



СИЛОВЫЕ МАШИНЫ

созидающая энергия

## Новое поколение быстроходных турбин мощностью 1200 МВт для АЭС

Главный конструктор паровых турбин,  
к.т.н. А.С. Лисянский

Москва  
24 марта 2010 г.

	№ стр.
1. Возможности и опыт ОАО «Силовые машины» по поставке мощных паровых турбин для АЭС.	3 – 4
2. Тепловая схема, состав и тип турбоустановки К-1200-6,8/50.	5 – 6
3. Паровая турбина К-1200-6,8/50. Основные технические характеристики и решения, повышающие экономичность, надежность и ремонтпригодность турбины.	7 – 8
3.1. Высокоэкономичные проточные части, пароподводы и паропроводы ЦВД и ЦНД.	9 - 16
3.2. Повышение надежности и ремонтпригодности.	17 – 21
4. Паротурбинное оборудование турбоустановки.	22 – 27
5. Компонировочные решения в проекте турбоустановки К-1200-6,8/50.	28 – 30
6. Заключение.	31



# Возможности и опыт ОАО «Силовые машины» по поставке мощных паровых турбин для АЭС

## ОАО «Силовые машины» проектируют и изготавливают оборудование для АЭС в соответствии с условиями действия полученных в Ростехнадзоре лицензий:

- На конструирование оборудования для ядерных установок
- На изготовление оборудования для ядерных установок
- На эксплуатацию блоков АС в части выполнения работ и предоставления услуг эксплуатирующей организации.
- Сертификат TÜV



- ОАО «Силовые машины» проектируют паровые турбины мощностью 200 – 1600 МВт для АЭС с различными типами реакторных установок.
- ОАО «Силовые машины» изготавливают и модернизируют паровые турбины мощностью 200 – 1600 МВт для АЭС России и зарубежных стран.

## Новое поколение быстроходных турбин мощностью 1200 МВт для АЭС

# Возможности и опыт ОАО «Силловые машины» по поставке мощных паровых турбин для АЭС



## Опыт ОАО «Силловые машины» в создании мощных быстроходных паровых турбин для АЭС

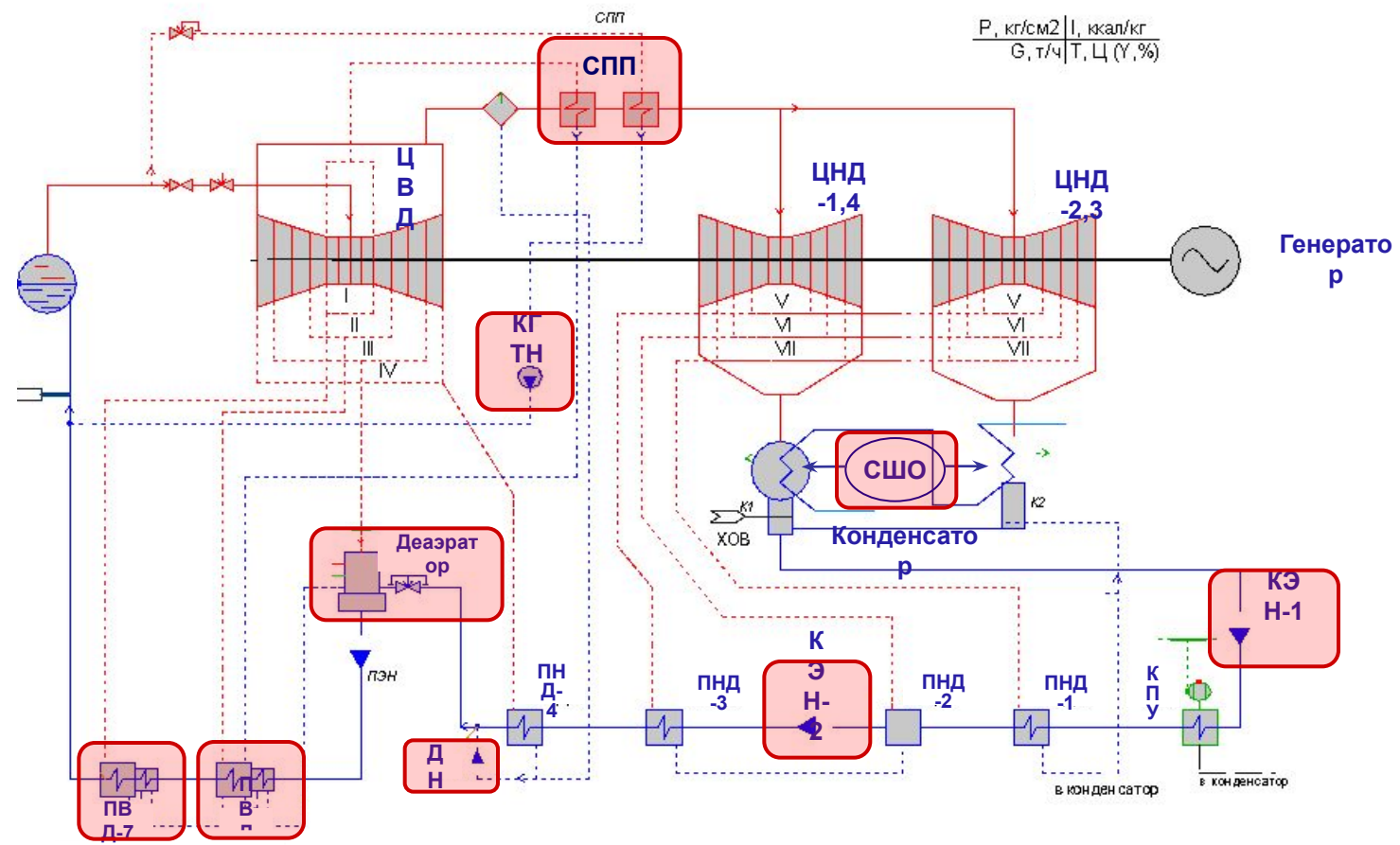
№	Турбина	Место установки		Мощность, МВт	Год ввода	Примечание
	Тип	Наименование станции	страна			
1	К-1000-60/3000	Ровенская АЭС ст. № 1	СССР (Украина)	1012	1986	
2	К-1000-60/3000	Хмельницкая АЭС ст. № 1	СССР (Украина)	1012	1987	
3	К-1000-60/3000	Южно-Украинская АЭС	СССР (Украина)	1012	1989	
4	К-1000-60/3000	Крымская АЭС	СССР (Украина)	998		Не смонтирована
5	К-1000-60/3000	Хмельницкая АЭС ст. № 2	СССР (Украина)	1012	2004	
6	К-1000-60/3000	Ровенская АЭС ст. № 2	СССР (Украина)	1012	2005	
7	К-1000-60/3000	Капининская АЭС ст. № 3	СССР (Россия)	1012	2005	
8	К-1000-60/3000	АЭС Тяньвань ст. № 1	Китай	1060	2006	
9	К-1000-60/3000	АЭС Тяньвань ст. № 2	Китай	1060	2007	
10	К-1000-60/3000-2	АЭС Куданкулам ст. № 1	Индия	995	2010	В монтаже
11	К-1000-60/3000	Капининская АЭС ст. № 4	СССР (Россия)	1040	2011	В изготовлении
12	К-800-130/3000	Белоярская АЭС, блок №4	Россия	800	2011	В изготовлении
13	К-1000-60/3000-3	АЭС Бушер ст. № 1	Иран	1014	2011	Монтаж закончен
14	К-1000-60/3000-2	АЭС Куданкулам ст. № 2	Индия	995	2011	В монтаже
15	К-1200-6,8/50	Нововоронежская АЭС-2 (Блок 1 и 2)	Россия	1198,8	2012, 2013	В изготовлении
16	К-1200-6,8/50	Ленинградская АЭС-2 (Блок 1 и 2)	Россия	1198,8	2013, 2014	В изготовлении
17	К-1000-60/300	АЭС «Белене»	Россия	1040	2014	Технический проект

ОАО «Силловые машины» за период с 1984 г. разработали и изготовили 12 мощных быстроходных паровых турбин для АЭС, в том числе 9 шт. мощностью более 1000 МВт, которые были установлены в РФ, СНГ и странах дальнего зарубежья



# Тепловая схема, состав и тип турбоустановки К-1200-6,8/50

## Тепловая схема турбоустановки К-1200-6,8/50

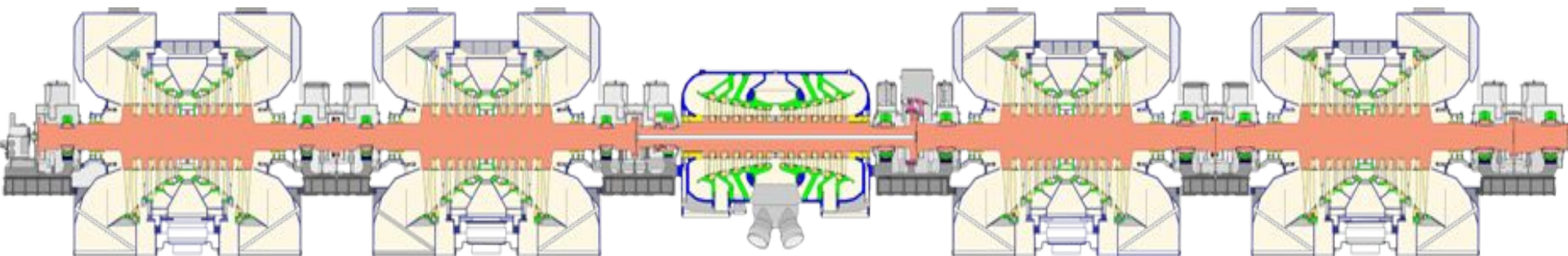


- Используется развитая тепловая схема и эффективное вспомогательное оборудование;
- Тепловая схема успешно применяется на быстроходных агрегатах 1000 МВт, и оптимизируется с учетом конкретных условий на АЭС;
- Смешивающий ПНД-2 обеспечивает минимальный температурный напор, первичную деаэрацию, условия для надежной работы поверхностных ПНД;
- Применяются каскадные сливы конденсата;
- Конденсат греющего пара СПП закачивается в линию питательной воды;
- Возможна организация дополнительных отборов пара на теплофикацию или для других нужд.

