



ТУРБОАТОМ

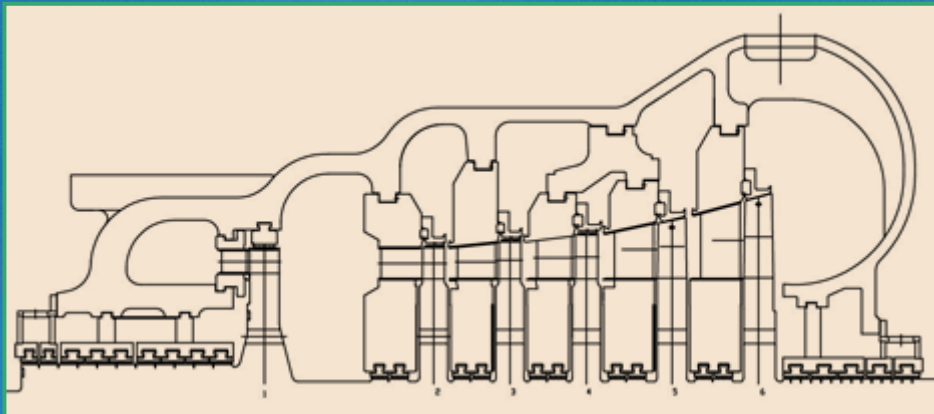
Опыт модернизации турбин К-220-44

№ п/п	АЭС	Блок/турбина	Год поставки	Год ввода в эксплуатацию
Модернизация проточной части ЦВД				
1.	Ровенская АЭС, Украина	блок № 1, турбины № 1, 2	1994	1994
2.	АЭС "Ловииса", Финляндия	блок № 1, турбины № 1, 2	1996	1996
		блок № 2, турбина № 3	1998	1998
3.	АЭС "Пакш", Венгрия	блок № 2, турбины № 3, 4	июль 2016	подписан контракт (в изготовлении)
		блок № 1, турбины № 1, 2	май 2017	
		блок № 3, турбины № 5, 6	март 2018	
		блок № 4, турбины № 7, 8	декабрь 2018	
Модернизация проточной части ЦНД				
1.	Нововоронежская АЭС, Россия	блок №4, турбина № 11	1994	1994
2.	Ровенская АЭС, Украина	блок № 1, турбина № 1	1996	1996
		блок № 1, турбина № 2	1997	1997
3	АЭС "Ловииса", Финляндия	блок № 1, турбина № 2	1999	1999
		блок № 1, турбина № 1	2000	2000
		блок № 2, турбина № 3	2002	2002

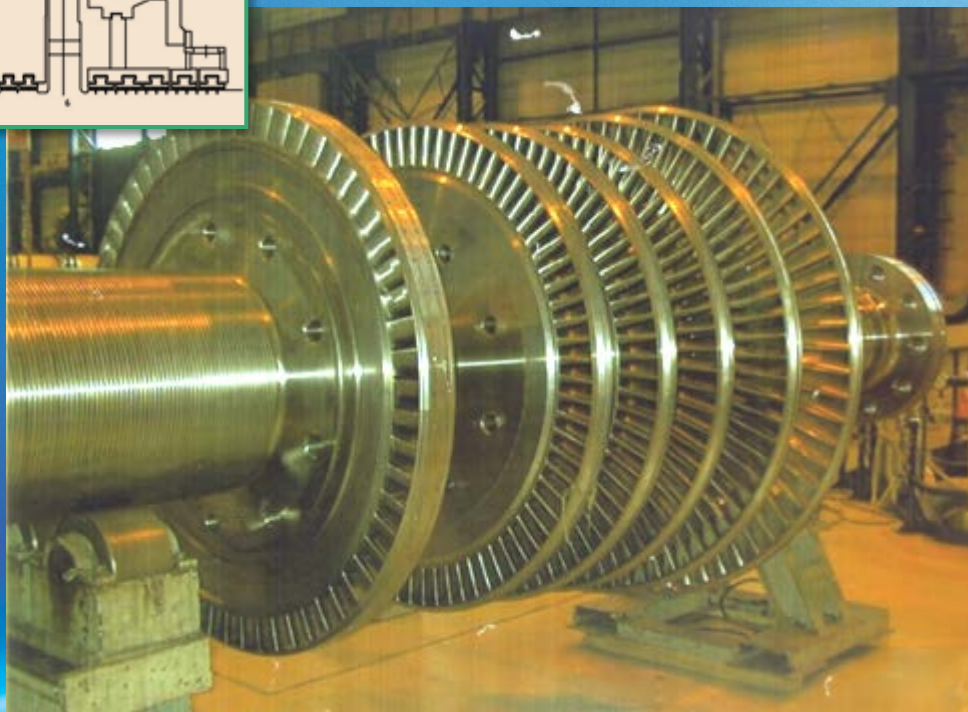
Модернизация ЦВД проводилась в два этапа:

- 1-й этап – замена рабочих лопаток и диафрагм с использованием существующего вала ротора.
- 2-й этап – замена 6-ти ступенчатой проточной части на 7-ми ступенчатую с заменой ротора и диафрагм. Замена корпуса ЦВД (по заявке Заказчика).

