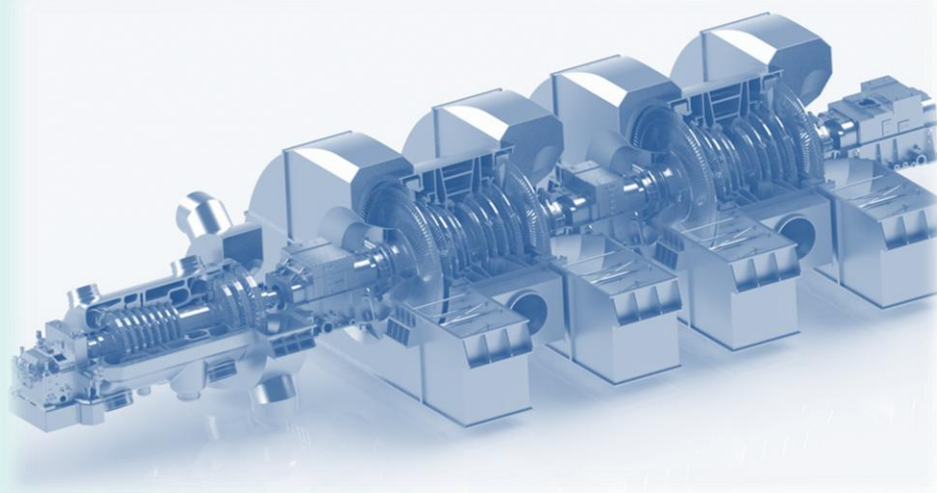




ОАО «ТУРБОАТОМ»



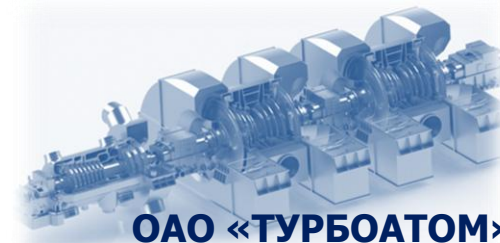
**ТУРБИНА ПАРОВАЯ
К-1250-6.9/25
для АЭС с ВВЭР-ТОИ**



Опыт создания турбин большой мощности

Поставка турбин для энергоблоков с реакторами ВВЭР мощностью 1млн. кВт

АЭС	Станцион. №	Дата сдачи в эксплуатацию
К-500-60/1500		
Ново-воронежская, Россия	13	XII-80
	14	VI-80
К-1000-60/1500-1(2) К-1100-60/1500-2М		
Южно-Украинская, Украина	1	XII-82
	2	I-85
Калининская, Россия	1	VII-84
	2	XII-86
Запорожская, Украина	1	XII-84
	2	X-85
	3	XII-86
	4	XII-87
	5	VI-89
	6	93
Балаковская, Россия	1	XII-85
	2	X-87
	3	XII-88
	4	93
Козлодуй, Болгария	9	XII-87
	10	XII-90
Ростовская, Россия	1	III-01
	2	2010
	3	2014 (план)
	4	2016 (план)

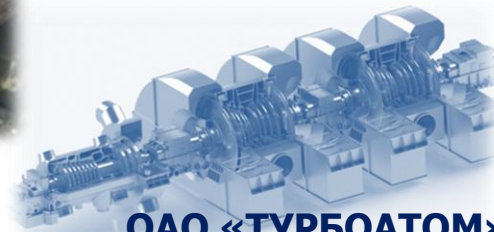
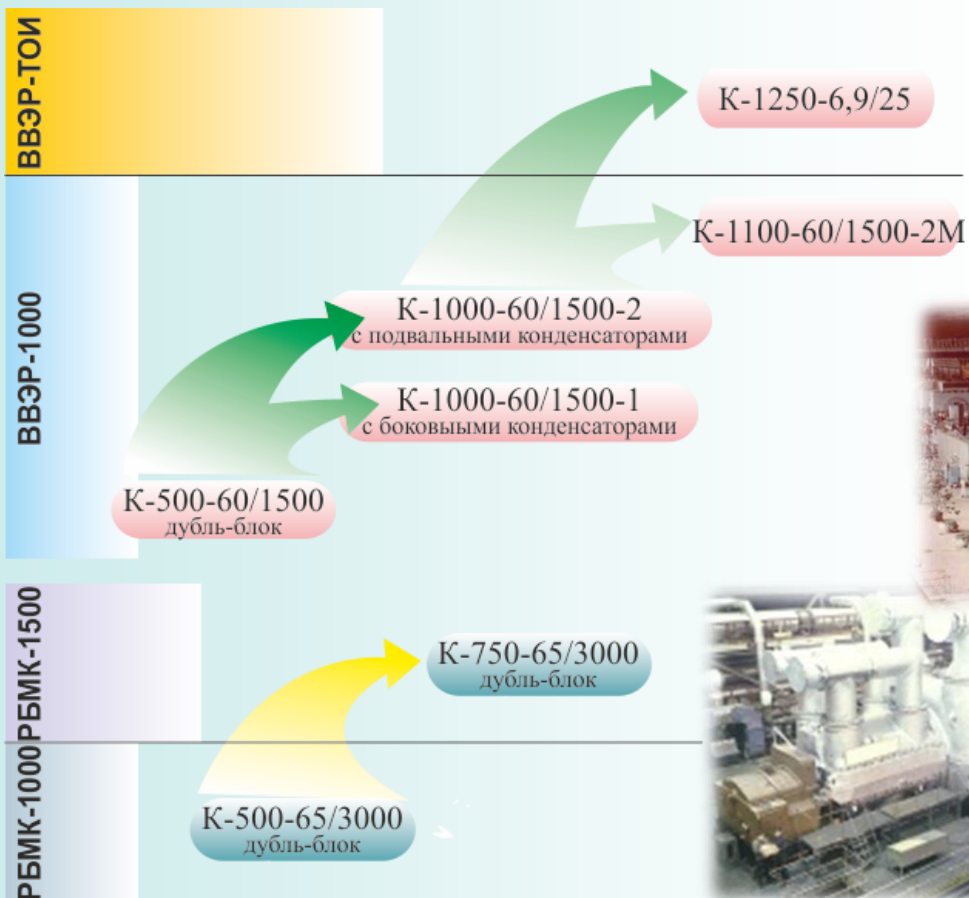


ОАО «ТУРБОАТОМ»



Опыт создания турбин большой мощности

Этапы создания паровых турбин для энергоблоков АЭС большой мощности

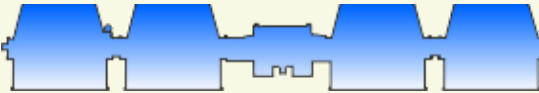


ОАО «ТУРБОАТОМ»



Опыт создания турбин большой мощности

Конструктивные схемы паровых турбин для энергоблоков АЭС большой мощности

Схема турбины	Турбина	Конструктивная схема	АЭС, страна
ЦВД+2ЦНД	К-220-44		АЭС Пакш, Венгрия; АЭС Ловииса, Финляндия; Нововоронежская АЭС, Кольская АЭС, Россия; Ровенская АЭС, Украина; АЭС Козлодуй, Болгария
ЦВД+ЦНД	К-240-4.0		АЭС Кайга, АЭС Раджастан, Индия
ЦВД+4ЦНД	К-500-65/3000		Курская АЭС, Смоленская АЭС, Ленинградская АЭС, Россия
ЦВСД+ЦНД	К-500-60/1500		Нововоронежская АЭС, Россия
ЦВД+4ЦНД	К-750-65/3000		Игналинская АЭС, Литва
ЦВД+ЦСД+3ЦНД	К-1000-60/1500-1		Южно-Украинская АЭС, Украина; Калининская АЭС, Россия
ЦВД+3ЦНД	К-1000-60/1500-2 К-1100-60/1500-2М		Запорожская АЭС, Украина; Ростовская АЭС, Балаковская АЭС, Россия; АЭС Козлодуй, Болгария



Турбина К-1250-6.9/25

Возможность
достижения большой
единичной мощности

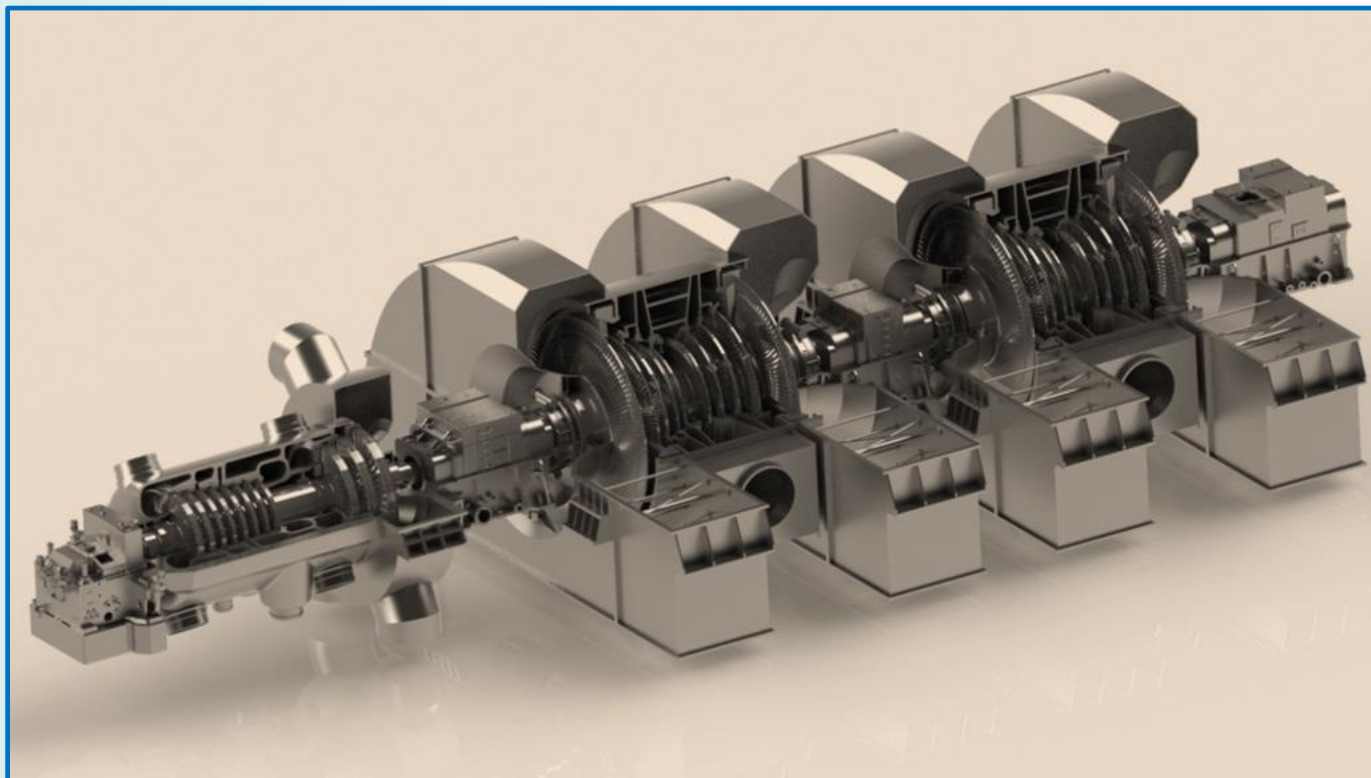
более 1250 МВт

Высокая
экономичность

КПД более 37,5
%

Лопатка последней
ступени длиной
1650 мм

Минимальное
количество ЦНД



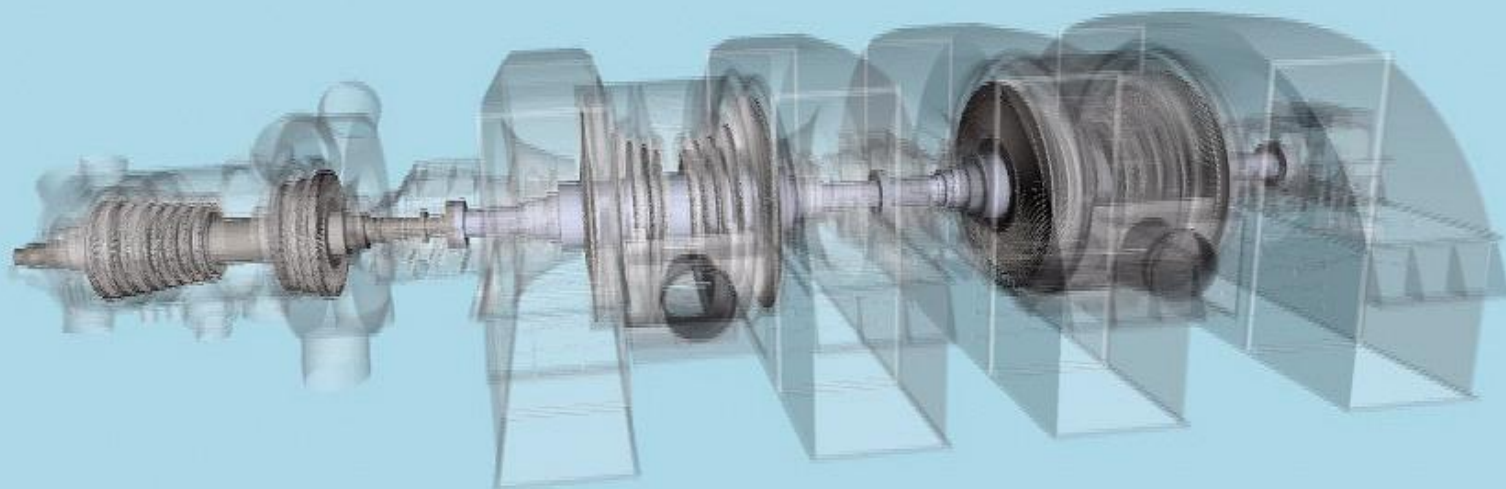
Низкие суммарные затраты на
эксплуатацию. Оптимальные
капитальные затраты в
зависимости от условий станции