## Состав и типы оборудования турбоустановки

- Паровая турбина выполнена пятицилиндровой: 2ЦНД + ЦВД + 2ЦНД
- Электрический генератор выполнен с водо-водяным охлаждением
- СПП поставляется в вертикальном исполнении с нижним расположением сепарационной части, с двумя ступенями перегрева
- ПНД-1 размещается в двух корпусах горизонтального типа в переходных патрубках конденсатора
- ПНД-2 выполняется смешивающего типа, вертикального расположения
- ПНД-3 и 4 применяются поверхностного типа, в вертикальном исполнении, с охладителями дренажа
- ПВД-5 и ПВД-6 выполняются вертикального камерного типа и включаются двумя параллельными группами
- Оперативная отметка турбины: +16 м

## Основные технические характеристики

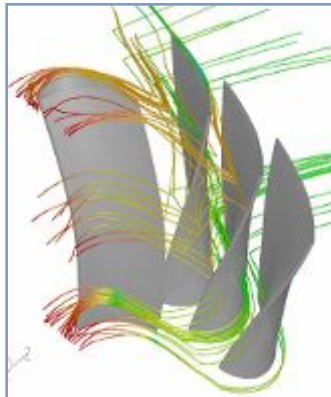
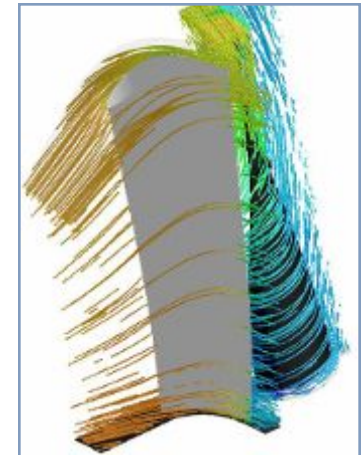
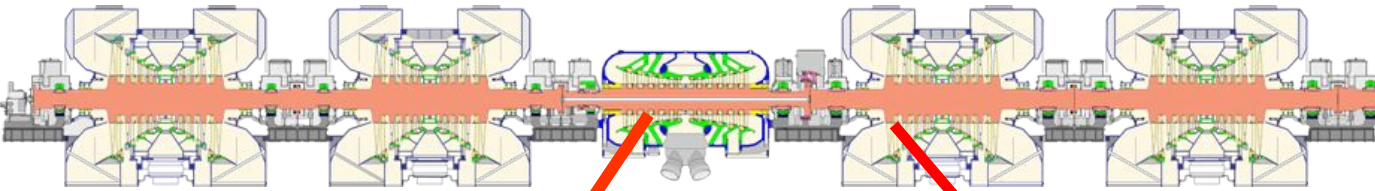


Давление свежего пара	6,8 МПа
Влажность / температура свежего пара	0,5% / 283,8°C
Расчетная температура охлаждающей воды, $t_{ov}$	20 °C
Электрическая мощность на клеммах генератора, $N_g$	1198,8 МВт

Скорость вращения ротора	3000 об/мин
Количество ступеней в проточной части:	
в ЦВД	2x6=12
в ЦНД	4(2x5)=40
РЛ последней ступени	1200 мм (усиленная)
Суммарная площадь выхлопа	90,4 м <sup>2</sup>
Длина турбины	53 м

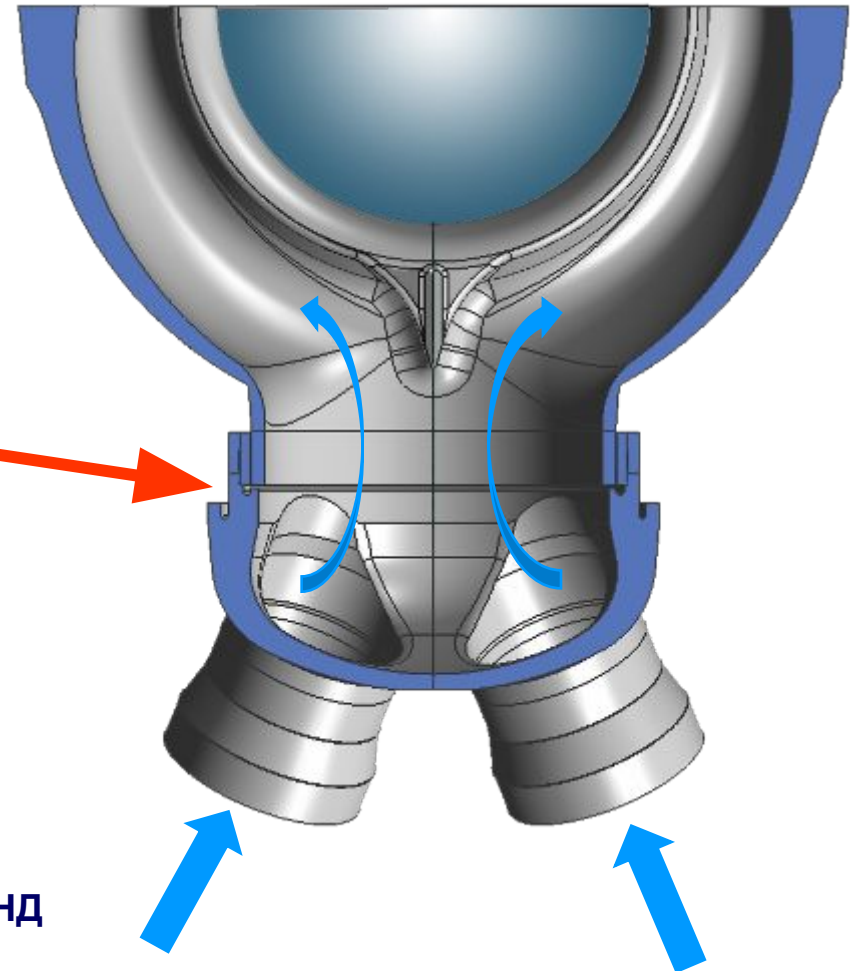
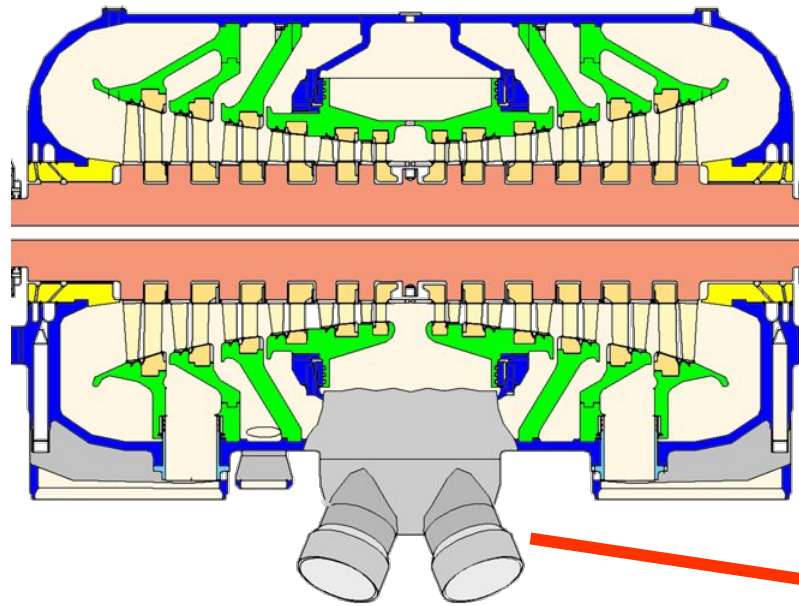
- Применение проектирования лопаточного аппарата с саблевидными направляющими лопатками.
- Пароподвод ВД размещен в нижней половине ЦВД;
- Пароподвод НД размещен в нижней половине ЦНД;
- Конструкция концевых уплотнений ЦНД позволяет производить их ремонт без снятия крышки ЦНД;
- Предусмотрена возможность подбалансировки роторов без вскрытия цилиндров;
- Имеется возможность эндоскопирования проточных частей цилиндров;
- Имеется возможность организации дополнительных теплофикационных отборов по требованию Заказчика;
- Разработана система диагностики рабочих лопаток последних ступеней ЦНД;
- В системах смазки и регулирования применяется огнестойкая рабочая жидкость;
- Используется цельнокованный РВД;
- Используется цельнокованный РНД.





- Применение 3D-проектирования лопаточного аппарата с саблевидными направляющими лопатками.
- Согласование расчетных поточных и скелетных углов профилей лопаток
- Плавный меридиональный обвод
- Вытеснение проволоочных связей из потока в бандажі рабочих лопаток
- Применение системы влагоудаления

## Высокоэффективный коллектор паровпуска ЦВД

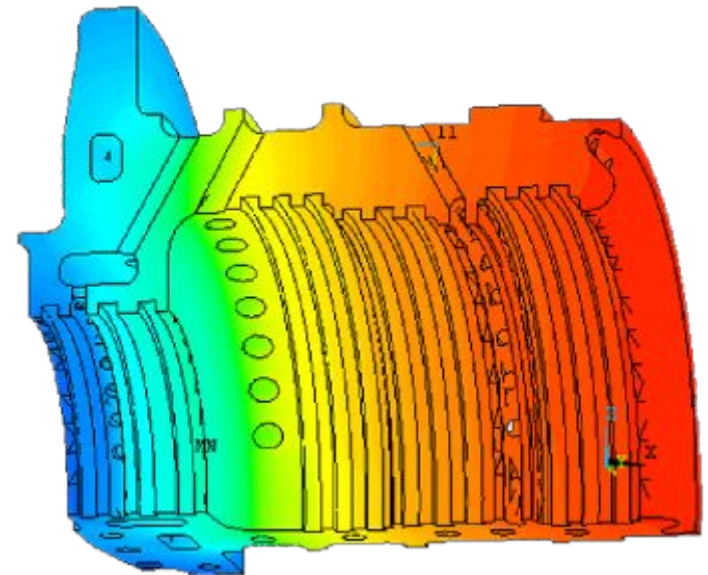
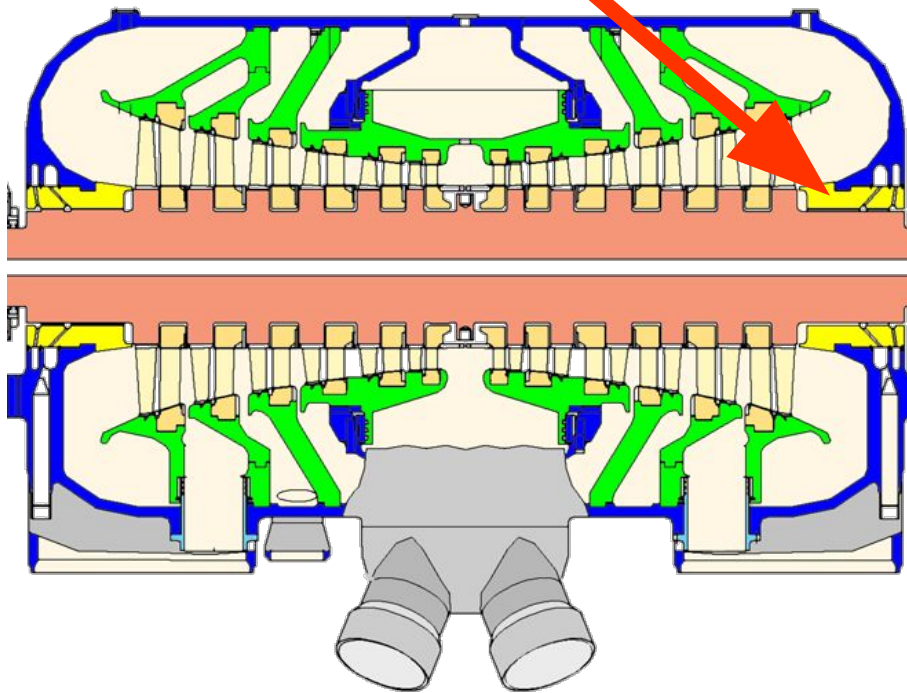