Модернизация ЦВД (I-й этап)

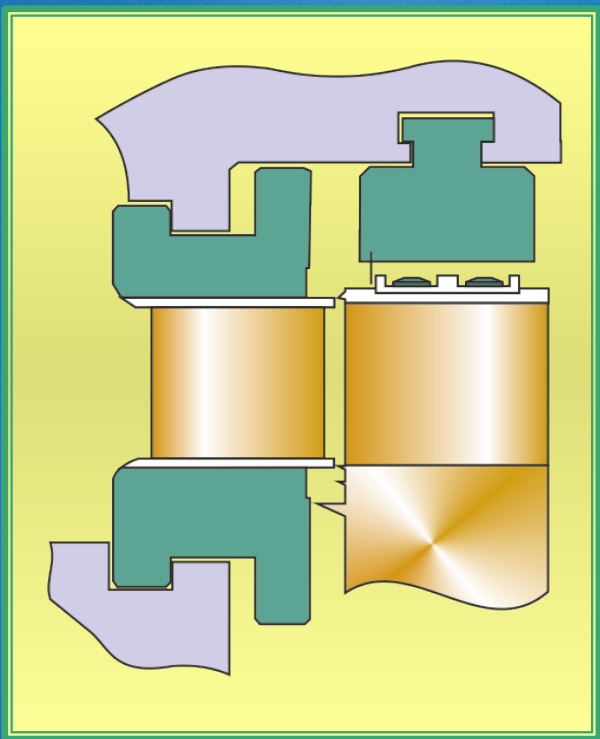


Проточная часть ЦВД до модернизации

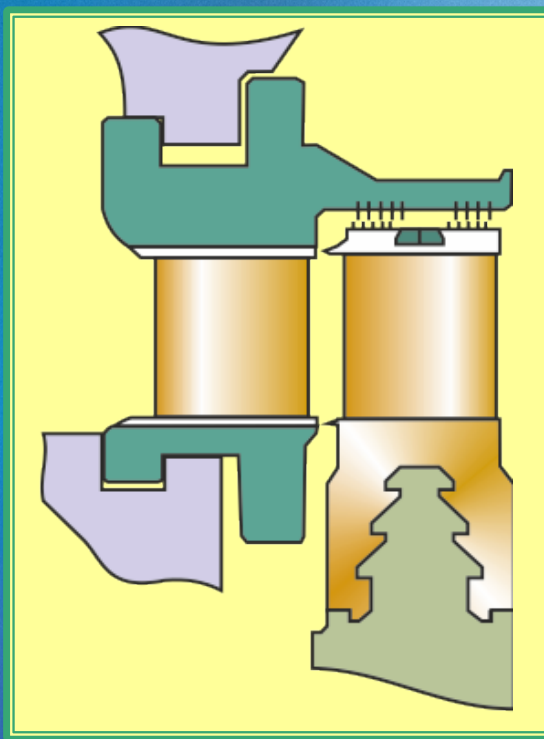


Модернизированный ротор ВД

До модернизации



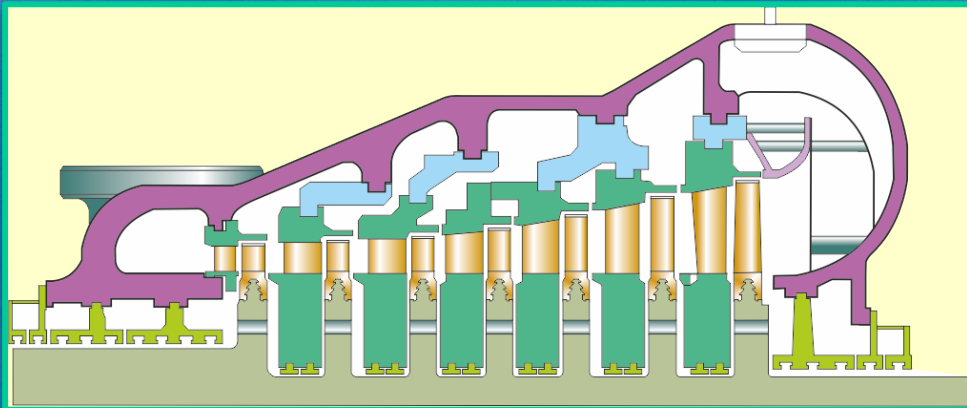
Модернизированная



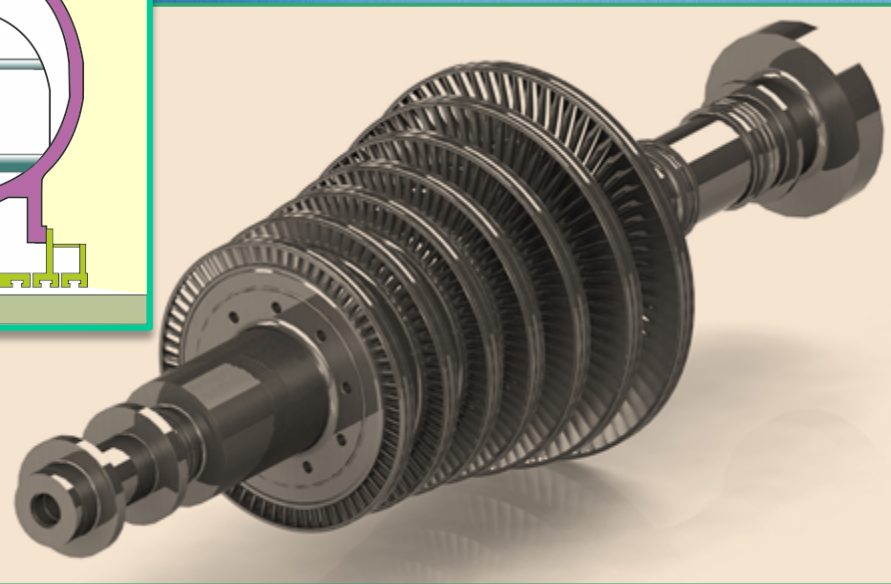
Рабочие лопатки с цельнофрезерованными полочными бандажами и кольцевой перевязкой лопаток вставками типа «ласточкин хвост».

Надбандажные уплотнения модернизированного ЦВД - многорядные осерадиальные с двумя осевыми усиками на полочном бандаже лопатки, обеспечивающими дополнительное завихрение потока и чередующимися усиками на бандажах рабочих лопаток и козырьках диафрагм, обеспечивающими переменный шаг дросселей и минимальный радиальный просвет.

Модернизация ЦВД (II-й этап)