Высокая надежность

Коэффициент готовности > 0,99



Турбина К-1250-6.9/25

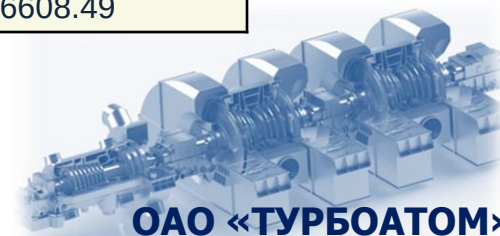




Основные характеристики турбоустановки К-1250-6.9/25

Расчетные характеристики

Наименование	Величина
Тепловая мощность ЯППУ, передаваемая к турбоустановке	3300
Номинальные параметры свежего пара перед клапанами ЧВД: - расход, т/ч - давление, МПа (кгс/см ² абс.) - температура, °C - степень сухости пара	6608.49 6.9 (70.4) 284.8 0.9965
Расчетная температура охлаждающей воды, °C	20.7
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	166000
Номинальное давление пара в конденсаторах, кПа (кгс/см ² абс)	5.25 (0.0518)
Номинальное давление пара в деаэраторе, кПа (кгс/см ² абс)	974.8 (10.0)
Конструктивная схема промперегрева	С+ПП1+ПП2
Параметры пара после сепаратора: -давление, МПа (кгс/см ² абс.) - степень сухости	1.056 (10.77) 0.995
Параметры пара после второго промперегрева: - давление, МПа (кгс/см ² абс.) - температура, °C	1.029 (10.49) 270.4
Температура питательной воды, °C	225.3
Номинальный массовый расход питательной воды, т/ч	6608.49



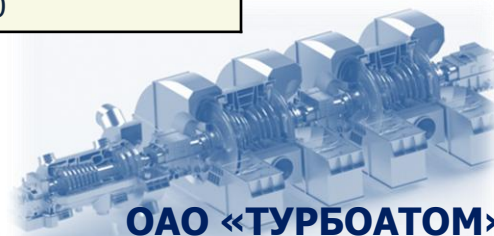
ОАО «ТУРБОАТОМ»



Основные характеристики турбоустановки К-1250-6.9/25

Конструктивные характеристики

Наименование	Величина
Частота вращения ротора, с^{-1} (об/мин)	25 (1500)
Частота вращения ротора турбины на валоповороте, с^{-1}	0.0024
Тип парораспределения	дроссельное
Конструктивная схема	ЦВСД+2ЦНД
Количество цилиндров	3
Количество ступеней: - ЧВД - ЧСД - ЦНД	8 3 2 x 2 x 5
Длина лопатки последней ступени, мм	1650
Средний диаметр последней ступени, мм	4550
Площадь выхлопа, м^2	23.6
Количество регенеративных отборов	7
Структурная формула системы регенерации	2ПВД+Д+4ПНД
Габариты турбины, м - длина - ширина (по балкону ЦНД) - высота (от оси турбины)	42.3 16.86 4.600
Общая масса турбины (без конденсаторов), т	2450

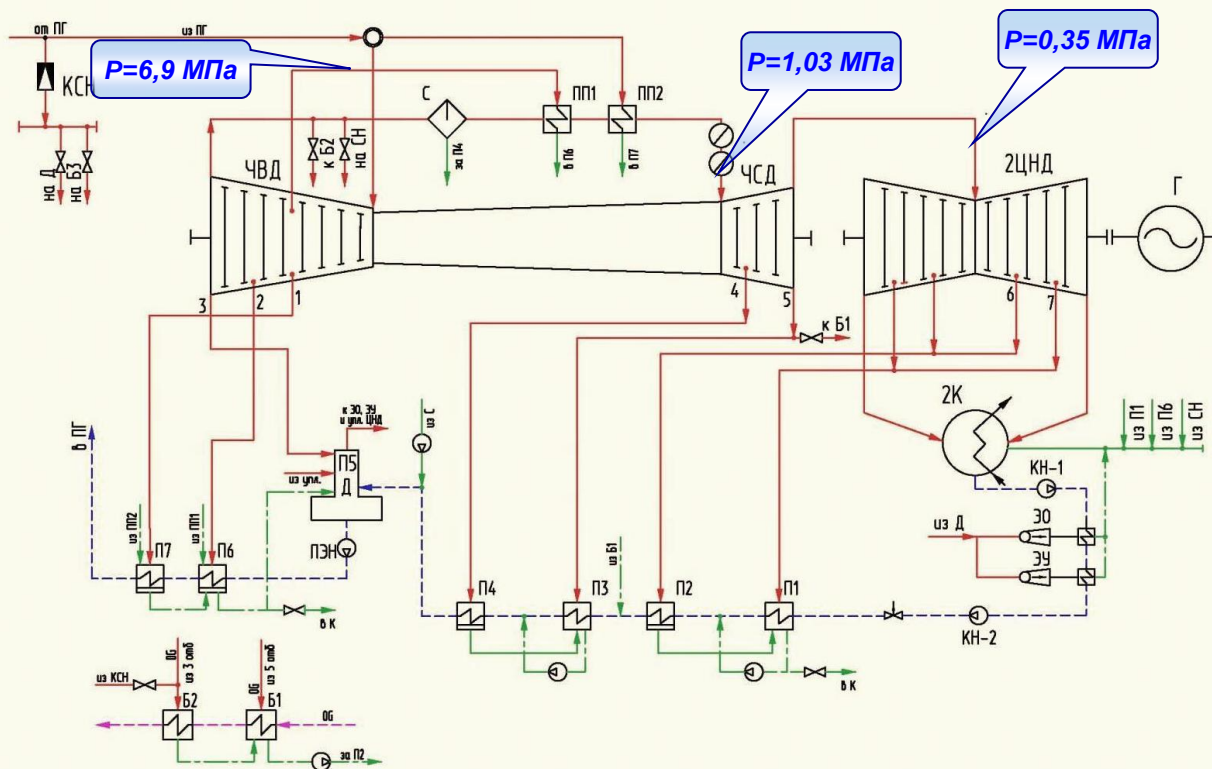


ОАО «ТУРБОАТОМ»



Принципиальная тепловая схема турбоустановки К-1250-6,9/25

Тепловая схема турбоустановки оптимизируется с учетом конкретных условий на АЭС.



Развитая тепловая схема и эффективное вспомогательное оборудование, имеющее положительную референцию.

Возможность организации дополнительных отборов пара на теплофикацию или другие нужды.

Применяются каскадные сливы.

Конденсат греющего пара СПП закачивается в ПВД-6 и ПВД-7.

- ❖ Конструктивная схема турбины – (ЧВД+ЧСД)+2ЦНД.
- ❖ Конструктивная схема промежуточного перегрева пара – С+ПП1+ПП2.
- ❖ Структурная схема системы регенерации – 4ПНД+Д+2ПВД.



ОАО «ТУРБОАТОМ»



ЦВСД турбины К-1250-6.9/25

❖ ЦВСД – комбинированный, состоит из части ВД и части СД.

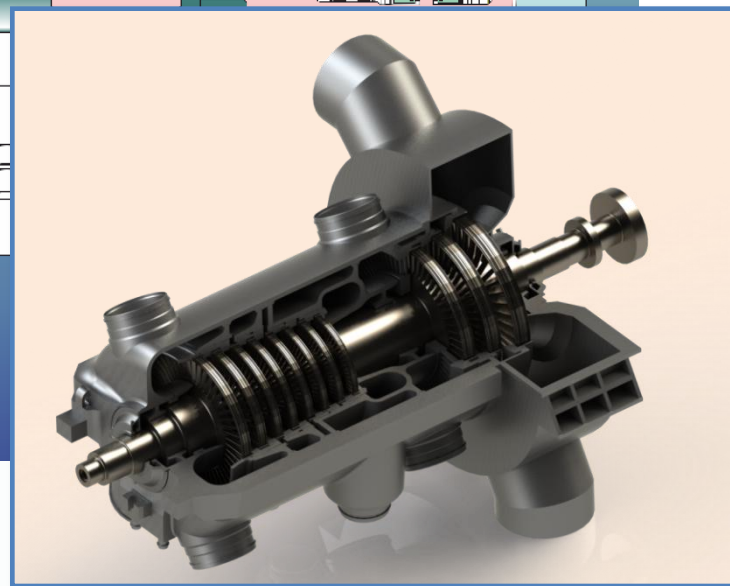
Наружный корпус

Часть
высокого давления

Часть
среднего давления

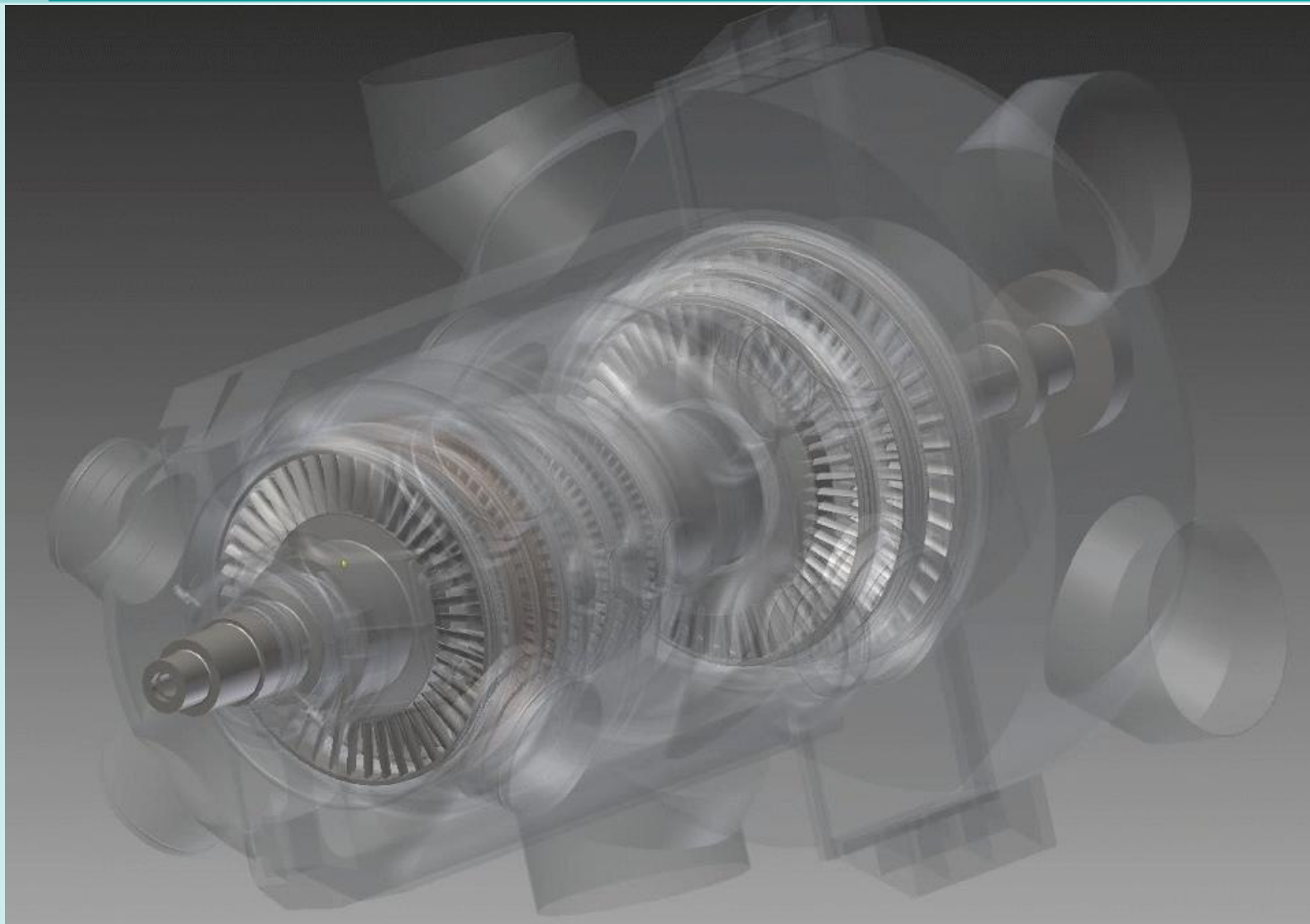
Ротор

Внутренний корпус





ЦВСД турбины К-1250-6.9/25





ЦНД турбины К-1250-6.9/25

❖ ЦНД- двухпоточный, в каждом потоке по 5-ступеней.

Последняя ступень ЦНД

❖ Длина рабочей лопатки последней ступени – 1650 мм.