- Высокая экономичность
- Высокая надёжность
- Компактность конструкции
- Отсутствие фланцевых соединений в пароподводящих трубах
- Высокогерметичные поршневые кольца в соединении наружного и внутреннего корпусов ЦНД

## Высокоэффективные концевые уплотнения ЦВД втулочного типа

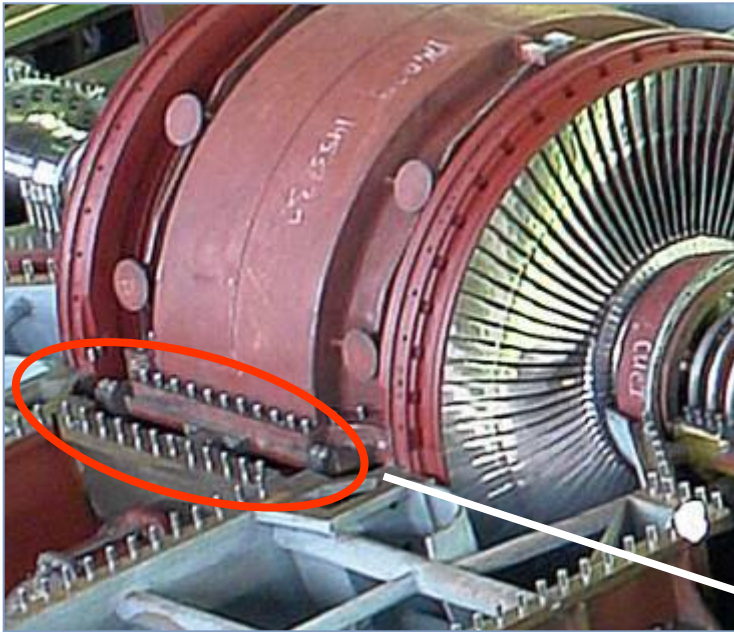


- Высокая экономичность
- Стабильность геометрических форм
- Стабильность зазоров при эксплуатации
- Высокая ремонтпригодность
- Низкая трудоёмкость при монтаже и эксплуатации

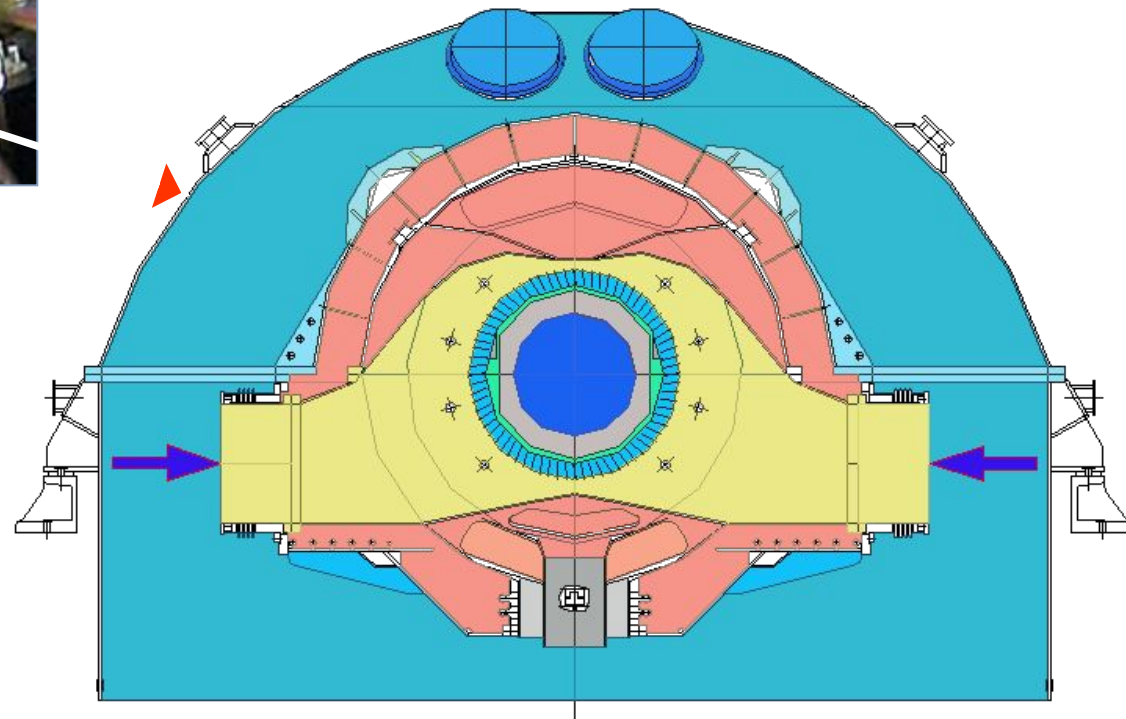




## Высокоэффективный пароподвод в ЦНД



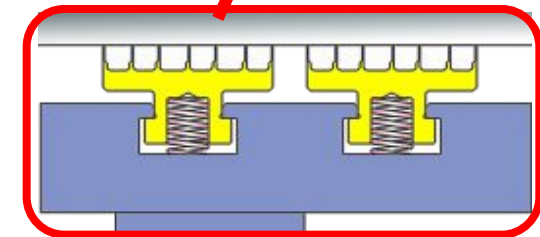
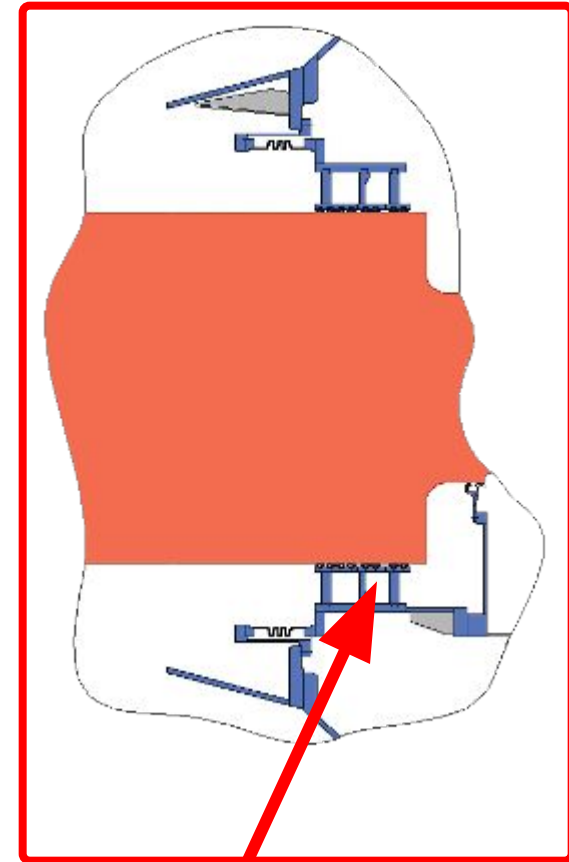
- Минимальные потери впускного тракта
- Пароподвод только в нижнюю половину ЦНД
- Высокая ремонтпригодность
- Низкие затраты на эксплуатацию
- Обслуживание ЦНД без демонтажа перепускных труб



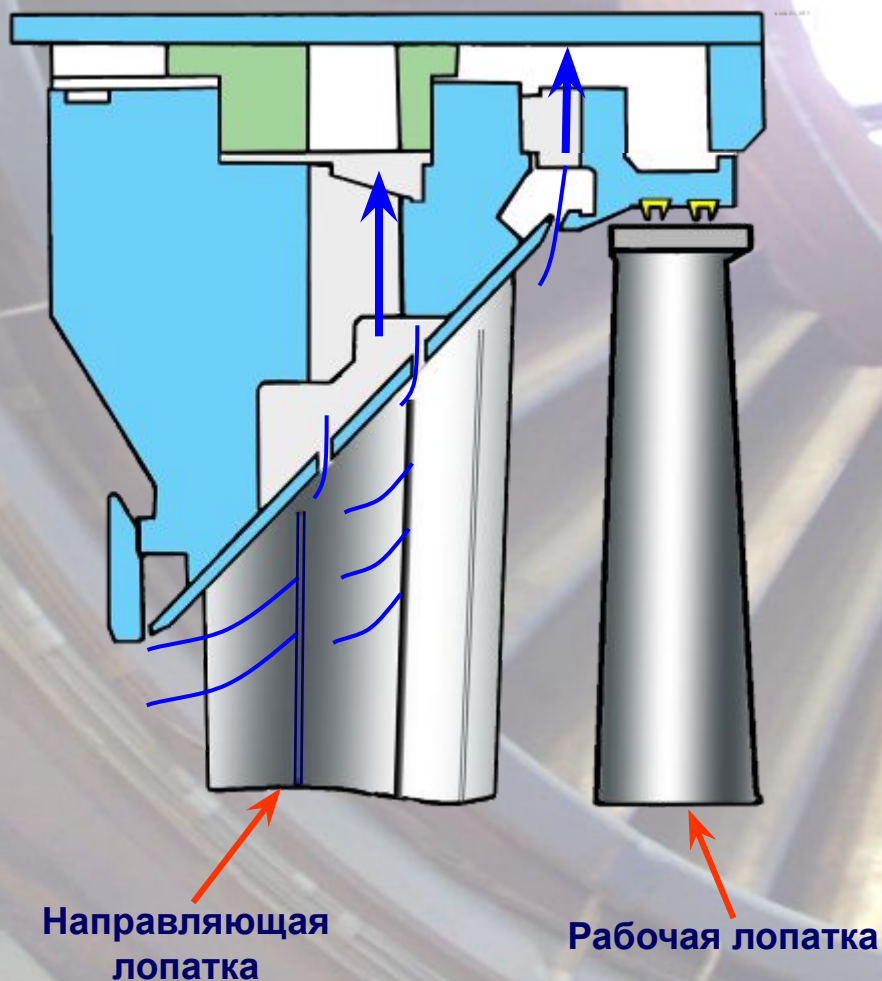


## Эффективная конструкция концевых уплотнений ЦНД

- Высокая экономичность
- Высокая надёжность
- Нечувствительность к расцентровкам
- Высокая ремонтпригодность - замена уплотнительных колец без вскрытия ЦНД и выема ротора