Проточная часть ЦВД после модернизации



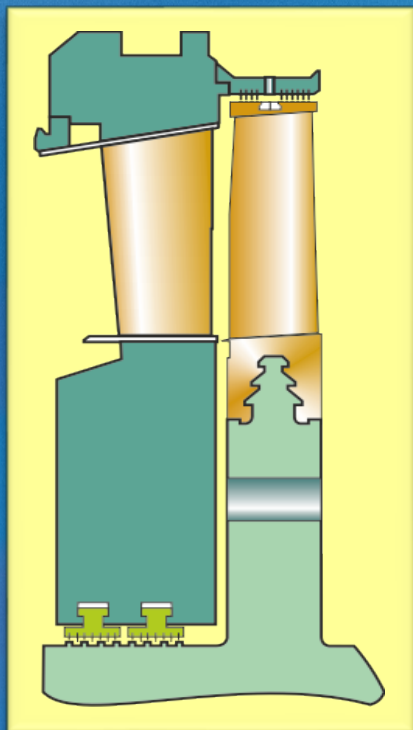
Модернизированный ротор ВД
(7-и ступенчатый)

Направляющие лопатки		Рабочие лопатки		Пароразгрузочные отверстия	
до модернизации	после модернизации	до модернизации	после модернизации	до модернизации	после модернизации
цилиндрические		постоянного сечения		9 отверстий Ø50 R6=370 мм	
1-5 ступени		1-3 ступени	1-2 ступени		
переменного сечения		переменного сечения			
6 ступень	6-7 ступени	4-6 ст.	3-7 ступени		



ТУРБОАТОМ

Модернизация ЦВД (II-й этап)



2...7 ступени ЦВД

Рабочие лопатки с цельнофрезерованными полочными бандажами и кольцевой перевязкой лопаток вставками типа «ласточкин хвост».

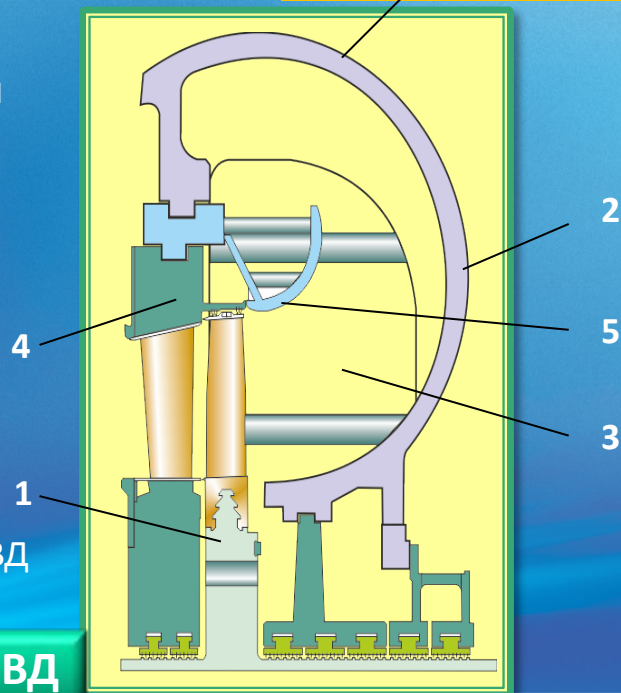
Многорядные осерадиальные надбандажные уплотнения.