❖ Площадь выхлопа – 23,6 м²

Наружный корпус

Ротор

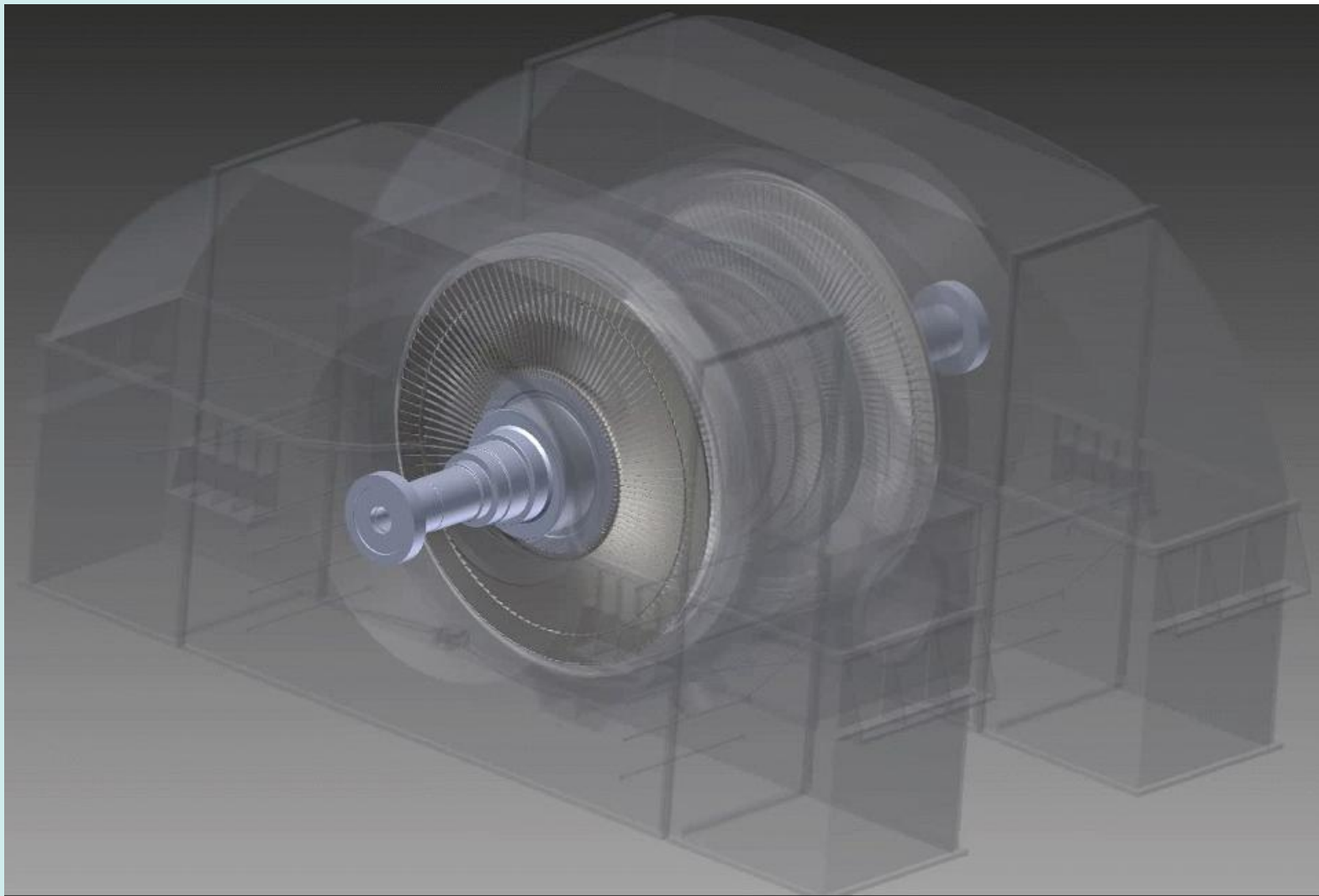
❖ Ротор ЦНД – сварнокованный из стали 25Х2НМФА.

❖ Эрозионно-коррозионная защита.

ПОДВОД ПАРА



ЦНД турбины К-1250-6.9/25

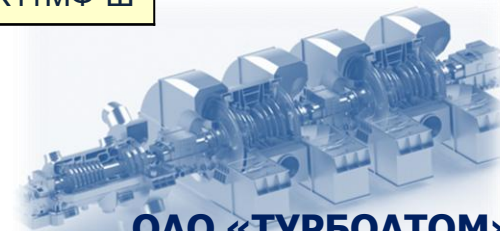




Рабочая лопатка последней ступени турбины К-1250-6.9/25



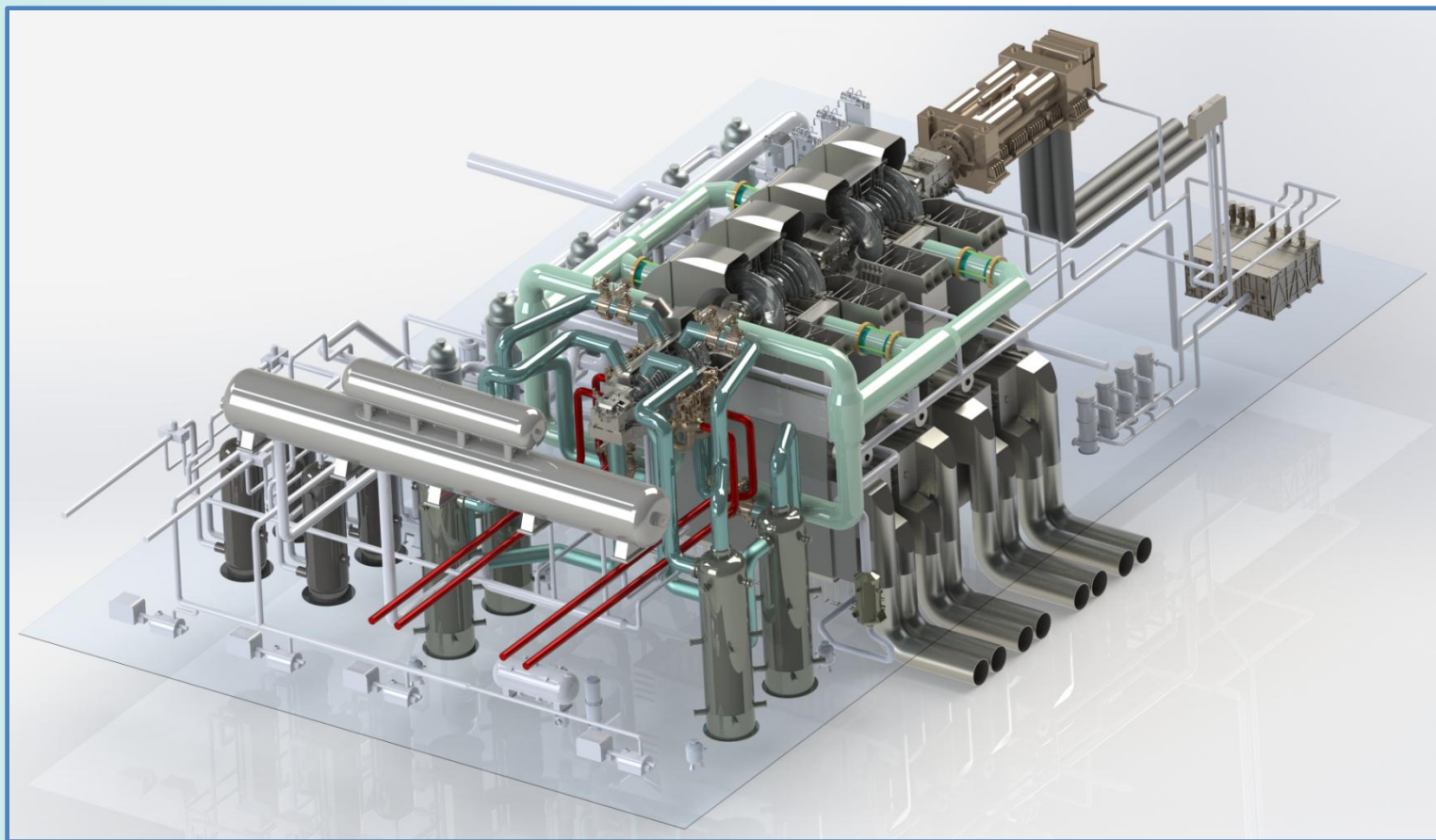
Длина рабочей части лопатки, мм	L	1650
Торцевая площадь выхлопа, м ²	Fm	23,6
Центробежная сила лопатки с хвостовиком, кГс	C	348000
Масса лопатки с хвостовиком, кг	m	71,9
Материал лопатки	сталь	15X11МФ-Ш



ОАО «ТУРБОАТОМ»



ВВЭР-ТОИ – проект машинного зала с турбоустановкой К-1250-6.9/25



**Типовой проект оптимизированного и информатизированного
энергоблока технологии ВВЭР**



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Компоновка турбоустановки К-1250-6.9/25 в машинном зале АЭС

Размеры машзала

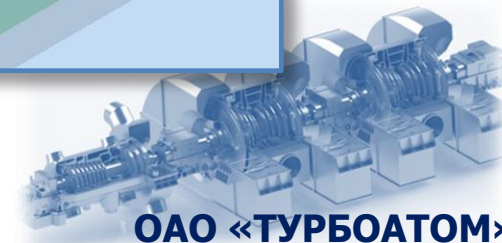
Габариты машзала	Величина, м
- длина	92.0 монтажный пролет
- пролет (ширина)	57.2

Основные отметки

Наименование	Отметка, м
Отметка оси разъема турбины	18.2
Основная отметка обслуживания	17.0
Отметка пола	0.00



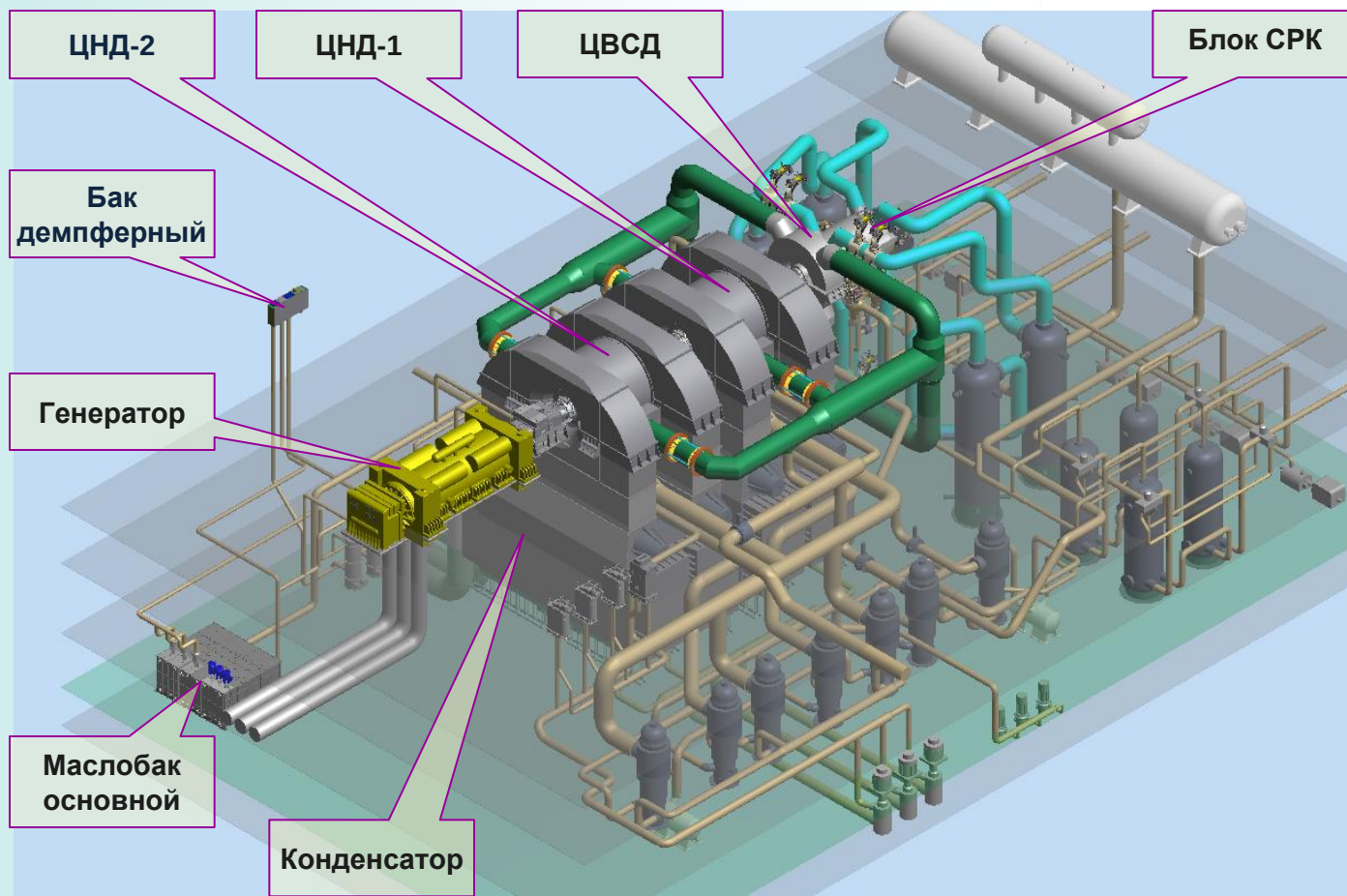
Компоновка тихоходной турбоустановки позволяет решить проблему раскладки узлов турбины и генератора в процессе ремонта за счет размещения вспомогательного оборудования и внутритурбинных трубопроводов под полом машзала.