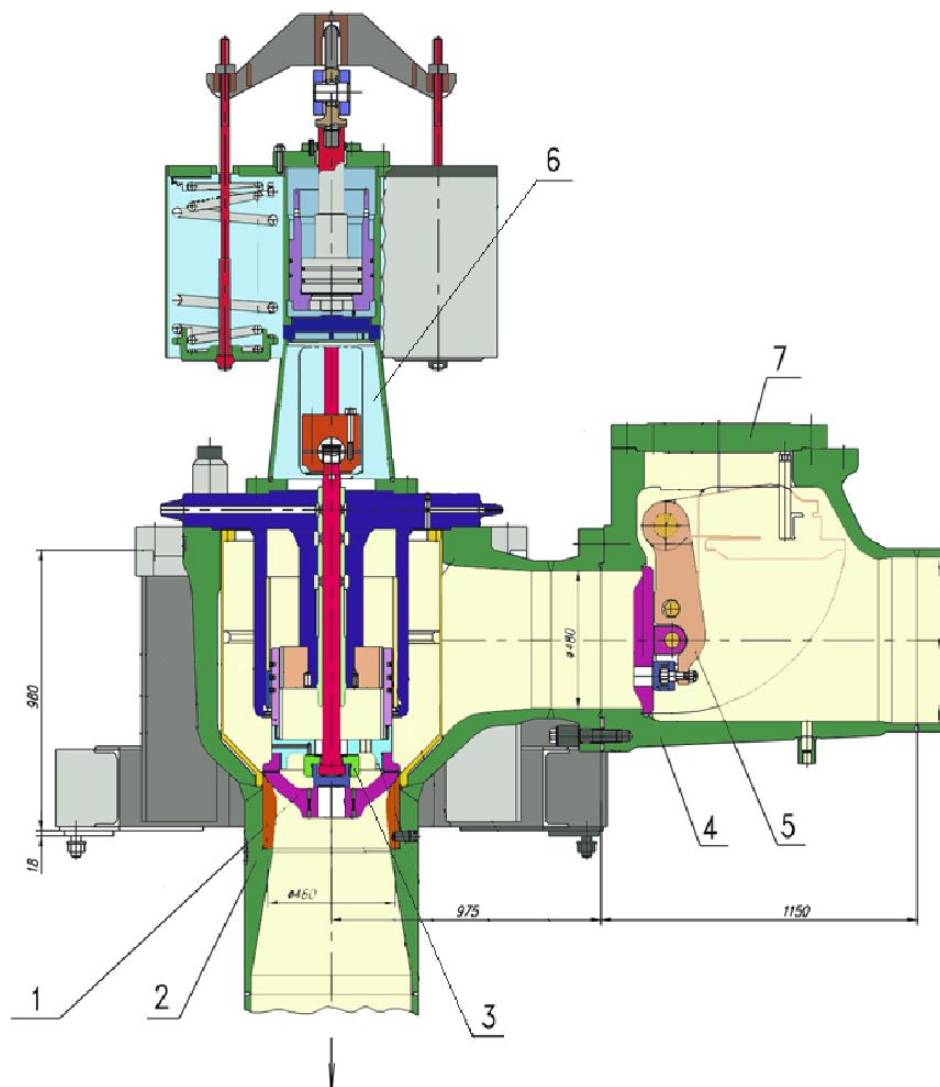


## Высокоэкономичная и эффективная система влагоудаления



- Повышение экономичности и надежности последней ступени за счет эффективного влагоудаления.
- Применение торцевой сепарации влаги с поверхности наружного бандажа диафрагмы.
- Организация периферийного влагоуловителя за направляющим аппаратом.
- Внутриканальное влагоудаление через систему узких щелей на выпуклой и вогнутой поверхностях во внутренние полости направляющих лопаток.
- Организация дробления и сброса влаги с вогнутой поверхности направляющих лопаток вблизи выходной кромки.

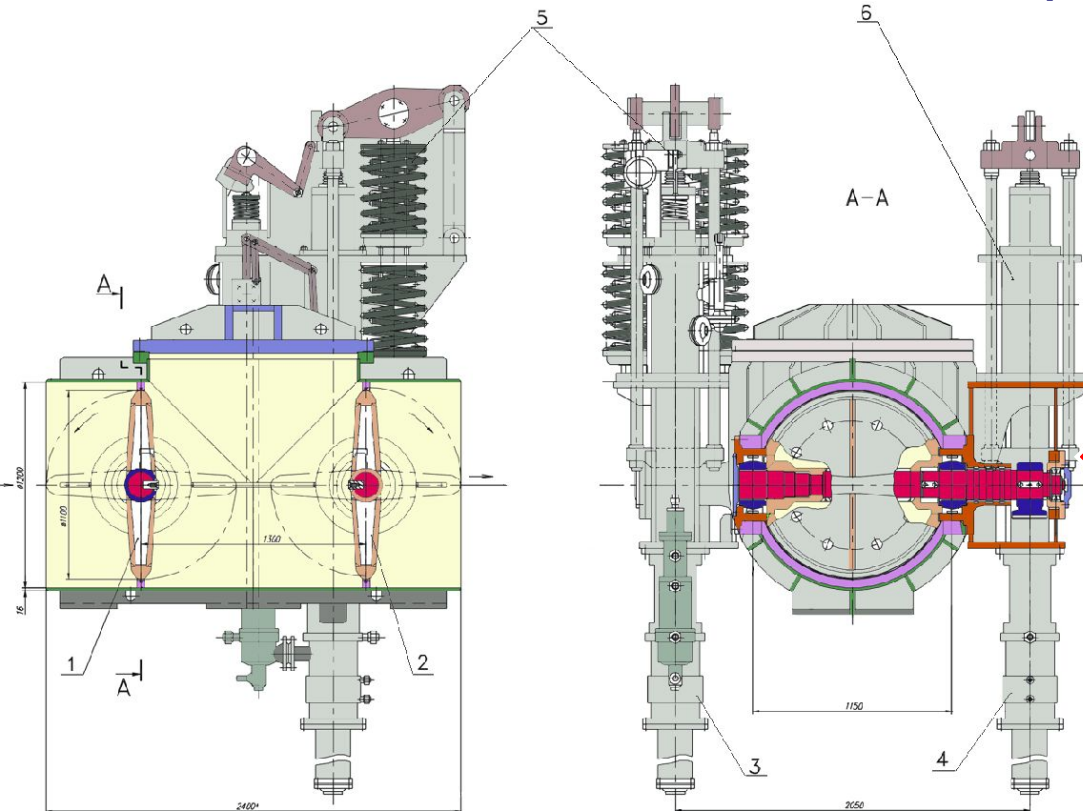
## Блок клапанов ВД с сервоприводами



- Отработанная аэродинамика – снижение потерь давления в блоке
- Комплекс мер по снижению вибрации
- Рабочая жидкость - огнестойкое масло
- Рабочее давление жидкости – 50 бар



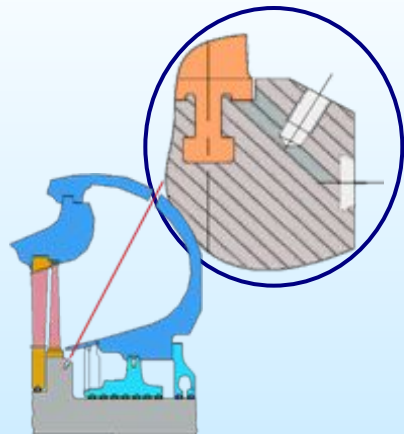
## Блок клапанов НД с сервоприводами



- Высокоэффективная аэродинамика проточной части блока клапанов
- Комплекс мер по снижению требуемого усилия сервопривода
- Рабочая жидкость сервопривода – огнестойкое масло
- Рабочее давление жидкости – 50 бар



## Подбалансировка роторов турбины без вскрытия цилиндров



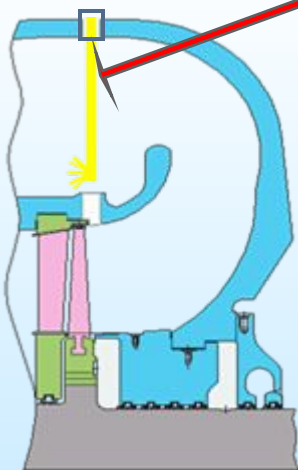
- Возможность подбалансировки роторов без вскрытия цилиндров.
- Сокращение сроков ремонта.

## Система контроля вибрационного состояния рабочих лопаток последних ступеней ЦНД



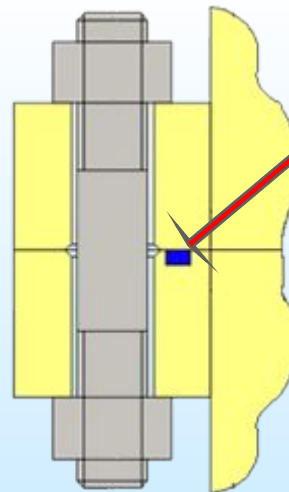
- Диагностирование вибрационного состояния рабочих лопаток последних ступеней в реальном режиме времени
- Информация обслуживающему персоналу для принятия решения о возможности эксплуатации турбоагрегата.