Ступенчатые диафрагменные уплотнения вместо прямоточных на гладком валу.

Лопатки всех ступеней ЦВД выполнены с трехпорными грибовидными хвостами.

- 1 – последняя ступень ЦВД
- 2 – патрубок выходной
- 3 – осерадиальный диффузор
- 4 – диафрагма последней ступени ЦВД
- 5 – обечайка диффузора

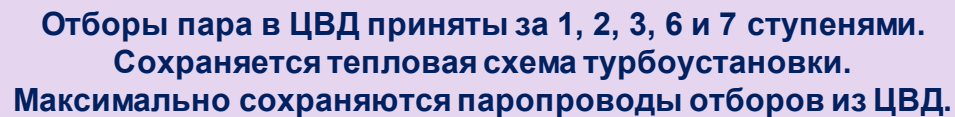
Плоскость разъема



Модернизированный выходной отсек ЦВД



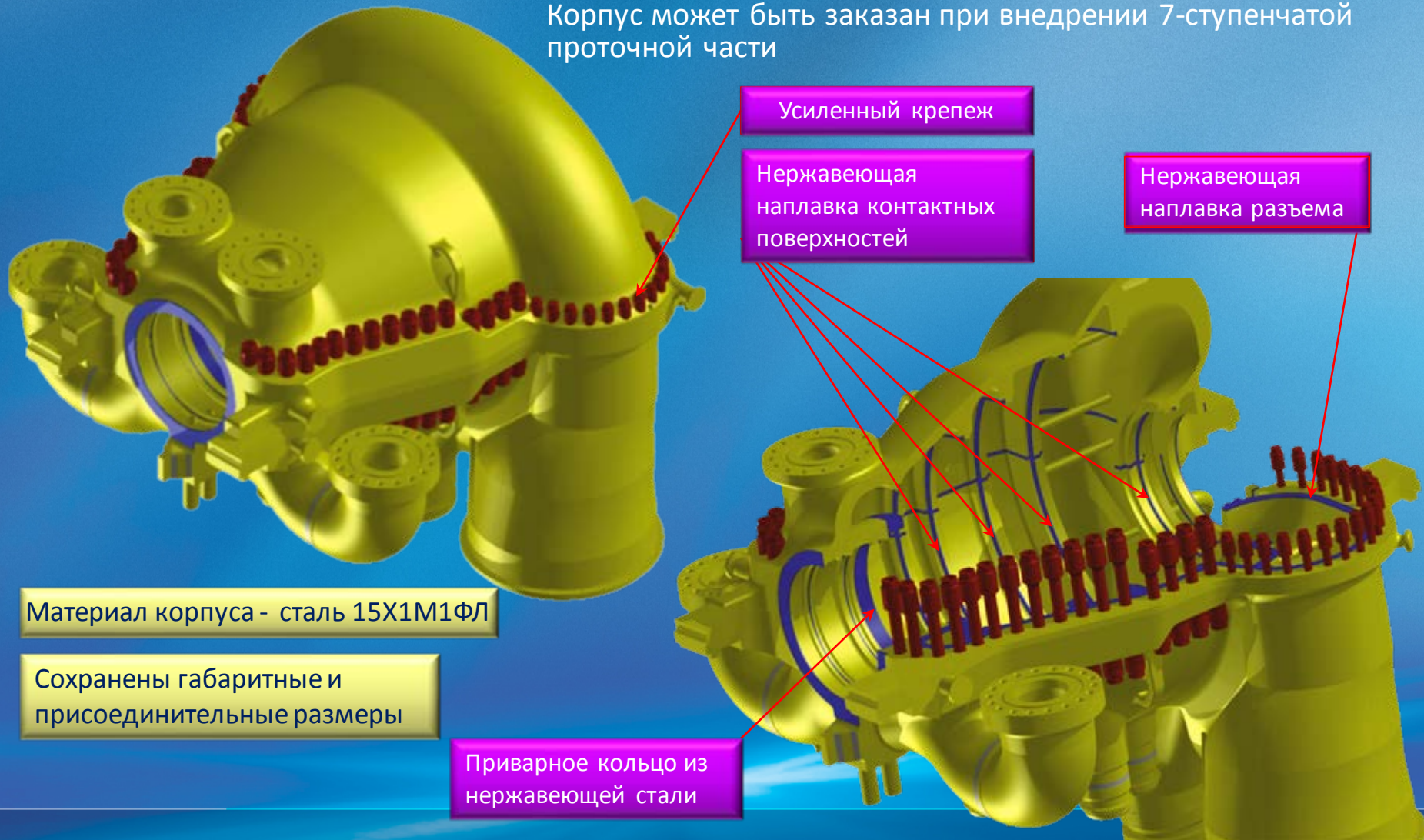
Принципиальная тепловая схема турбоустановки К-220-44-1 с модернизированным ЦВД (7 ступеней)