ОАО «ТУРБОАТОМ»



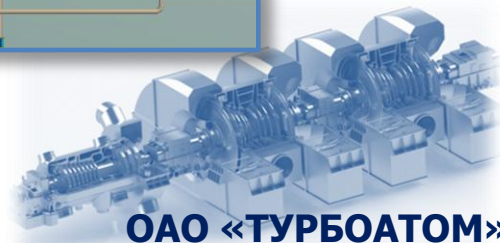
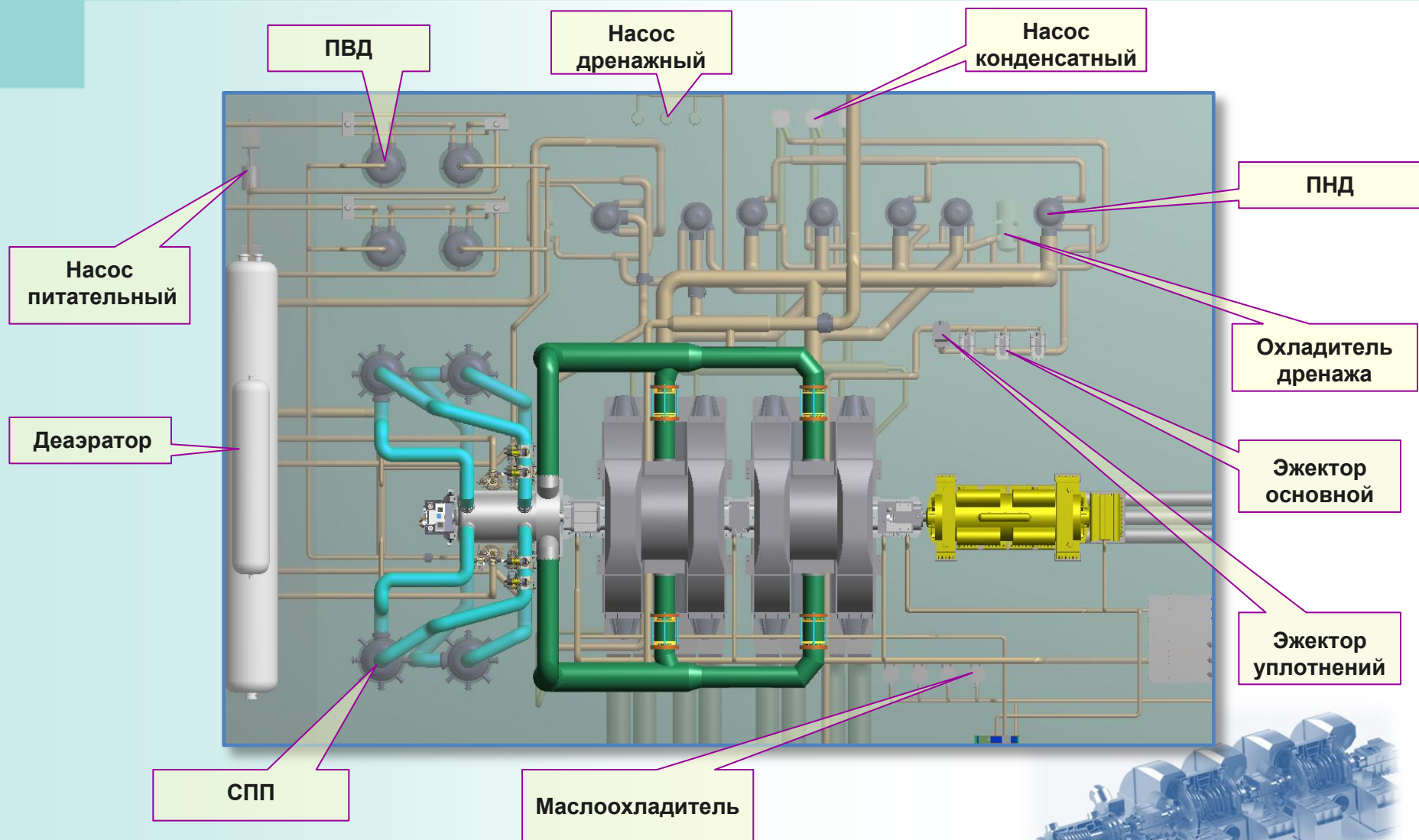
Компоновка турбоустановки К-1250-6.9/25 вид со стороны генератора



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Компоновка турбоустановки К-1250-6.9/25 план машзала

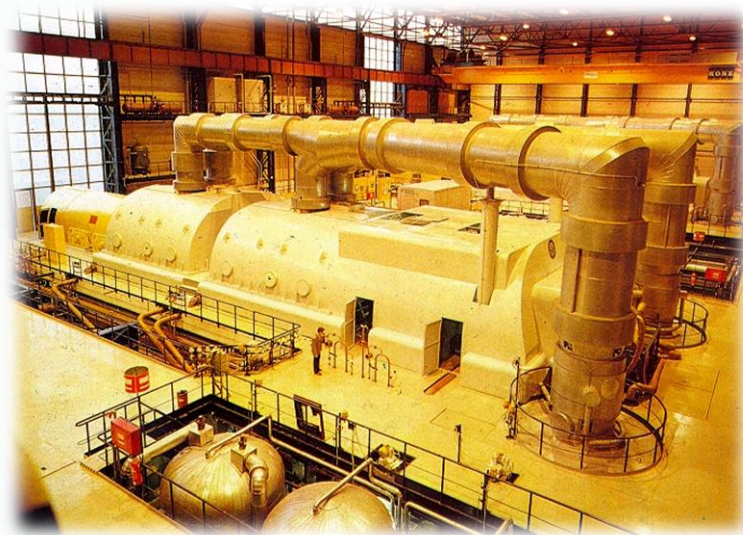




Турбоустановка К-1250-6.9/25 для проекта ВВЭР-ТОИ

Проект машинного зала ВВЭР-ТОИ:

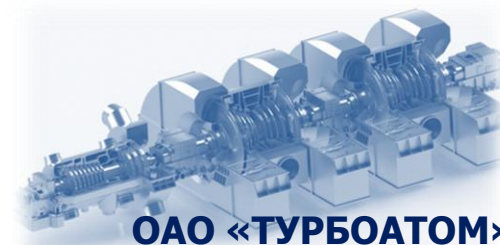
- ❖ высочайшая надежность;
- ❖ повышенная экономичность;
- ❖ рекордный референтный коэффициент ГОТОВНОСТИ.





ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ТУРБИН НА 1500 ОБ/МИН

- ❖ Экономичность тихоходной турбины (на 1500 об/мин), при равных условиях, выше экономичности быстроходной (на 3000 об/мин) ~ на 2%.
- ❖ Надежность тихоходных турбин выше быстроходных за счет более низких уровней напряжений в элементах турбины.
- ❖ Эрозионная стойкость рабочих лопаток тихоходных турбин выше, чем у быстроходных, за счет более низких скоростей на периферии лопаток.
- ❖ Более высокая вибрационная надежность валопровода турбины на 1500 об/мин за счет низкой чувствительности конструкции к небалансу.



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Конструктивные особенности турбин ОАО «Турбоатом» большой мощности

Подшипники и система маслоснабжения турбин

- ❖ Высокая надежность системы маслоснабжения в нормальных условиях и экстремальных режимах обеспечивается благодаря отсутствию автоматических регулирующих устройств за счет широкого использования элементов саморегулирования рабочих процессов.
- ❖ Высокая надежность и эффективность опорных и упорных подшипников обеспечивается, прежде всего, их повышенной несущей способностью в любых режимах эксплуатации, определяемой конструкцией охлаждения.
- ❖ Демпферный бак обеспечивает постоянное давление масла в системе во время нормальной эксплуатации, при переключениях насосов.
- ❖ При аварийном останове турбоагрегата с неработающими насосами аварийные бачки, расположенные над подшипниками, обеспечивают ограниченную смазку подшипников во время выбега со срывом вакуума без повреждения проточной части.



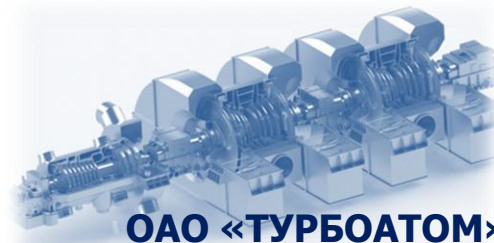
ОАО «ТУРБОАТОМ»



Конструктивные особенности турбин ОАО «Турбоатом» большой мощности



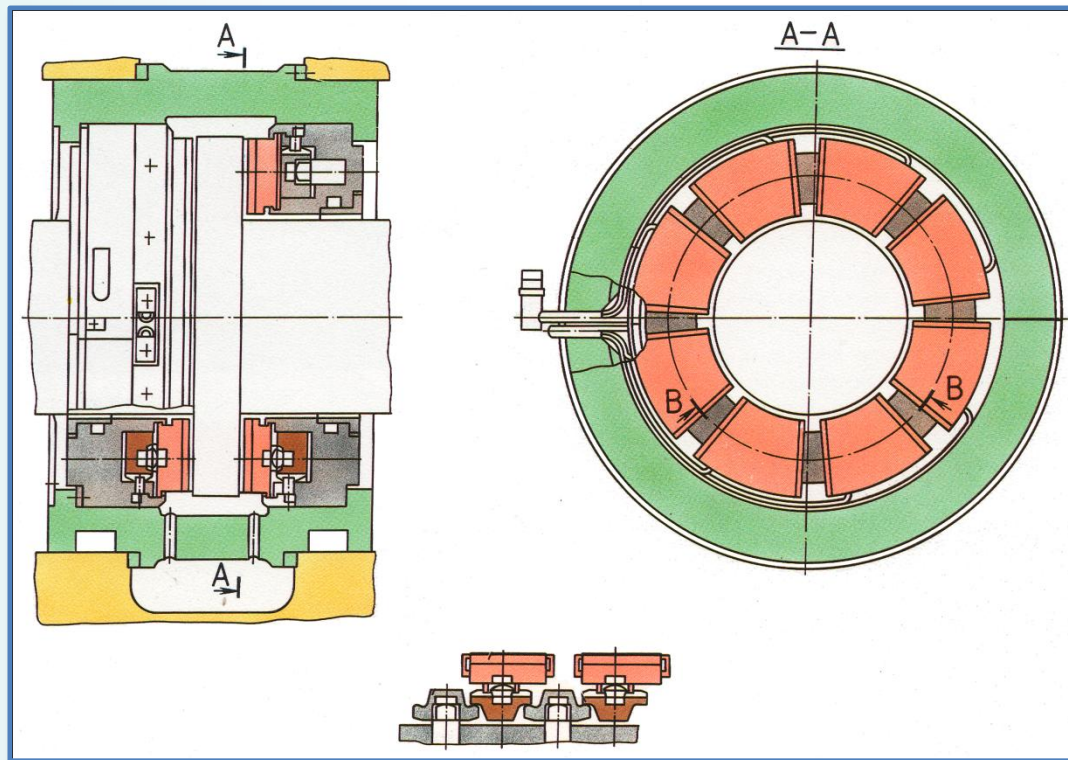
- ❖ Высокая надежность системы маслоснабжения в нормальных условиях и экстремальных режимах обеспечивается благодаря отсутствию автоматических регулирующих устройств за счет широкого использования элементов саморегулирования рабочих процессов.
- ❖ Все опорные подшипники турбины втулочные, с самоустанавливающимися сферическими вкладышами.
- ❖ В подшипниках предусмотрены специальные каналы для подвода масла высокого давления системы гидростатического подъема роторов.



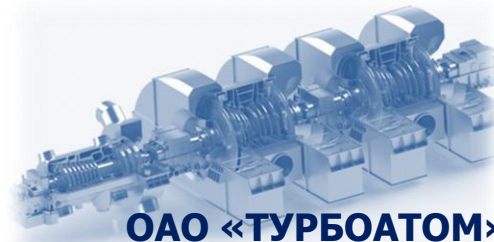
ОАО «ТУРБОАТОМ»



Конструктивные особенности турбин ОАО «Турбоатом» большой мощности



- ❖ Упорные подшипники – сегментного типа.
- ❖ Сегментные колодки подшипника установлены на рычажной уравнивательной системе, обеспечивающей равномерное распределение нагрузки.
- ❖ Для повышения несущей способности подшипника в накладках колодок выполнены каналы для прохода охлаждающего масла.