## Эндоскопирование направляющих и рабочих лопаток



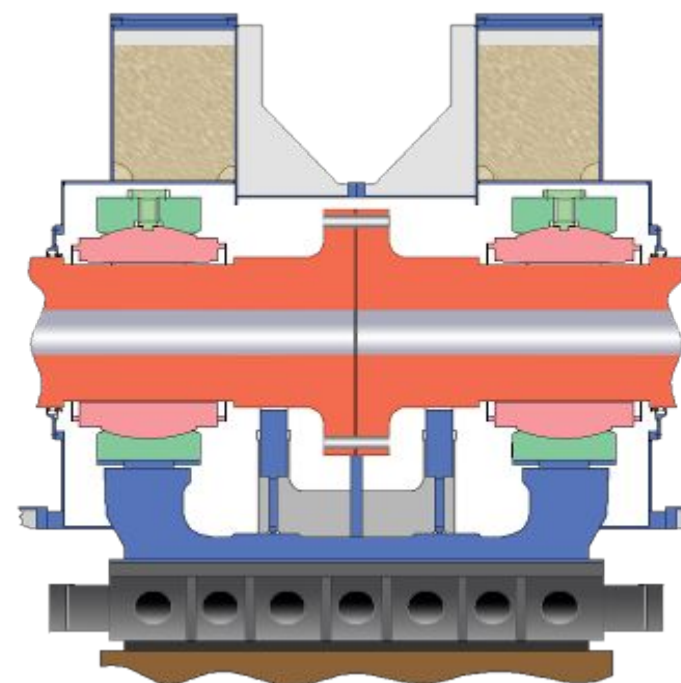
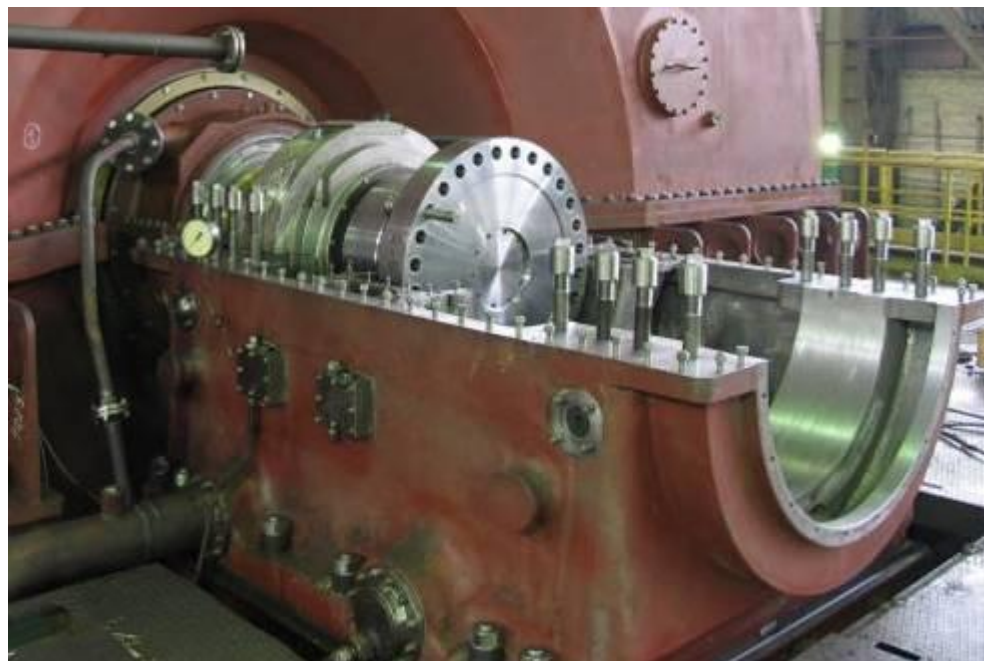
- Возможность осмотра ступеней без вскрытия цилиндров
- Сокращение сроков ремонта

## Уплотнение фланцевых соединений



- Установка уплотняющего шнура во фланцевых соединениях ЦНД
- Ликвидация присосов воздуха

## Высокоэкономичные и надёжные опорные подшипники



- Повышенная виброустойчивость
- Высокая ремонтпригодность - возможность выкатывания вкладышей без выема ротора

- Наличие резервных баков смазки огнестойкой жидкости
- Высокая пожаробезопасность - использование негорючей жидкости для смазки подшипников

## Технические показатели системы регулирования турбины

Наименование	Параметр
Тип системы регулирования	- Электронно-гидравлическая (с выполнением требований Европейских энергосистем – UCTE)
Тип регулятора скорости	- Электронный
Тип автомата безопасности	- Электронный
Цикл безостановочной работы для проверки противоразгонной защиты	- В соответствии с требованиями реакторной установки
Нечувствительность	- В соответствии с UCTE (с регулируемой мертвой зоной)
Неравномерность	- В соответствии с UCTE (с возможностью изменения задания)
Референция основных решений	- Турбины ТЭС и ПГУ С электронным регулятором скорости более 30 шт. С электронным автоматом безопасности – 8 шт.

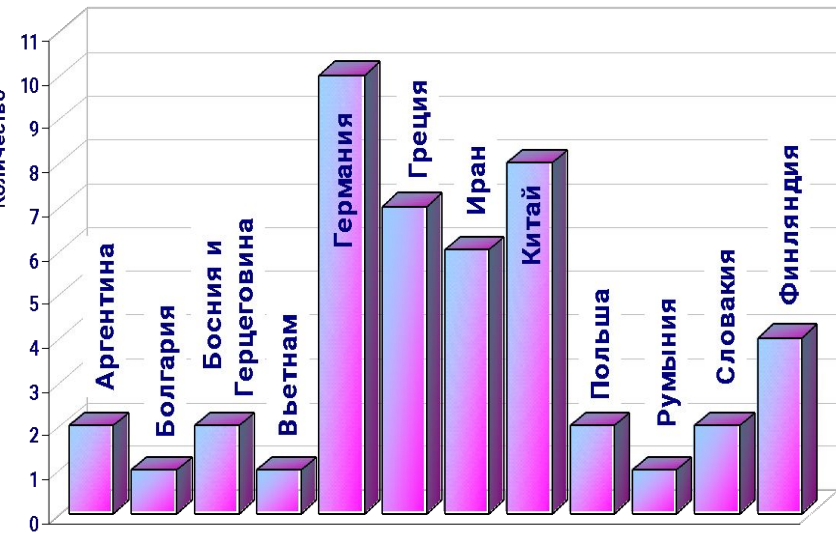
# Повышение надёжности и ремонтпригодности узлов турбин

## Огнестойкие масла в паровых турбинах ОАО «Силовые машины»

### Применение огнестойкого масла – решение проблемы пожарной безопасности АЭС

Системы регулирования на огнестойком масле в паровых турбинах филиала ЛМЗ (1963 – 2009)

Системы смазки подшипников на огнестойком масле в паровых турбинах филиала ЛМЗ (1985 – 2009)



С учетом России, СНГ и стран Балтии – более 220 турбин



### Сравнительные характеристики минеральных и огнестойких масел

	Плотность г/см <sup>3</sup>	Самовозгорание °С	Токсичность Класс безопасности
Минеральное	0.89	370	3
Огнестойкое	1.14	720	3

ОМТИ Россия

Fyrquel-L USA

Reolube-OMTI USA



## Очистка рабочих жидкостей маслосистем

### Конструктивные решения:

- Маслопроводы из нержавеющей стали
- Маслобаки из 2<sup>х</sup> слойной стали
- Применение байпасного и полнорасходного фильтрования



### Байпасное фильтрование:

#### Фильтр тонкой очистки ЛМЗ

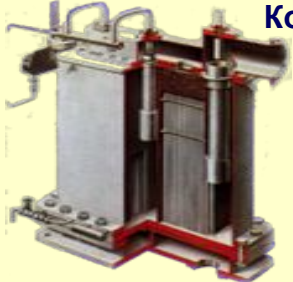
- Производительность – 18 м<sup>3</sup>/ч
- Тонкость фильтрации для разных типов фильтрующих элементов:
  - Сетчатые – 70 мк
  - Тканевые – 30-40 мк
  - Фильтрпатроны «Pall» - 12 мк

### Полнорасходное фильтрование:

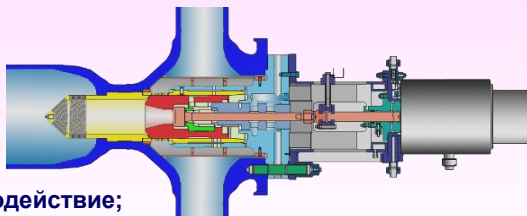
- Производительность – 500 м<sup>3</sup>/ч
- Тонкость фильтрации – 25 мк

# Паротурбинное оборудование ОАО «Силловые машины»

Эжекторы пароструйные  
Эжекторы водоструйные  
Конденсаторы пара  
уплотнений



БРУ-К



- Быстродействие;
- Разнесение уплотнительных и регулирующих поверхностей в клапане.

Фильтры



Клапаны

(обратные, предохранительные, регулирующие)

Главные конденсаторы турбин мощностью 25 – 1200 МВт



- Крепление труо: вальцовка и сварка
- Материалы труб: титан, нерж. сталь, медные сплавы
- Охлаждающая поверхность от 1750 м<sup>2</sup> до 120000 м<sup>2</sup>
- Блочно-модульная конструкция

**Теплообменное и вспомогательное оборудование паровых турбин**

Маслоохладители  
Водо-водяные теплообменники



- Поверхность теплообмена 10 -700 м<sup>2</sup>
- Материал труб – нерж. сталь
- Наружное оребрение труб

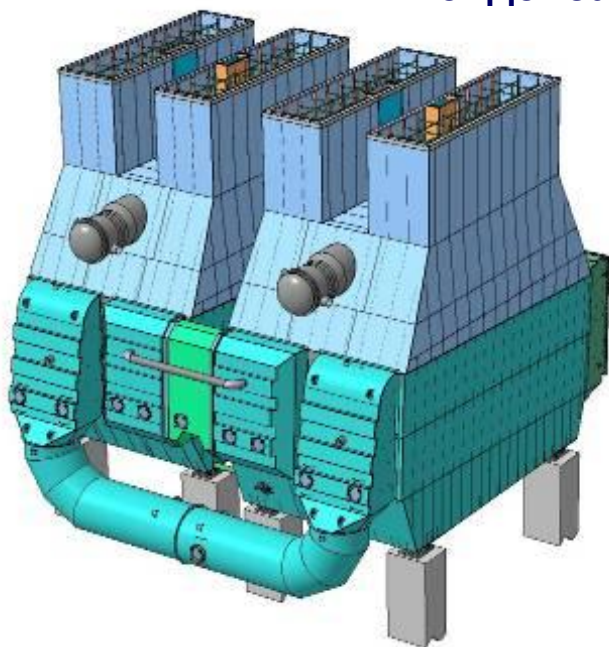
Подогреватели сетевые и регенеративные



- Поверхность теплообмена 150 -5000 м<sup>2</sup>
- Полная сборка и испытание на заводе
- Материал труб – нерж. сталь

ОАО «Силловые машины» на базе строящегося нового завода готово расширить номенклатуру вспомогательного оборудования собственного производства