Модернизация ЦВД (2-й этап)

Корпус модернизированного ЦВД турбины К-220-44

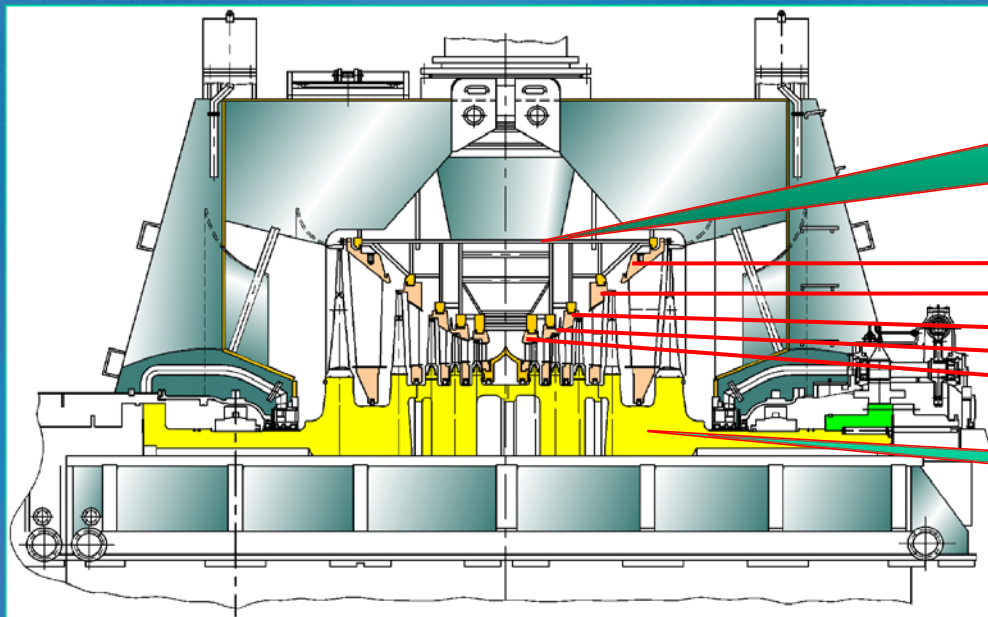
Корпус может быть заказан при внедрении 7-ступенчатой проточной части



Эффективность выполнения модернизации ЦВД

Модернизация проточной части, корпуса, уплотнений	Модернизация выходного отсека ЦВД	Суммарно
8,692 МВт	0,27 МВт	8,962 МВт

Модернизация включает:



Замену
внутреннего
корпуса
(обоймы) ЦНД

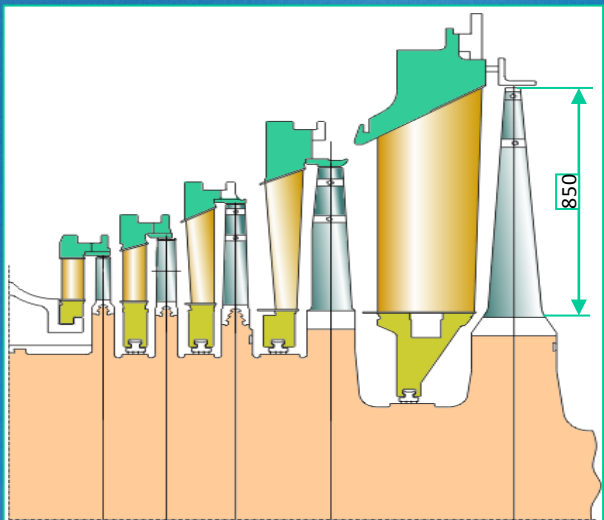
Замену
диафрагм
ЦНД

Замену
ротора НД

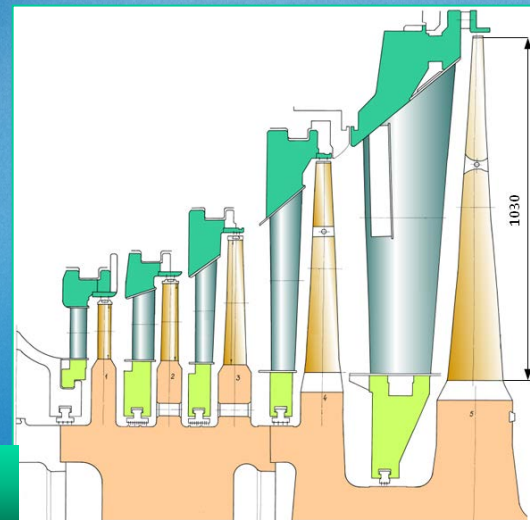
Мероприятия по модернизации ЦНД

1. Модернизация проточной части 1-5 ступеней, диафрагменных и концевых уплотнений ЦНД.
2. Модернизация выхлопного отсека ЦНД с установкой профилированного надбандажного кольца последней ступени.

Характеристики проточной части ЦНД



исходный вариант



после модернизации

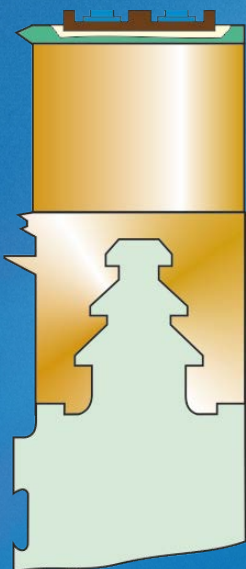
Характеристика	Номер ступени									
	1		2		3		4		5	
	ИСХ	НОВЫЙ	ИСХ	НОВЫЙ	ИСХ	НОВЫЙ	ИСХ	НОВЫЙ	ИСХ	НОВЫЙ
Длина рабочей лопатки, мм	154	154	226	226	372	372	530	628	850	1030
Число рабочих лопаток, шт	197	197	146	146	112	112	76	90	104	104
Длина сопловой лопатки, мм	150	150	209	209	350	310	516	544	830	936
Число сопловых лопаток, шт	110	110	76	76	68	90	62	62	68	68



ТУРБОАТОМ

Модернизация проточной части ЦНД

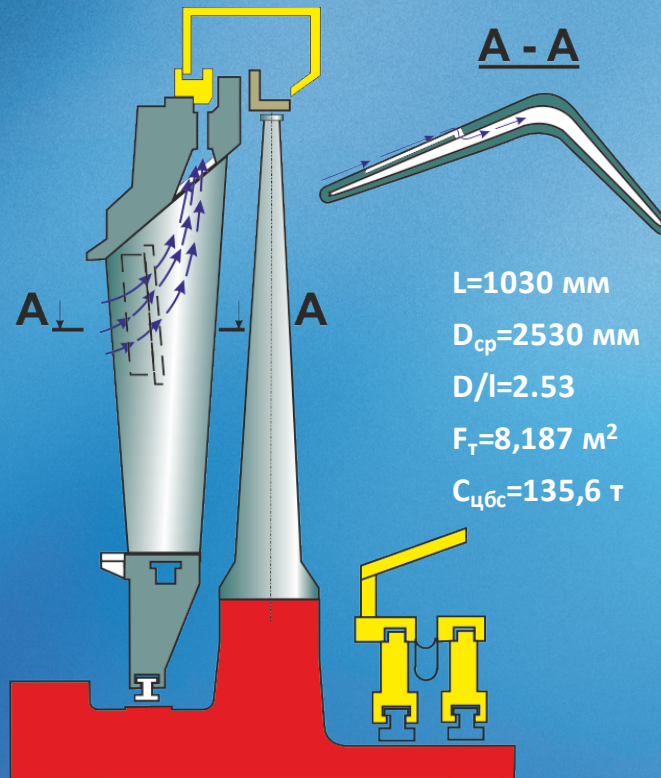
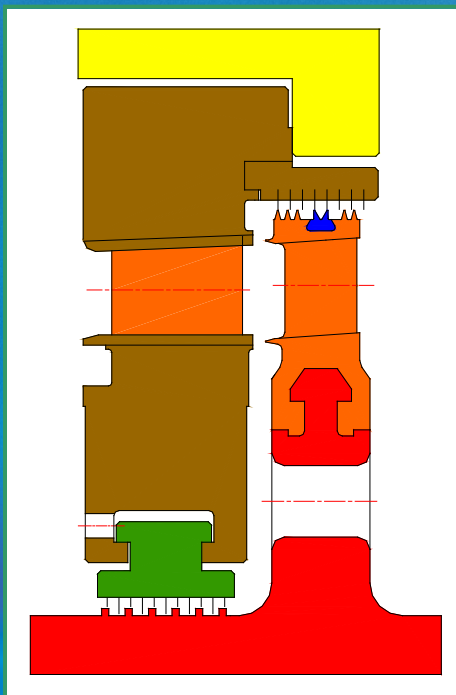
1-2 ступени низкого давления