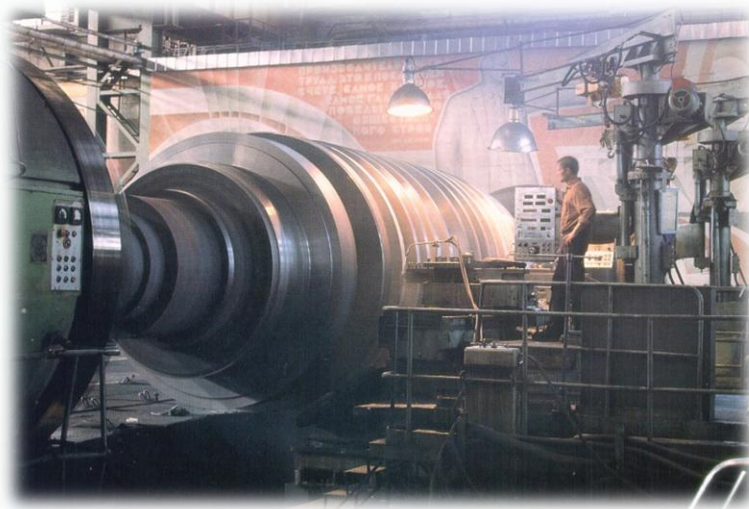
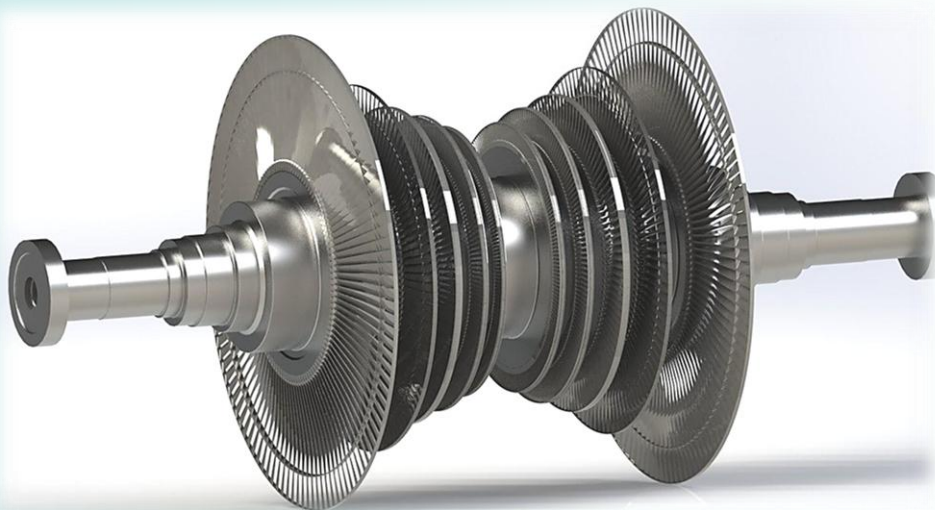


ОАО «ТУРБОАТОМ»



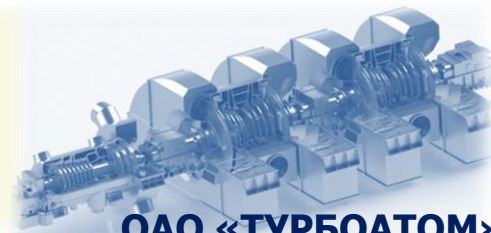
Конструктивные особенности турбин ОАО «Турбоатом» большой мощности

- ❖ Большая компактность и жесткость сварного ротора благоприятно сказывается на его эксплуатационной надежности.



- ❖ Малые габариты заготовок сварных роторов позволяют достичь высокой проковки дисков, исключить появление металлургических дефектов и провести более качественный контроль дисков до сварки.

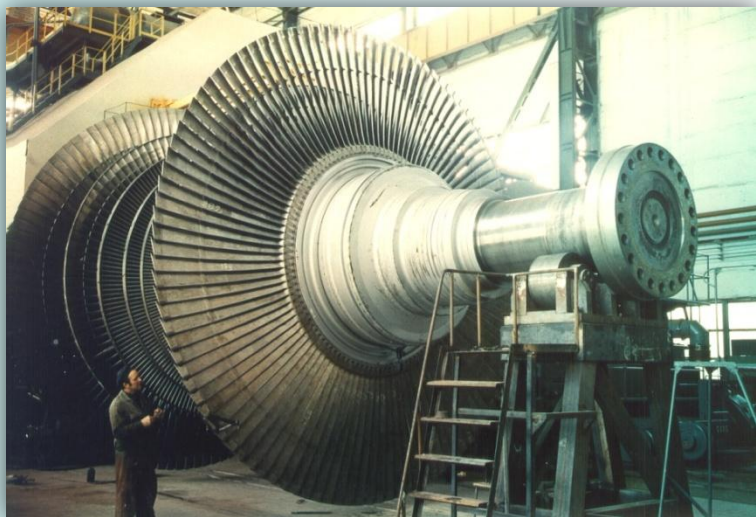
- ❖ Напряжения сварных роторов ~ в 2 раза меньше, чем в дисках насадных (диски сварных роторов не имеют центрального отверстия).



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Конструктивные особенности турбин ОАО «Турбоатом» большой мощности



Ротор низкого давления турбины К-1100-60/1500-2М

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

❖ Сварнокованная конструкция роторов, обладающая высокой прочностью и вибрационной стабильностью, даже при значительных, внезапно появляющихся дисбалансах, исключает эффект коррозии под напряжением.

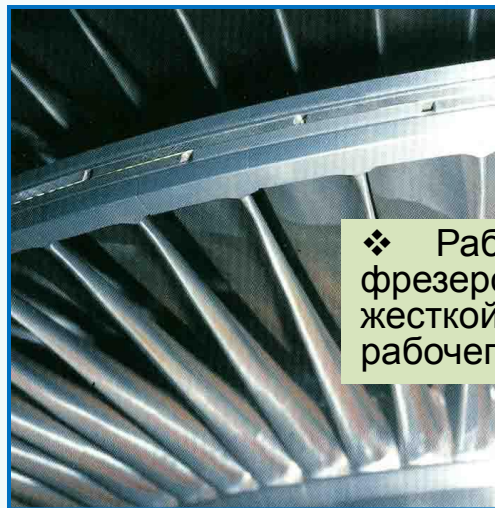
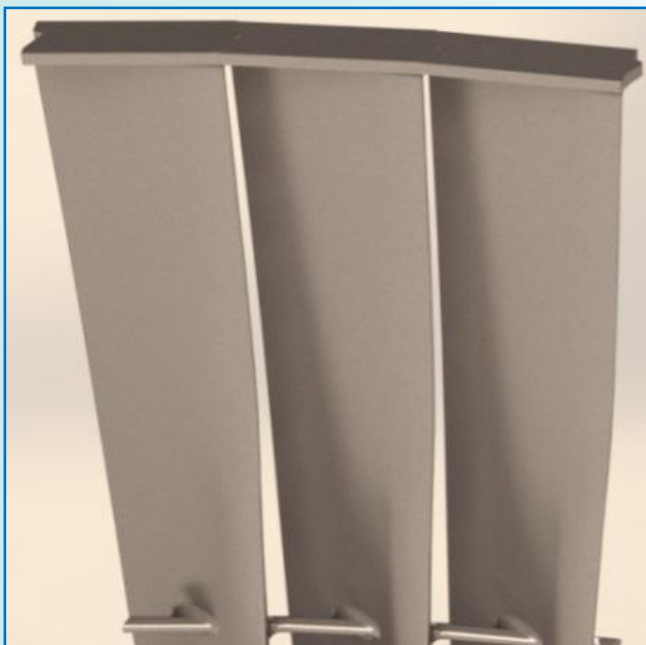
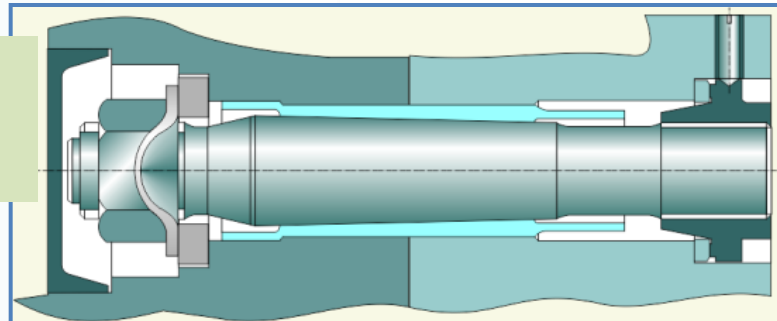


ОАО «ТУРБОАТОМ»



Конструктивные особенности турбин ОАО «Турбоатом» большой мощности

- ❖ Соосность полумуфт роторов турбины обеспечивается прижимным резьбовым соединением с цанговыми втулками.



- ❖ Рабочие лопатки с цельнофрезерованными бандажками с жесткой кольцевой перевязкой рабочего колеса по бандажкам.

- ❖ Замыкание на кольцо с помощью специальной конструкции рабочих лопаток 4-й и 5-й ступеней ЦНД с хвостами елочного типа, что значительно увеличивает жесткость облопачивания и вибрационную устойчивость и надежность рабочих лопаток.

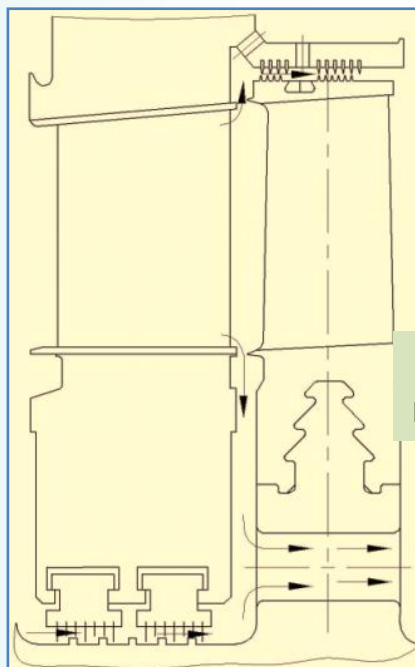
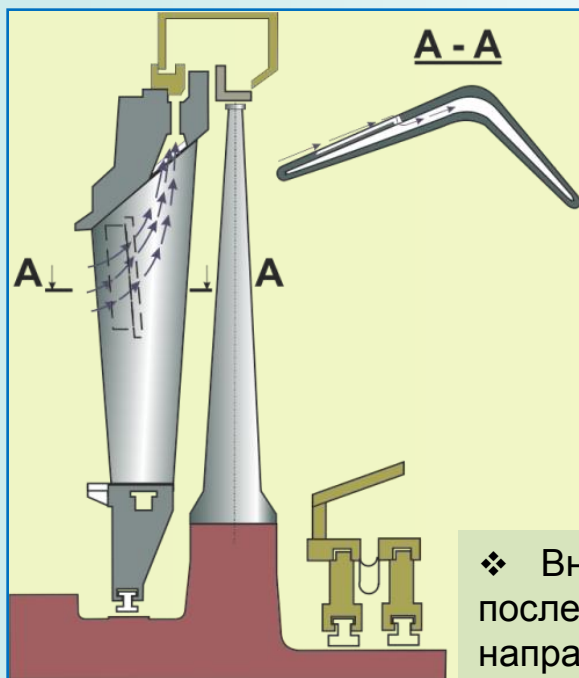
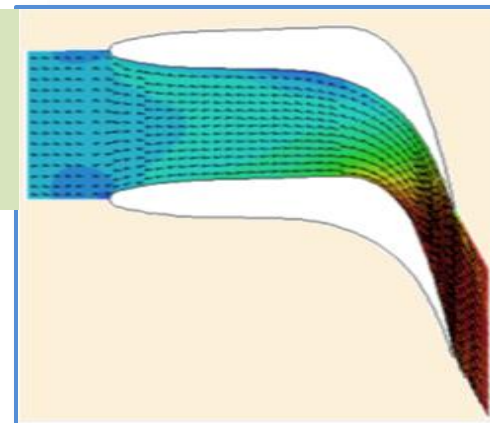


ОАО «ТУРБОАТОМ»



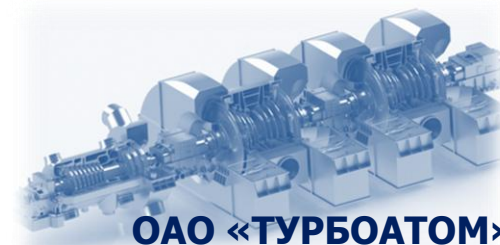
Конструктивные особенности турбин ОАО «Турбоатом» большой мощности

❖ Аэродинамически совершенные профили направляющих и рабочих лопаток, обеспечивающие стабильность КПД ступеней на переменных режимах и исключаящие нестационарность парового потока.



❖ Межвенцовый отвод влаги в проточной части.

❖ Внутриканальная сепарация на последних ступенях через полые направляющие лопатки.