## Конденсатор паровой турбины К-1200-6,8/50



- Эффективная технология сборки конденсатора на монтаже
- Поставка на станцию модулей конденсатора повышенной готовности
- Эффективная конструкция трубного пучка
- Надежное крепление охлаждающих трубок в трубных досках (вальцовка и орбитальная сварка)
- Опыт применения нержавеющей сталей и титановых сплавов для охлаждающих трубок

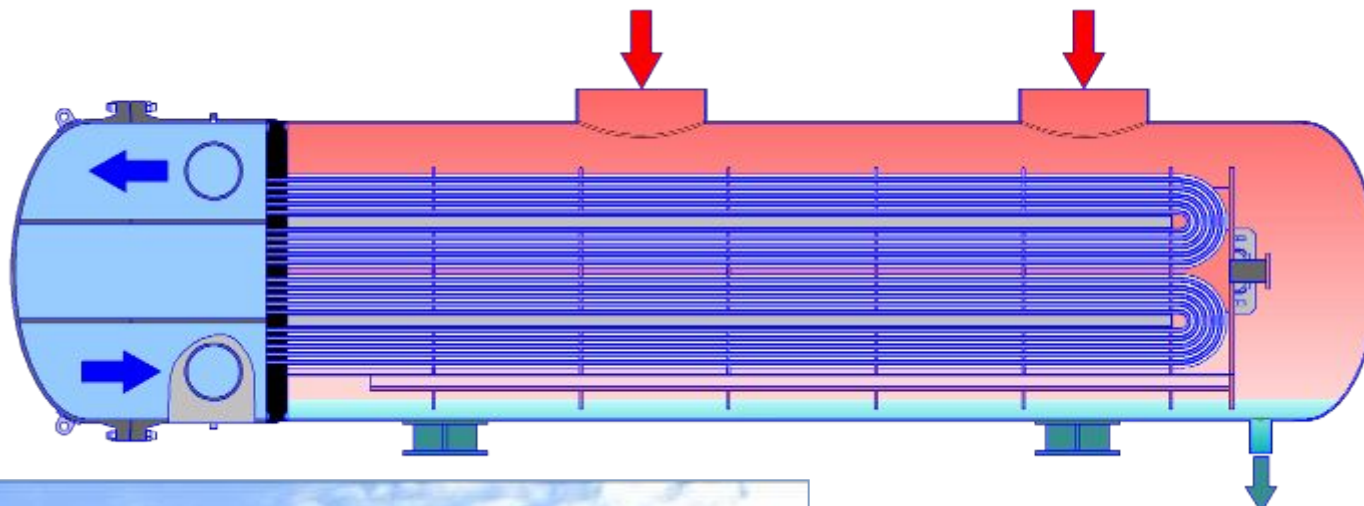


Орбитальная сварка трубок в трубных досках

Доставка на АЭС модулей конденсаторов повышенной готовности (АЭС «Козлодуй», Болгария)



## Подогреватель низкого давления поверхностного типа



**ПНД-1 – широко используется в качестве первой ступени регенеративного подогрева основного конденсата паротурбинных установок ТЭС и АЭС**

**Технические характеристики**

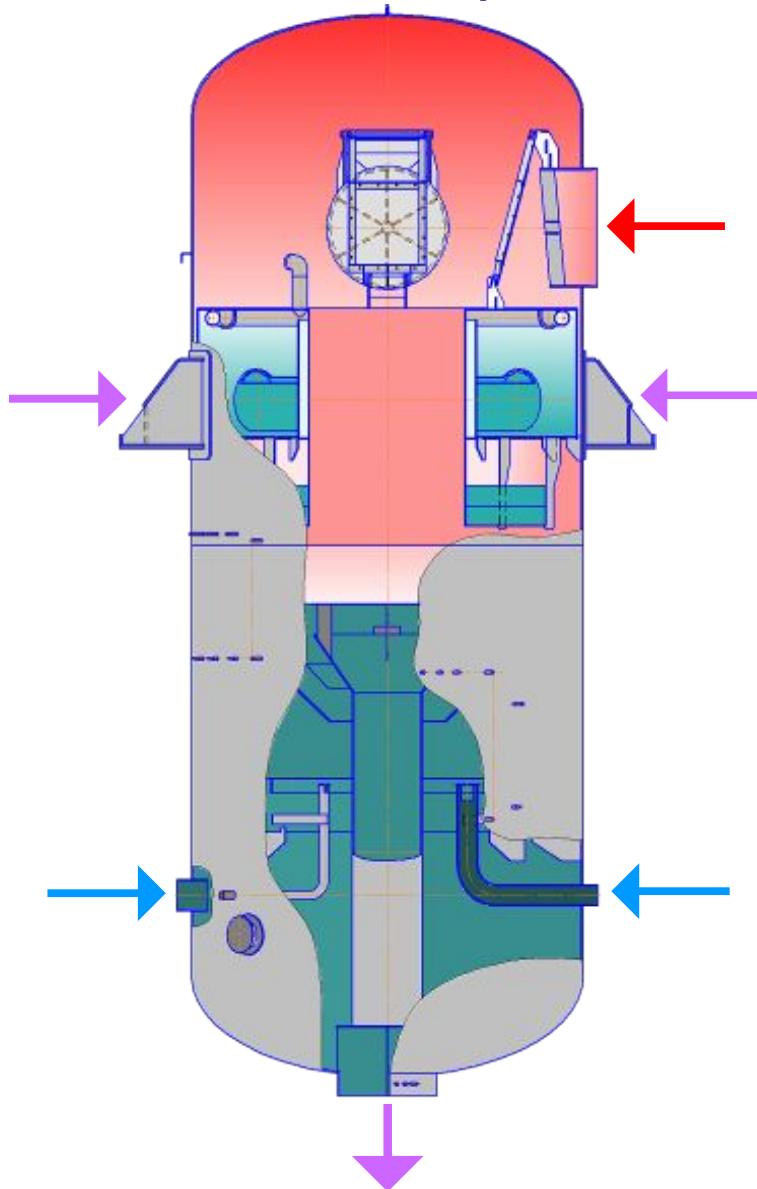
- горизонтальный
- поверхностного типа
- кожухотрубный

**Преимущества**

- референтность
- высокая эффективность
- ремонтпригодность
- компактность



## Подогреватель низкого давления смешивающего типа



ПНД-2 – применяется в качестве ПНД второй ступени регенеративного подогрева основного конденсата паротурбинных установок ТЭС и АЭС

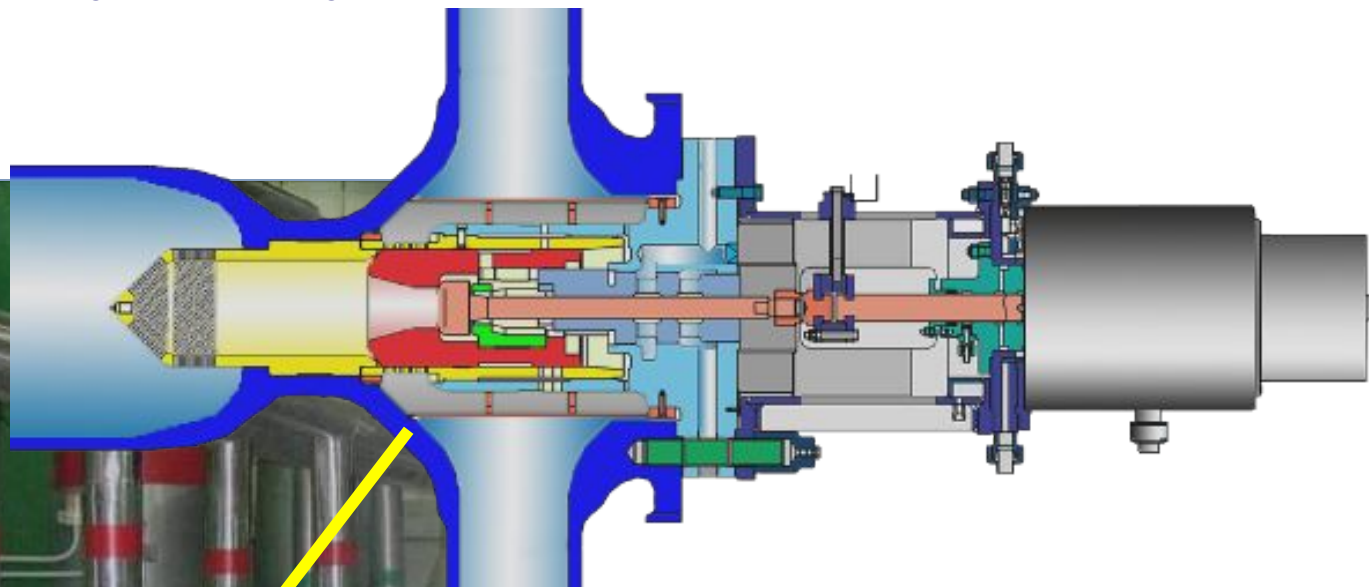
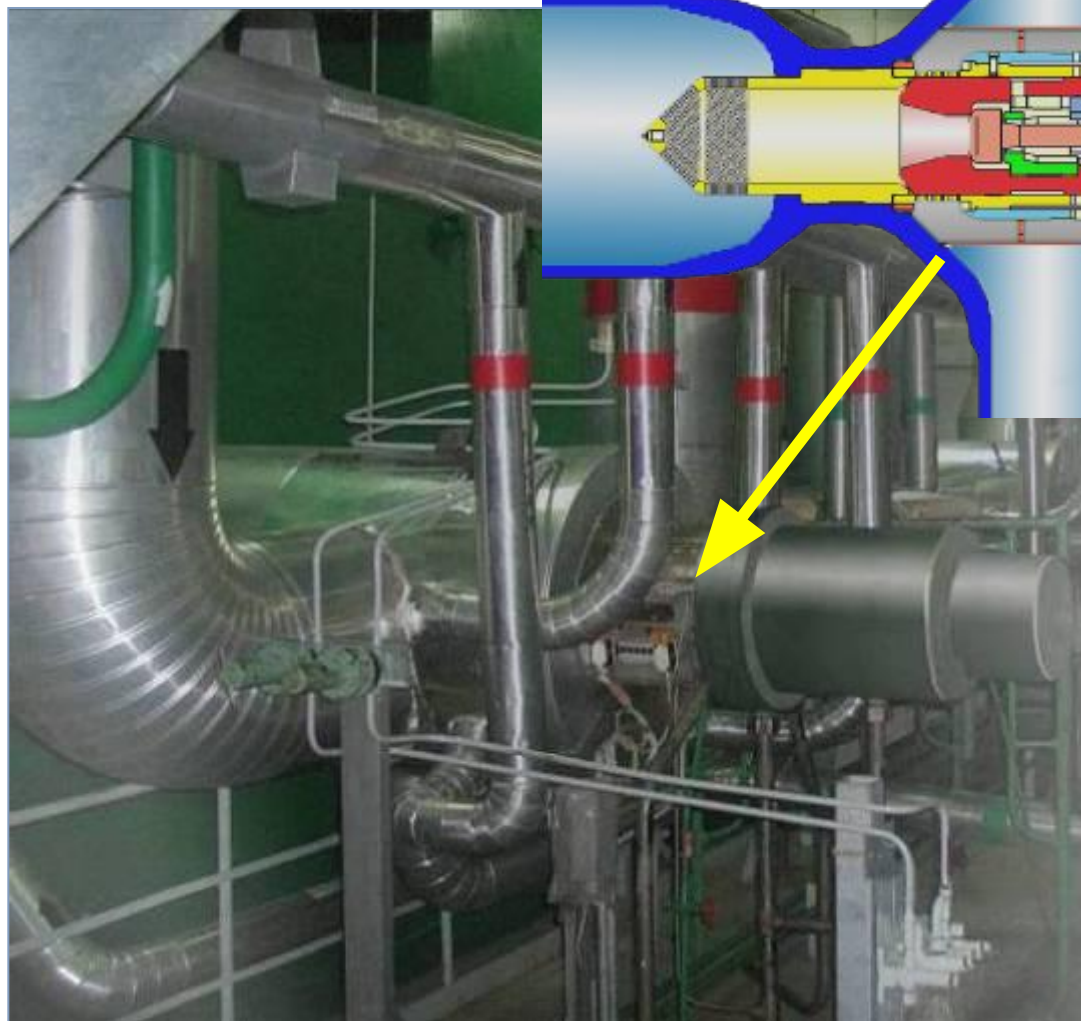
### Технические характеристики