Конструкция рабочих лопаток с покрывными накладными бандажами

Конструкция нового исполнения рабочих лопаток с многорядными осерадиальными надбандажными уплотнениями

3 ступень низкого давления

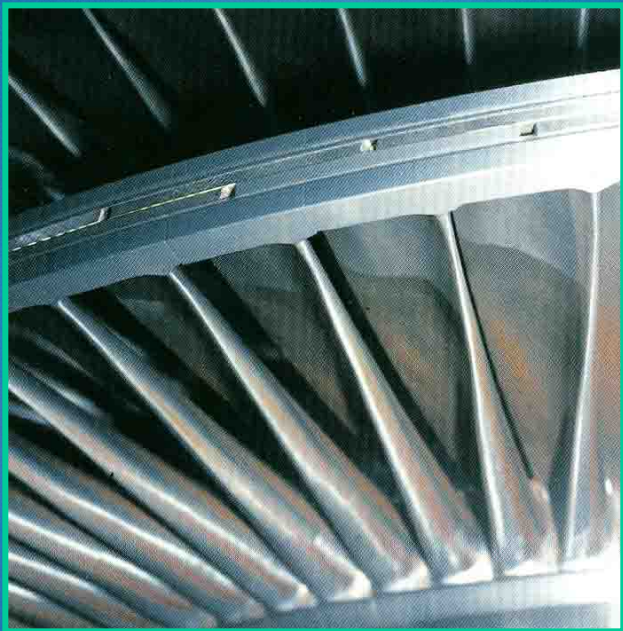


Для обеспечения эрозионной стойкости повышен теплоперепад на ступени, выполнено упрочнение входных кромок, предусмотрено внутриканальное и периферийное влагоудаление.

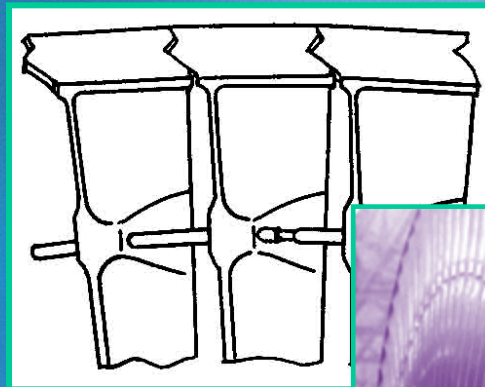
Торцевая площадь выхлопа последней ступени с рабочей лопаткой длиной 1030 мм равна 8,19 м².

Модернизация проточной части ЦНД

Бандажи рабочих лопаток 3 ступеней НД

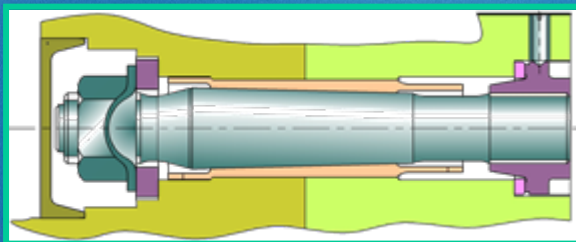


Бандажи рабочих лопаток 4 и 5 ступеней НД

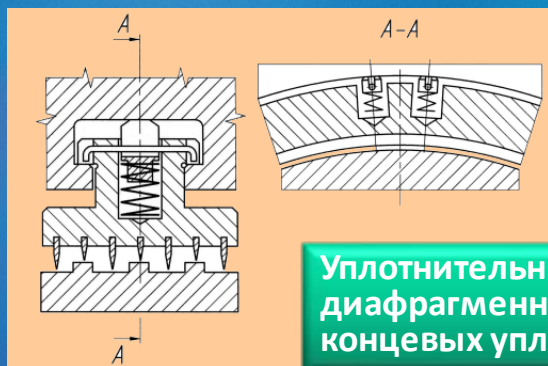


Рабочие лопатки 4 и 5 ступеней НД имеют цельнофрезерованные бандажи фигурной конструкции, благодаря которой при вращении ротора и развороте периферийной части лопаток под действием центробежных сил происходит взаимное защемление бандажей, что обеспечивает необходимую пакетную жесткость рабочих лопаток.