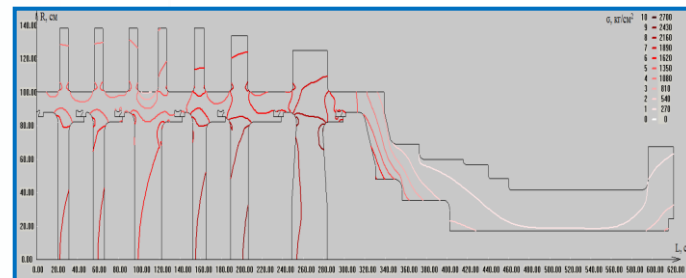
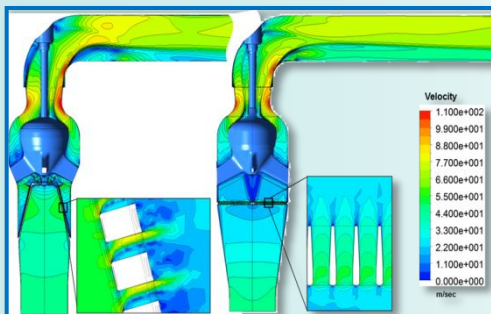
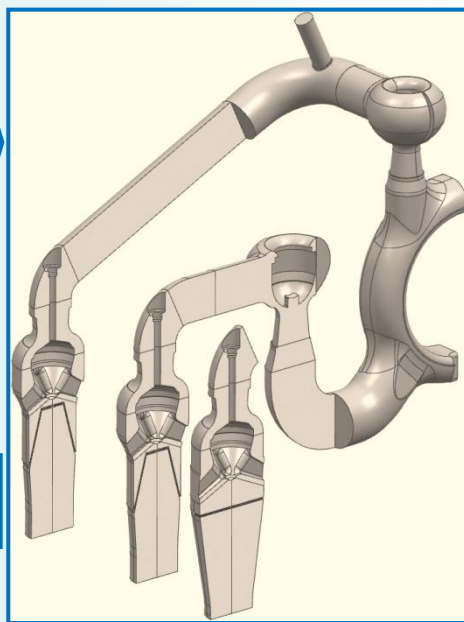
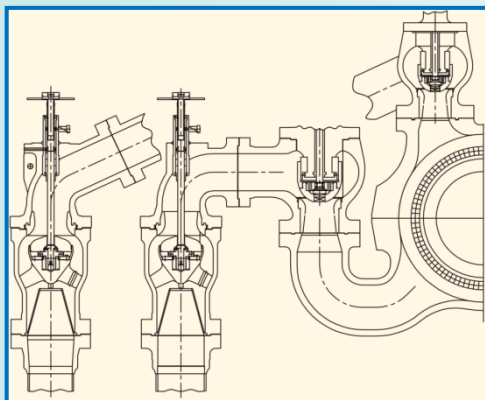


ОАО «ТУРБОАТОМ»

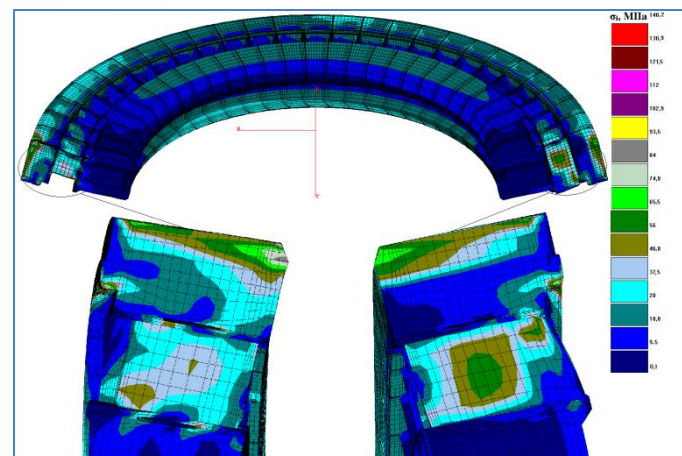


Особенности процессов проектирования

- ❖ Использование современных интегрированных инструментов проектирования и расчетов.



- ❖ Визуализация физических полей.



- ❖ Активное участие в научно-исследовательской деятельности совместно с ведущими институтами (ИПМАШ, ЦНИИТМАШ, ЦКТИ, НТУ ХПИ, МЭИ, ХНАДУ).



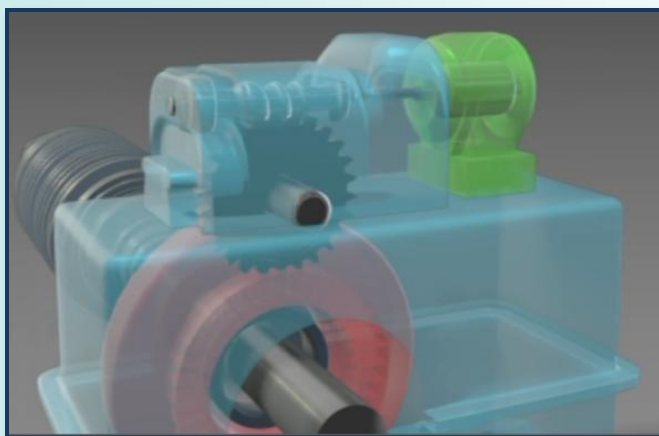
ОАО «ТУРБОАТОМ»



Конструктивные особенности турбин ОАО «Турбоатом» большой мощности

❖ Применение комбинированных стопорно-регулирующих клапанов, скомпонованных в одном корпусе, с целью снижения гидравлических потерь и оптимизации компоновки.

❖ Система аварийного маслоснабжения, исключающая выплавление подшипников при потере собственных нужд на блоке.



❖ Выносные опоры подшипников, позволяющие выполнять центровку роторов независимо от проточной части.

❖ Валоповоротное устройство с обгонной муфтой, обеспечивающее малую скорость вращения ротора при гидростатическом подъеме роторов.



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Контроль качества элементов турбин



Наряду с расчетами широко применяются экспериментальные методы исследования состояния элементов турбин.

Для определения напряжений в роторах используется метод фотоупругости. Модель ротора, изготовленная из оптически чувствительного материала, вращается на специальной установке при определенном температурном режиме.

Возникающие в поле центробежных сил напряжения фиксируются («замораживаются») и модель становится хранителем информации о напряженно-деформированном состоянии конструкции.

При рассмотрении осевого среза модели в поляризованном свете картина полученных изохром связывается с уровнем напряжений.

Исследования дополняют и уточняют результаты расчетов, особенно в области концентрации напряжений, и способствуют выбору оптимального варианта конструкции.

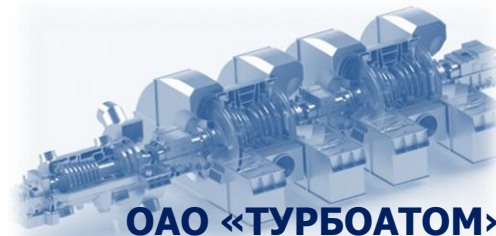




Система регулирования турбины К-1250-6.9/25

Принципиальные технические решения по системе регулирования

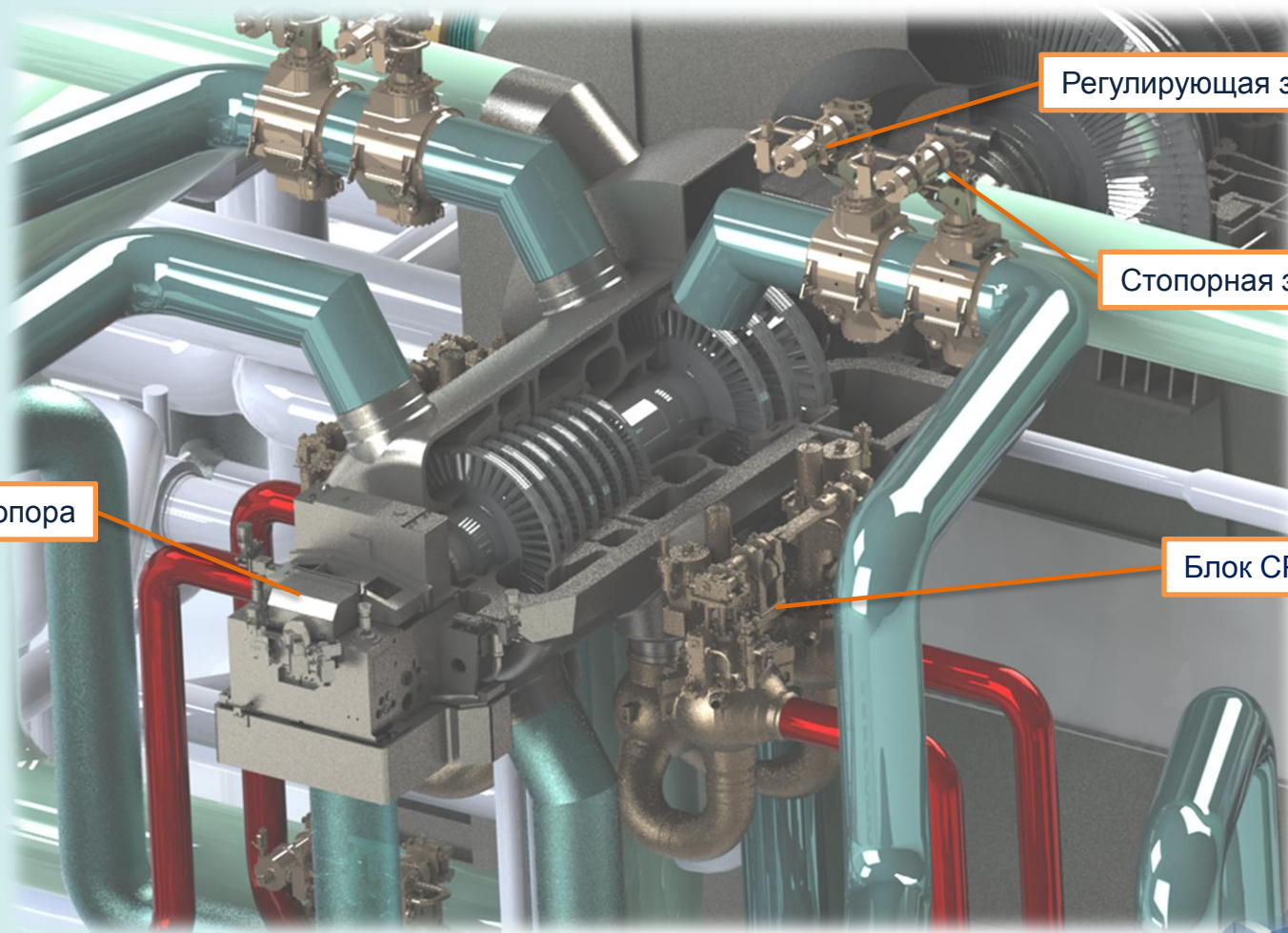
- ❖ Использование электрогидравлической системы регулирования в качестве основной системы.
- ❖ Использование электронного регулятора скорости в качестве резервной системы регулирования.
- ❖ Использование беззолотниковых выключателей для управления сервомоторами стопорных клапанов и заслонок.
- ❖ Троирирование основных элементов электрических систем включая электромагниты защиты.



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Система регулирования турбины К-1250-6.9/25

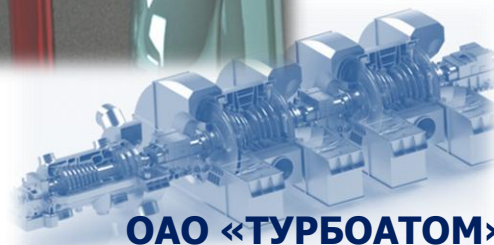


Регулирующая заслонка

Стопорная заслонка

Передняя опора

Блок СРК

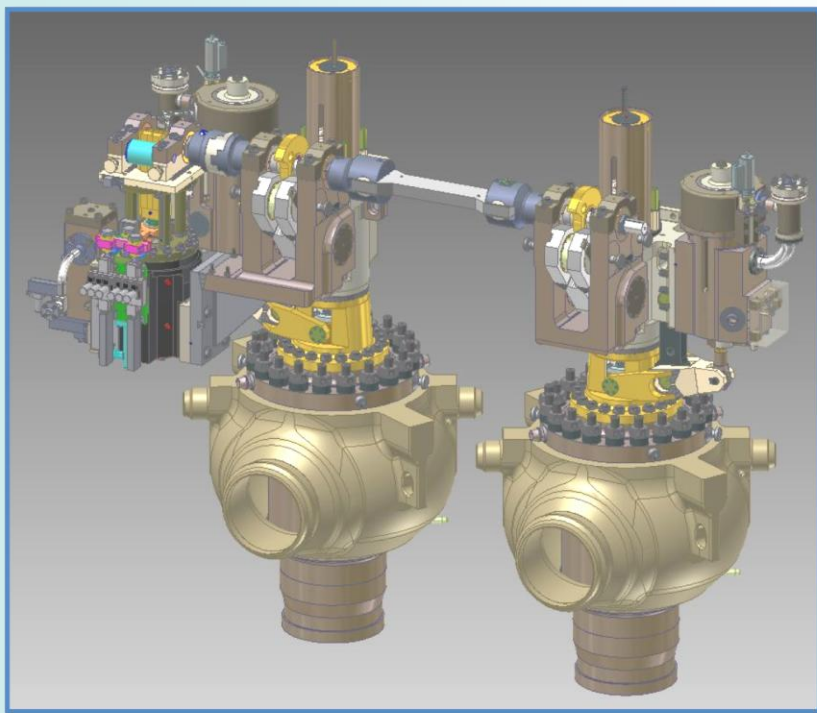


ОАО «ТУРБОАТОМ»