- вертикальный
- смешивающего типа

### Преимущества

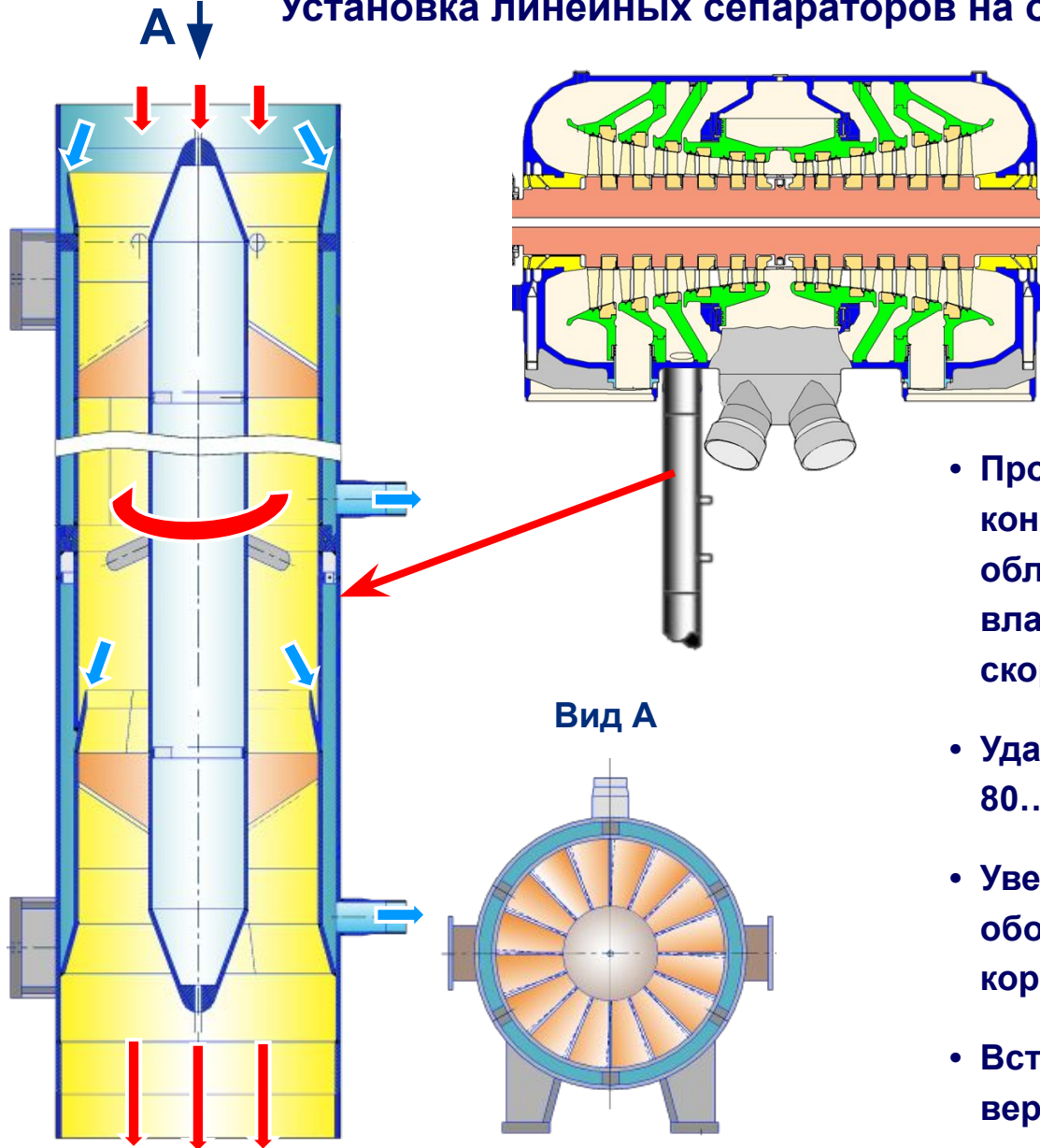
- референтность
- высокая эффективность
- повышенная деаэрирующая способность
- ремонтпригодность

## Быстродействующая редукционная установка сброса пара в конденсатор (БРУ-К)



- Быстродействие;
- Комплекс мер по снижению вибрации, применяющийся в проектировании современных регулирующих клапанов;
- Оригинальные идеи по снижению уровня шума;
- Горизонтальное расположение клапана;
- Разнесение уплотнительных и регулирующих поверхностей в клапане.

## Установка линейных сепараторов на отборах пара из ЦВД

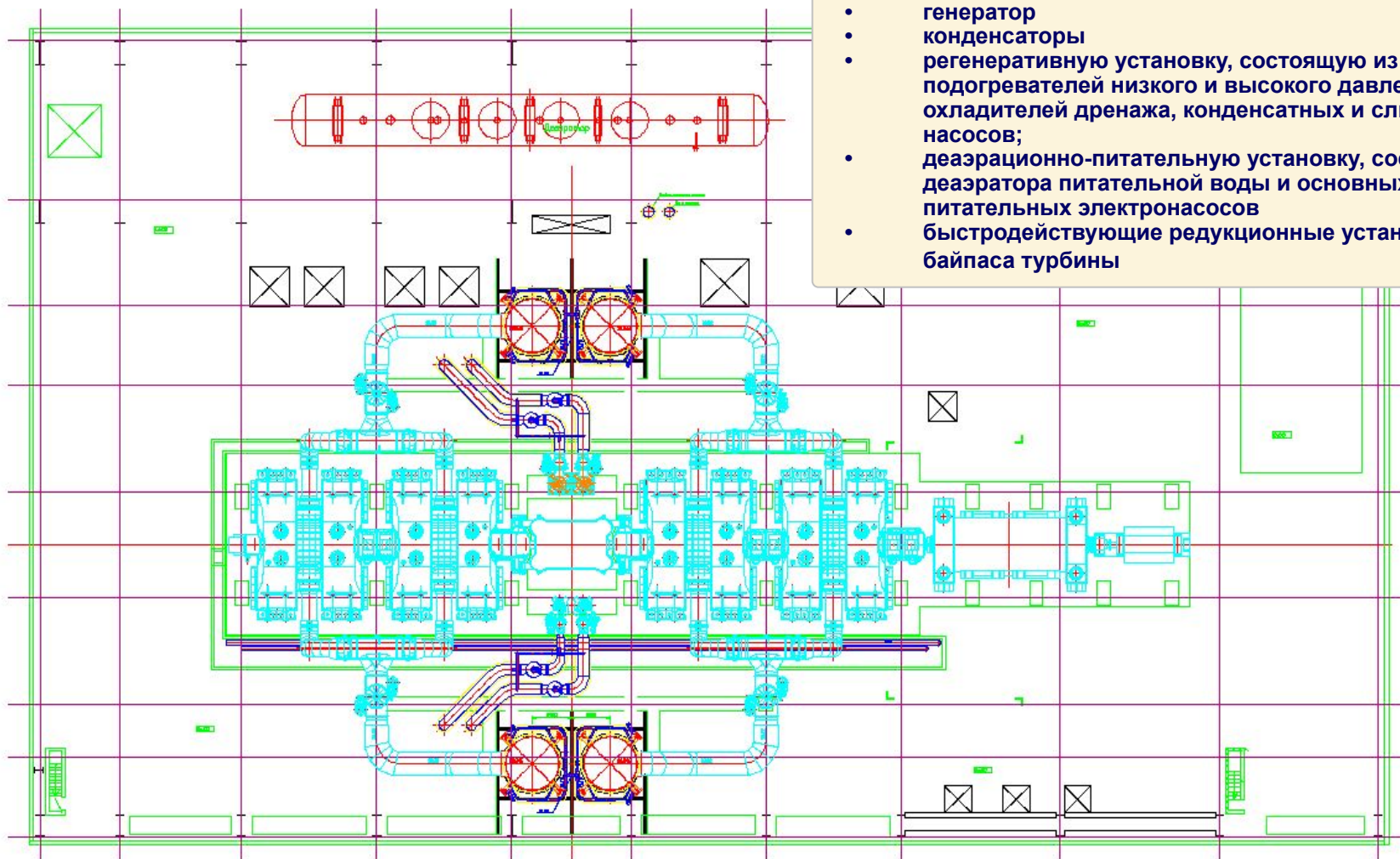


- Простая, компактная и надежная конструкция из нержавеющей стали, обладающая высокой эффективностью влагоудаления при высоких значениях скорости рабочей среды;
- Удаляет из потока влажного пара 80...95% влаги;
- Увеличивает сроки эксплуатации оборудования за счет предотвращения коррозии и эрозии;
- Встраивается в трубопровод в вертикальном положении.