Беззазорные соединительные болты с коническими втулками

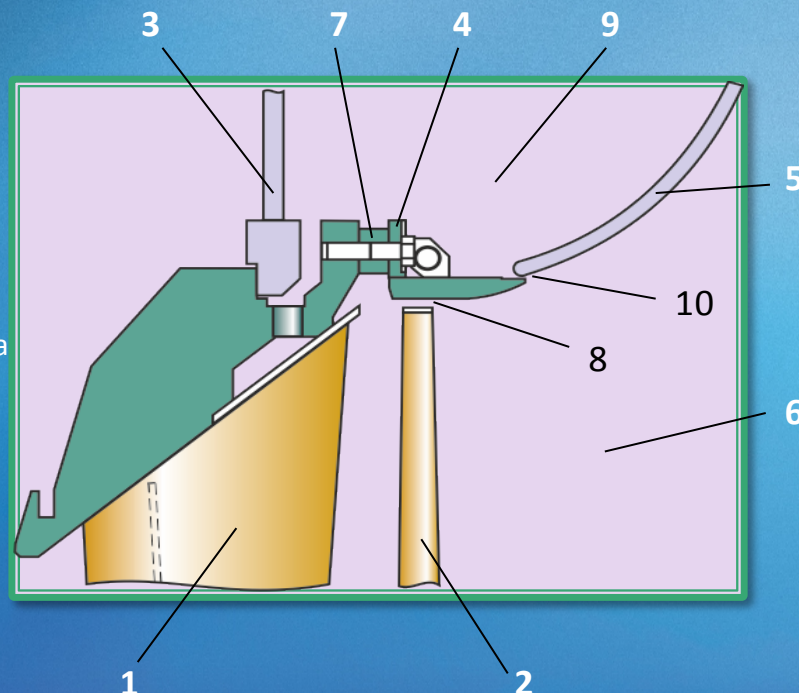


Уплотнительные кольца диафрагменных и концевых уплотнений

Применение ступенчатых концевых и диафрагменных уплотнений (вместо проточных на гладком валу) существенно уменьшает протечки пара.

Применены витые цилиндрические пружины, расположенных радиально, изготовленные из стали 12X18H10T, имеющих меньший уровень напряжений.

Модернизация выхлопного отсека ЦНД



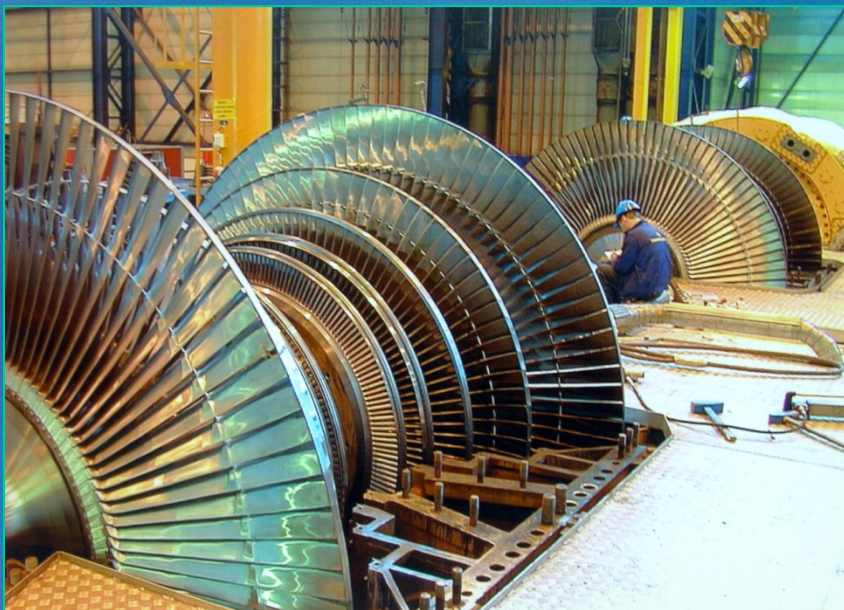
- 1 – диафрагма;
- 2 – рабочее колесо;
- 3 – корпус выхлопного патрубка;
- 4 – козырек;
- 5 – обечайка диффузора;
- 6 – канал диффузора;
- 7 – дистанционная втулка;
- 8 – радиальный зазор;
- 9 – пространство вокруг ступени;
- 10 – кольцевая щель

Организация более совершенного диффузора исключает отрицательный эффект, вызванный сверхзвуковой струей пара, протекающей через радиальный зазор 8 и подсоса через кольцевую щель 10



ТУРБОАТОМ

Модернизация ЦНД



Монтаж модернизированного ротора низкого давления турбины К-220-44-2 на АЭС Ловииса, Финляндия

Для сварки роторов были созданы уникальные агрегаты, позволяющие сваривать роторы длиной 12,5 метров, диаметром до 3 метров и весом 200 тонн.



Эффект от модернизации ЦНД

$Q_R=1375/2=687.5$ МВт, $P_0=44$ кгс/см² абс., $X_0=0.995$, $t_{o.v.}=22^{\circ}\text{C}$, $W_{o.v.}=55480$ т/ч

№ п/п	Наименование мероприятий	Повышение мощности турбины, $\Delta N_{э}$, кВт
1.	Модернизация проточной части 1-5 ступеней, диафрагменных и концевых уплотнений ЦНД	8037
2.	Модернизация выхлопного отсека ЦНД с установкой профилированного надбандажного кольца последней ступени	300
Суммарное повышение мощности при модернизации ЦНД		8337