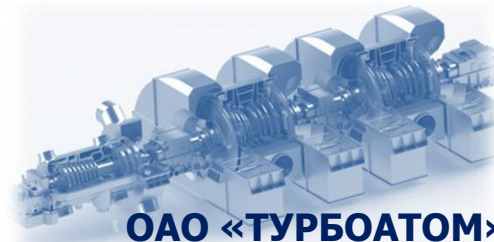
Система регулирования турбины К-1250-6.9/25

Блок стопорно-регулирующих клапанов



$D_y = 600 \text{ мм}$

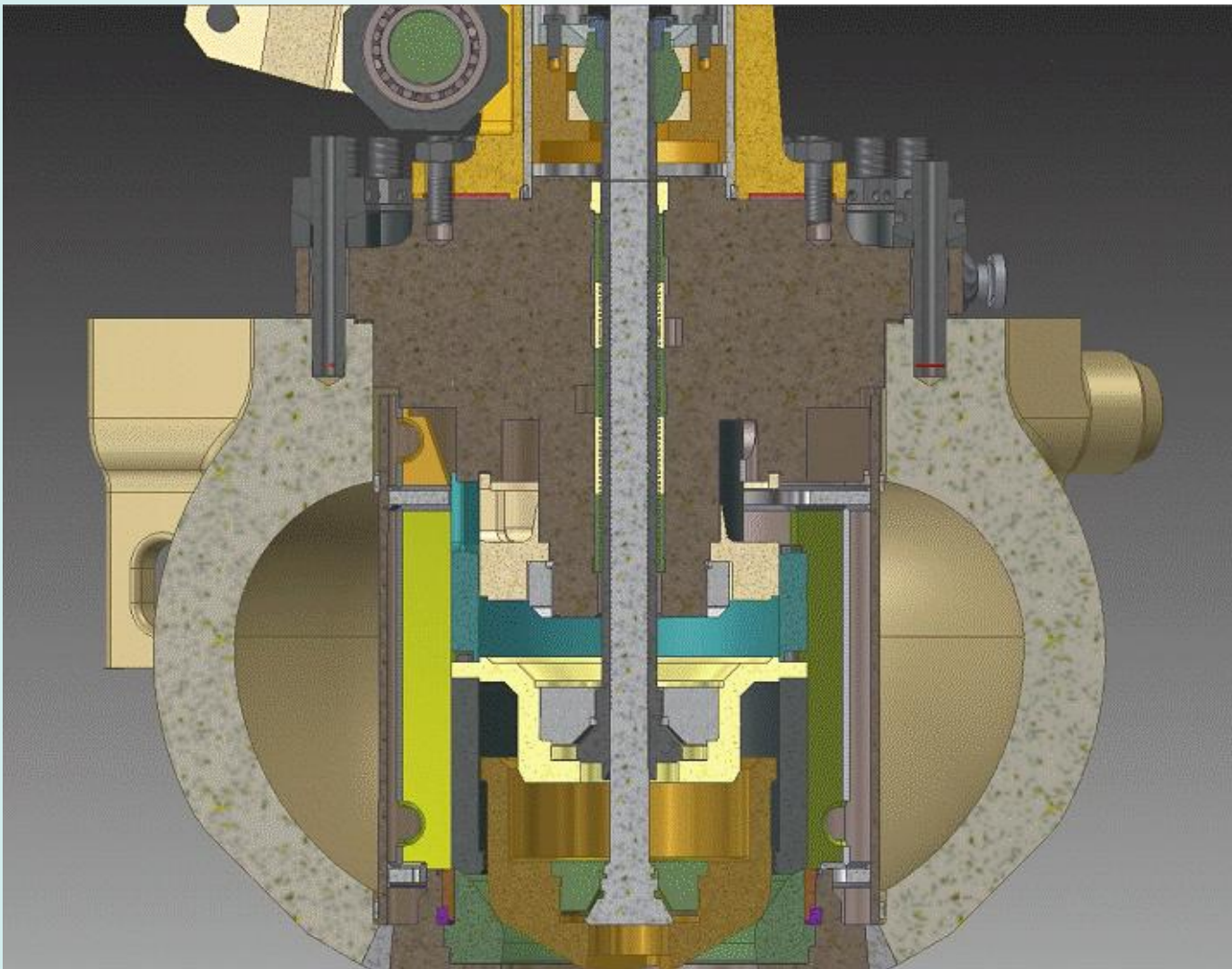
- ❖ С целью увеличения ресурса работы блока изменена конструкция затворов стопорного (СК) и регулирующего (РК) клапанов:
 - введена центровки затвора РК внутри затвора СК;
 - подвод пара в камеру разгрузки РК организован через узкие профильные вставки вместо кольцевого подвода вдоль всей поверхности РК.



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Система регулирования турбины К-1250-6.9/25





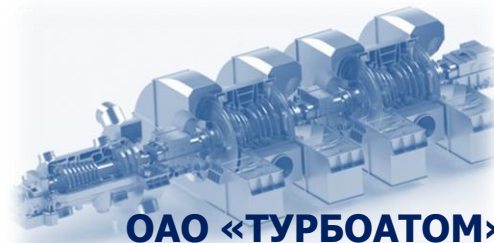
Система регулирования турбины К-1250-6.9/25



$D_y = 1200 \text{ мм}$

Заслонка

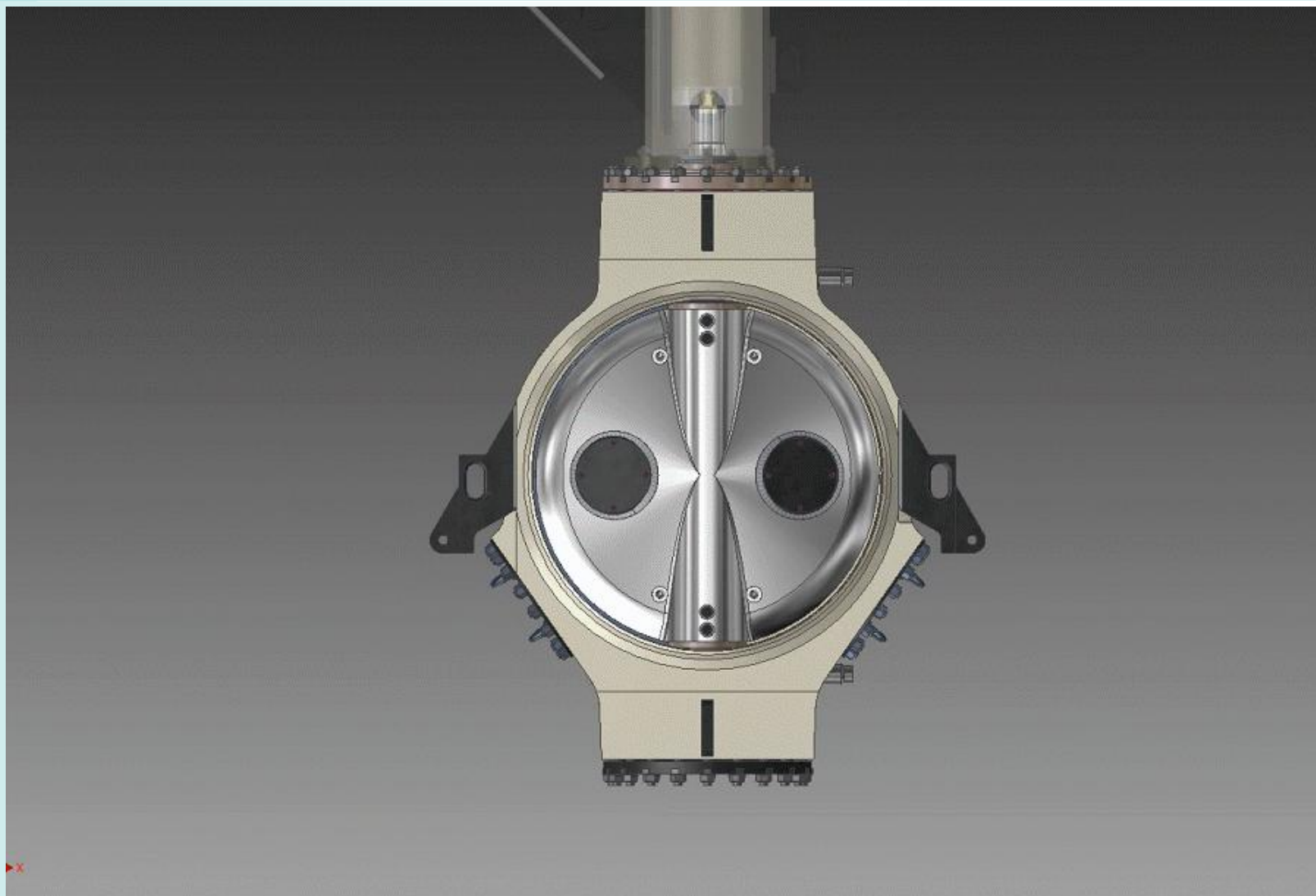
- ❖ Для исключения недопустимого разгона турбины паром из СПП при сбросе нагрузки на каждой нитке ресивера последовательно установлены стопорная и регулирующая заслонки.



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Система регулирования турбины К-1250-6.9/25





Система регулирования турбины К-1250-6.9/25

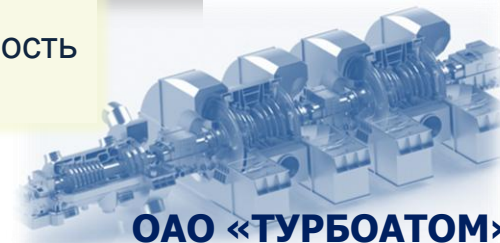
Передняя опора с механизмами управления основной и резервной систем регулирования

Преобразователь электрогидравлический электронного регулятора скорости (резервной системы)

Преобразователь электрогидравлической системы регулирования (основной системы)

Механизмы управления

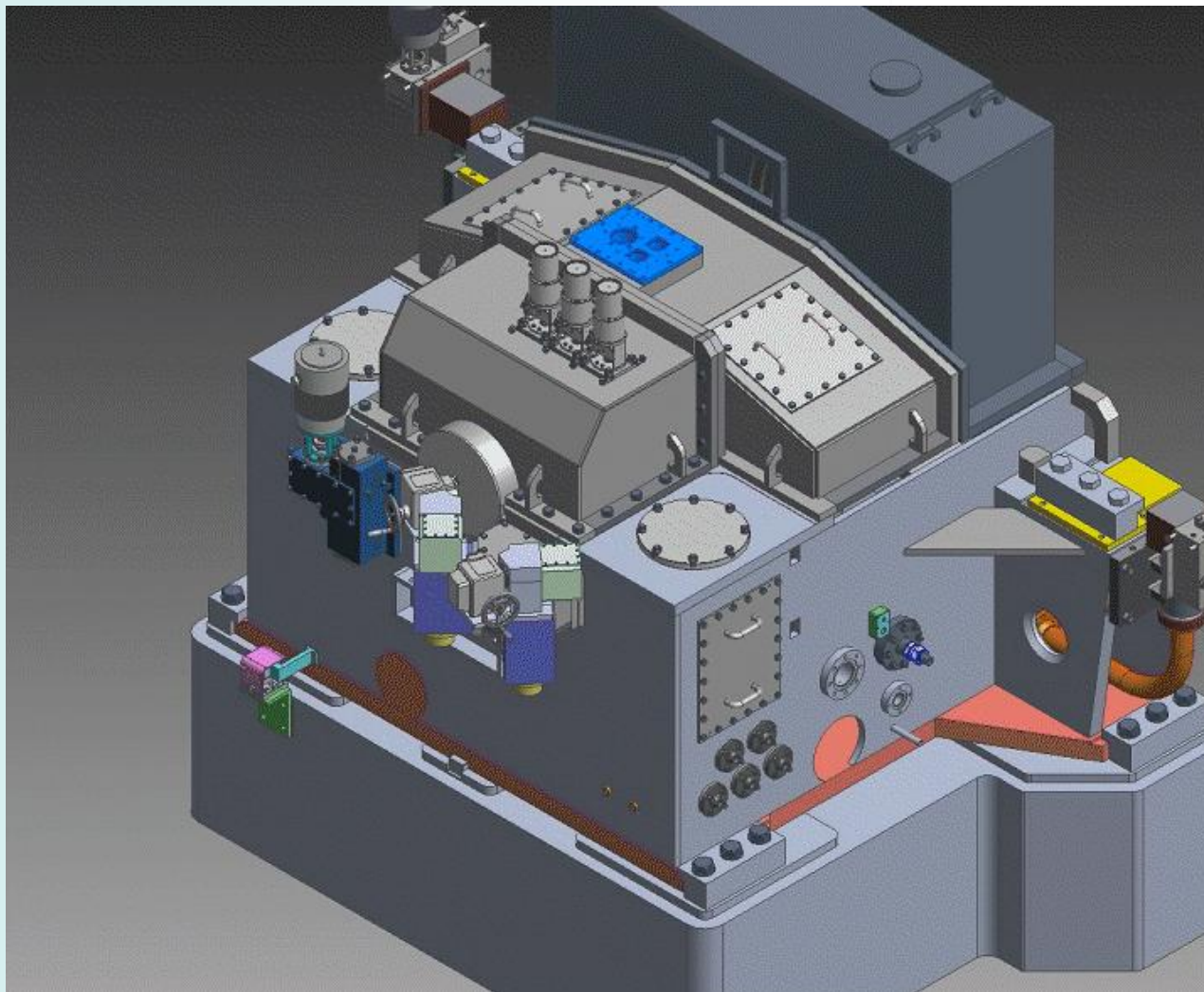
Применение основной и резервной системы регулирования с функциями электронного автомата безопасности повышает надежность противоразгонной защиты.