## Машинный зал турбоустановки. План на отметке 16,00 м

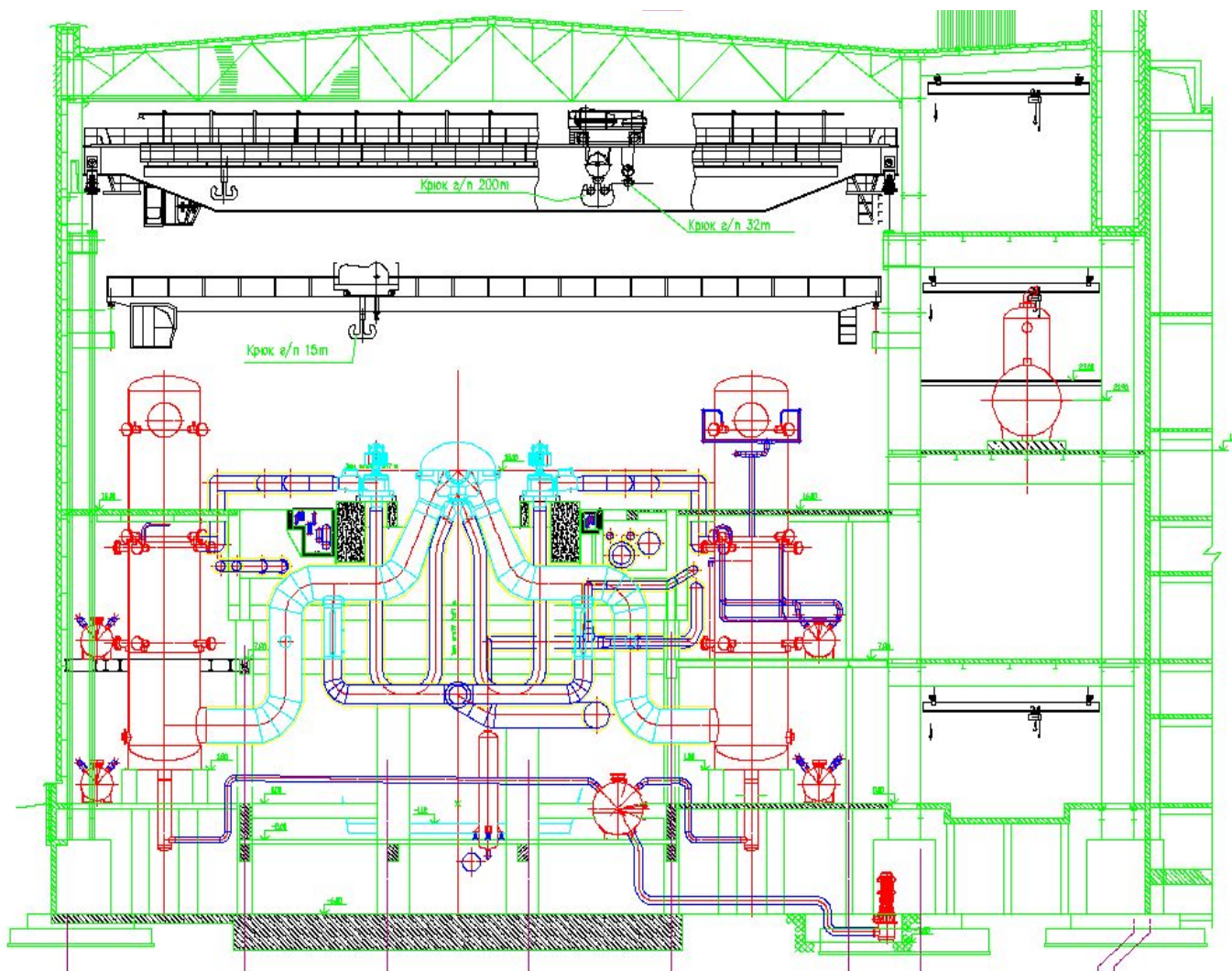
### Состав турбоустановки включает в себя:

- комплектную паровую турбину
- генератор
- конденсаторы
- регенеративную установку, состоящую из подогревателей низкого и высокого давления, охладителей дренажа, конденсатных и сливных насосов;
- деаэрационно-питательную установку, состоящую из деаэратора питательной воды и основных питательных электронасосов
- быстродействующие редукционные установки (БРУ-К) байпаса турбины





## Машинный зал турбоустановки. Разрез по ЦВД



Четыре СПП, вертикального типа, расположены по обе стороны турбины симметрично от оси турбины. ПНД-1 в четырех корпусах, горизонтального типа, располагается в переходном патрубке конденсатора.

ПНД-2 вертикальный, смешивающего типа, опирается на оперативную отметку плюс 7,800м.

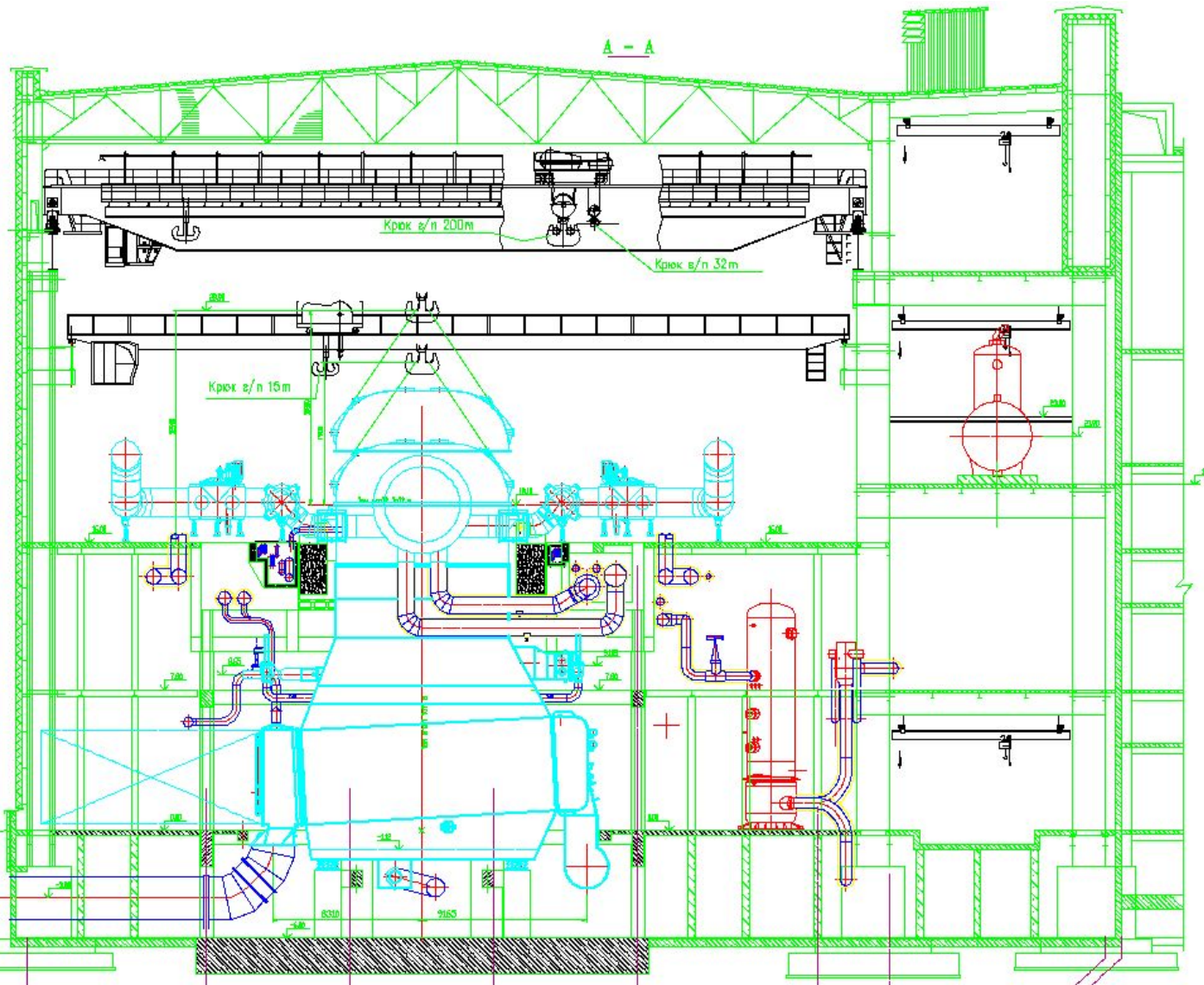
ПНД-3 вертикальный, поверхностного типа, опирается на перекрытие на отметке плюс 1,700.

ПНД-4 поверхностный, вертикального типа, опирается на перекрытие на отметке плюс 1,700.

ПВД-5 и 6 двухкорпусные, вертикального типа, опираются на перекрытие на отметке плюс 1,700.

Маслобаки систем смазки, регулирования турбины и системы управления БРУ-К располагаются в изолированных помещениях.

## Машинный зал турбоустановки. Разрез по ЦНД



Турбина устанавливается на виброизолированном фундаменте. Турбоустановка размещается в турбинном отделении шириной 51м, длиной 102м. (Габариты здания турбины могут быть уточнены на последующих этапах проектирования).

Отметка конденсационного пола 0,000м. Отметка подвала здания турбины – минус 6,000м. Отметка обслуживания турбины – плюс 16,000 м.

Деаэратор располагается в отдельной ячейке на отметке плюс 19,200м.

Конденсаторы располагаются под цилиндрами низкого давления.

## ОАО «Силовые машины»:

- разрабатывает, изготавливает и поставляет новые высокоэкономичные и надёжные быстроходные паровые турбины мощностью 1200 МВт для АЭС;
- предлагает оборудование российского производства, его послепродажный инжиниринг и модернизацию с целью улучшения технико-экономических показателей;
- предполагает дальнейшее усовершенствование турбоустановки на основе НИР и ОКР в сотрудничестве с ведущими отраслевыми российскими институтами: ВНИИАМ, МЭИ, ВТИ, СПб ГТУ, ЦКТИ, ЦНИИ КМ «Прометей», ЦНИИТМАШ и др.;
- увеличивает объем поставки оборудования машзала в соответствии с требованиями Заказчика и Генподрядчика;
- модернизирует собственное производство со строительством новой площадки, что обеспечивает возможность расширения номенклатуры оборудования собственного производства;
- располагает мощной проектно-конструкторской и научно-исследовательской и производственной базой для проектирования и изготовления конкурентоспособных быстроходных турбин большой мощности для АЭС.



# Спасибо за внимание