ОАО «ТУРБОАТОМ»



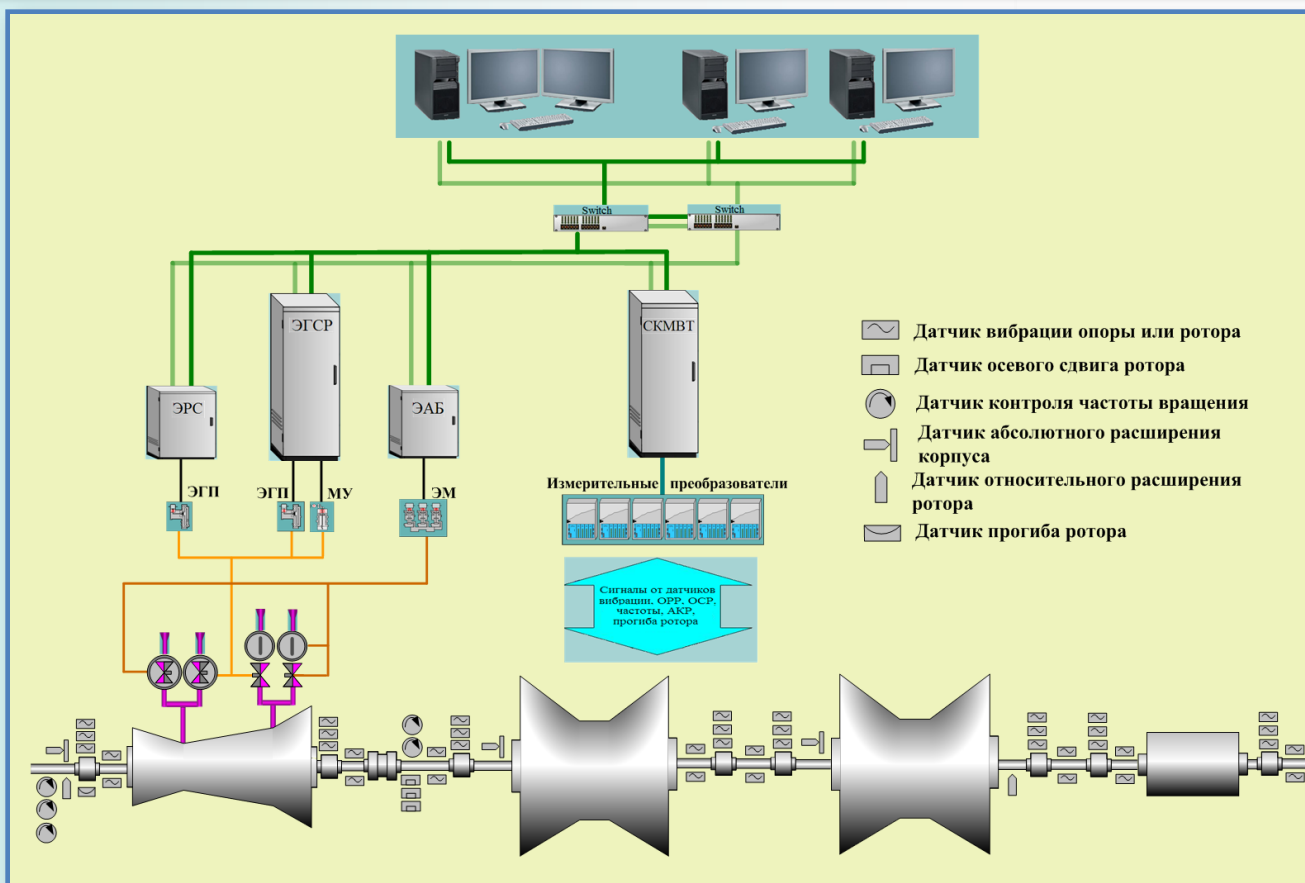
Система регулирования турбины К-1250-6.9/25





Система контроля и регулирования турбины К-1250-6.9/25

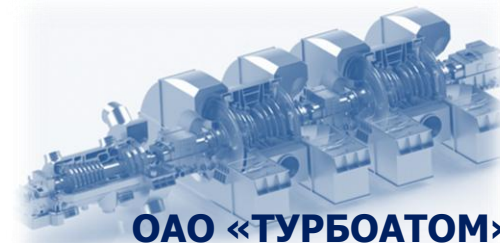
Система контроля и регулирования турбины (СКРТ) осуществляет непрерывный контроль параметров тепло-механического состояния турбоустановки, поддерживает заданные значения параметров в пусковых и эксплуатационных режимах, а также автоматически или по команде оператора прекращает подачу пара в турбину в аварийных ситуациях.





Конденсатор турбины К-1250-6.9/25

- ❖ Конструкция конденсатора «блочно-модульного» исполнения разработана на основе многолетнего опыта проектирования, изготовления и поставок конденсаторов турбин различной мощности.
- ❖ Основные технологические и теплотехнические параметры конденсатора «блочно-модульного» исполнения определены на стадии конструкторских разработок, а также с учетом опыта модернизации его отдельных деталей и узлов в процессе эксплуатации конденсаторов аналогичного типа.
- ❖ Разработка конструкции конденсатора «блочно-модульного» исполнения с трубными системами из сплава ВТ1-0 для энергоблоков мощностью более 1200 МВт выполняется с учетом химического состава охлаждающей воды, ее качества по солесодержанию, органических, биологических и других отложений, которые в определенной степени влияют на эрозионно-коррозионную стойкость трубных систем конденсаторов, приводя к нарушению их водяной плотности и водно-химического режима.

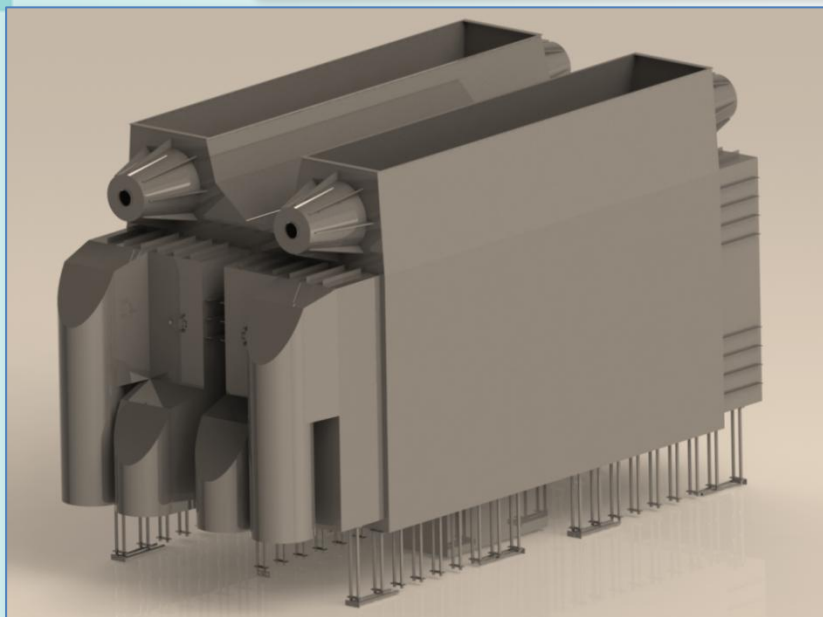


ОАО «ТУРБОАТОМ»



Конденсатор турбины К-1250-6.9/25

«Модульная» компоновка компоновки трубного пучка

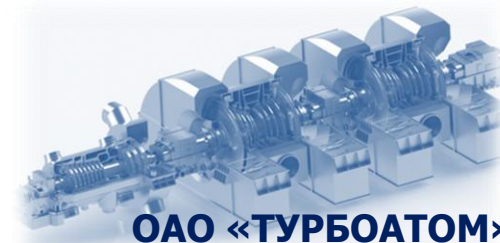


Корпус каждого конденсатора состоит из 6 модулей

«Модульная» компоновка обеспечивает:

- высокую тепловую эффективность;
- оптимальные габариты и массу;
- защиту от переохлаждения конденсата и насыщения его неконденсирующимися газами.

Характеристики	Величина
Конструктивные характеристики:	
Тип	Поверхностный
Поверхность охлаждения	63586 м ²
Число ходов / потоков	2 / 2
Расчетные характеристики:	
Расход пара в конденсатор	1755 т/ч
Давление пара в конденсаторе	0,0518 кгс/см ²
Расход охлаждающей воды на входе на 1 конденсатор	83000 т/ч
Температура охлаждающей воды на входе	20,7 °С
Материал:	
Корпус, узлы и детали	углеродистая сталь
Трубы охлаждающие	титановый сплав марки ВТ1-0
Доски наружные	углеродистая сталь, плакированная титановым сплавом марки ВТ1-0

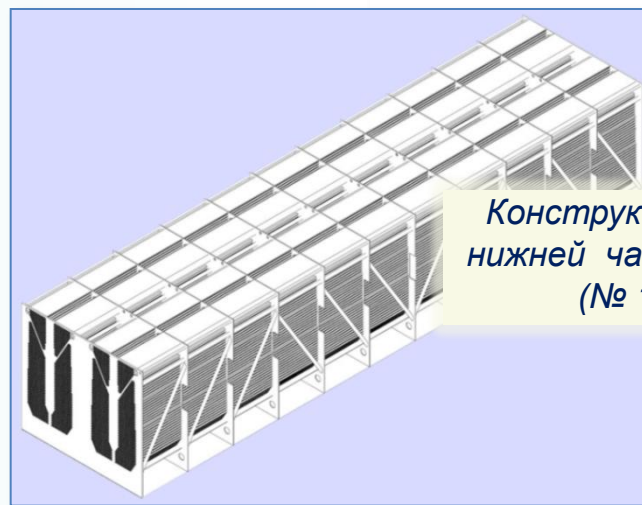
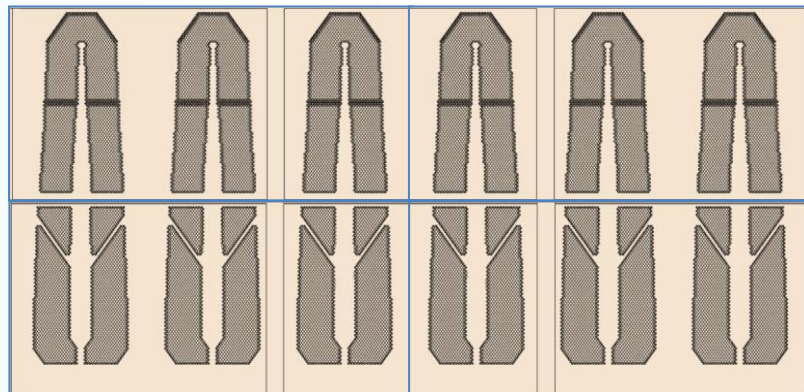


ОАО «ТУРБОАТОМ»

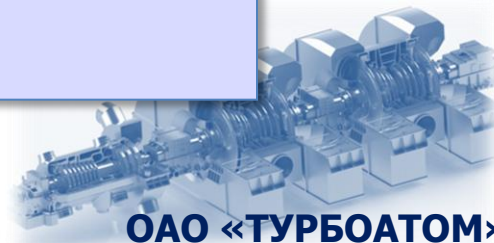


Конденсатор турбины К-1250-6.9/25

Конструкция модуля
верхней части корпуса
(№ 4, 5, 6)



Конструкция модуля
нижней части корпуса
(№ 1, 2, 3)





Конденсационное оборудование турбины К-1250-6.9/25



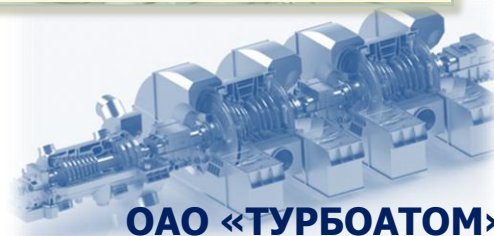
*Производственный участок
по изготовлению модулей конденсатора*



*Набивка трубками
модуля конденсатора*



*Развальцовка и приварка трубок
модуля конденсатора*



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Заключение:

- ❖ ОАО «Турбоатом» обладает современной конструкторской и производственной базой для изготовления и модернизации турбин большой мощности АЭС;
- ❖ ОАО «Турбоатом» обладает успешным опытом ввода в эксплуатацию в короткие сроки;
- ❖ проектные решения для турбинного оборудования основаны на многолетних НИОКР, опыте поставок и эксплуатации паровых турбин;
- ❖ передовой опыт замены конденсаторов в условиях действующей атомной станции, подтверждает обоснованность технических решений по конструкции конденсаторов;
- ❖ заказ оборудования на ОАО «Турбоатом» для АЭС послужит укреплению долгосрочного взаимодействия с Госкорпорацией «Росатом» при поставке основного оборудования машзала на российские и зарубежные АЭС.



ОАО «ТУРБОАТОМ»



Спасибо за внимание!