



СИЛОВЫЕ МАШИНЫ

созидающая энергия

**Новые проекты паровых турбин
ОАО «Силовые машины» для АЭС**

Санкт-Петербург, 2011

1. Опыт ОАО «Силовые машины» в создании мощных быстроходных паровых турбин для АЭС.
2. Современные паровые турбины для работы в блоке с ВВЭР-1000, БН-600 и БН-800, изготовленные и спроектированные ОАО «СМ» для зарубежных и российских АЭС.
3. Тихоходная паровая турбина 1200 МВт для АЭС - новый продукт ОАО «Силовые машины».
4. Модернизации паровых турбин для АЭС.
5. Модернизация конденсаторов паровых турбин АЭС.
6. Заключение.



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

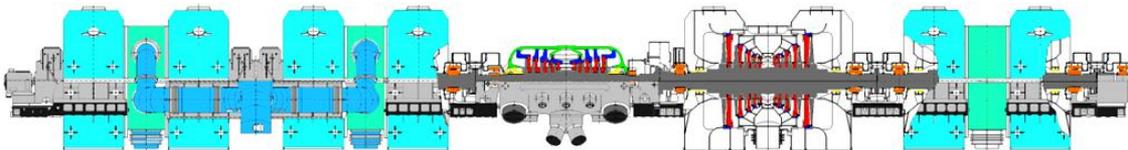


№	Турбина	Место установки		Мощность, МВт	Год ввода	Примечание
	Тип	Наименование станции	страна			
1	K-200-130	Белоярская АЭС ст. № 1	СССР (Россия)	210	1980	
2	K-200-130	Белоярская АЭС ст. № 2	СССР (Россия)	210	1980	
3	K-200-130	Белоярская АЭС ст. № 3	СССР (Россия)	210	1980	
4	K-1000-60/3000	Ровенская АЭС ст. № 1	СССР (Украина)	1012	1986	
5	K-1000-60/3000	Ровенская АЭС ст. № 2	СССР (Украина)	1012	2005	
6	K-1000-60/3000	Хмельницкая АЭС ст. № 1	СССР (Украина)	1012	1987	
7	K-1000-60/3000	Хмельницкая АЭС ст. № 2	СССР (Украина)	1012	2004	
8	K-1000-60/3000	Южно-Украинская АЭС	СССР (Украина)	1012	1989	
9	K-1000-60/3000	Крымская АЭС	СССР (Украина)	998		Не смонтирована
10	K-1000-60/3000	Калининская АЭС ст. № 3	СССР (Россия)	1012	2005	
11	K-1000-60/3000	АЭС Тяньвань ст. № 1	Китай	1060	2006	
12	K-1000-60/3000-3	АЭС Бушер ст. № 1	Иран	1014	2008	Монтаж закончен
13	K-1000-60/3000	АЭС Тяньвань ст. № 2	Китай	1060	2007	
14	K-1000-60/3000-2	АЭС Куданкулам ст. № 1	Индия	995	2008	В монтаже
15	K-1000-60/3000-2	АЭС Куданкулам ст. № 2	Индия	995	2009	В монтаже
17	K-800-130/3000	Белоярская АЭС, блок №4	Россия	800	2011	В изготовлении
18	K-1200-6,8/50	Нововоронежская АЭС-2 (Блок 1 и 2)	Россия	1198,8	2012, 2013	В изготовлении
19	K-1200-6,8/50	Ленинградская АЭС-2 (Блок 1 и 2)	Россия	1198,8	2013, 2014	В изготовлении
20	K-1000-60/300	АЭС «Белене»	Болгария	1040	2014	Технический проект

ОАО «Силловые машины» имеют 30 летний опыт проектирования и эксплуатации конкурентоспособных мощных паровых турбин для АЭС

Новые проекты паровых турбин ОАО «Силловые машины» для АЭС

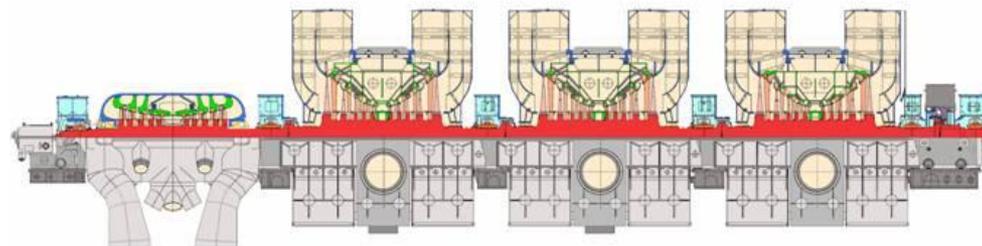
Паровая турбина К-1000-60/3000 для АЭС «Тянь Вань» (Китай)



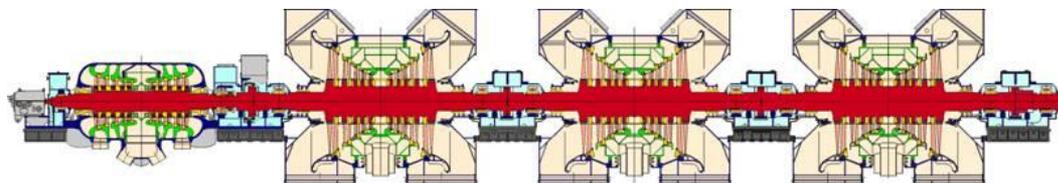
Начальное давление пара, МПа	5,88
Начальная температура пара, °С	274,3
Давление промперегрева, МПа	0,5
Температура промперегрева (перед ЦНД), °С	250
Температура охлаждающей воды, °С	18
Длина РЛ последних ступеней ЦНД, мм	1200

Паровая турбина К-1000-60/3000-3 для АЭС «Бушер» (Иран)

Начальное давление пара, МПа	5,88
Начальная температура пара, °С	274,3
Давление промперегрева, МПа	0,752
Температура промперегрева (перед ЦНД), °С	250
Температура охлаждающей воды, °С	28
Длина РЛ последних ступеней ЦНД, мм	1200



Паровая турбина К-1000-60/3000-2 АЭС «Куданкулам» (Индия)

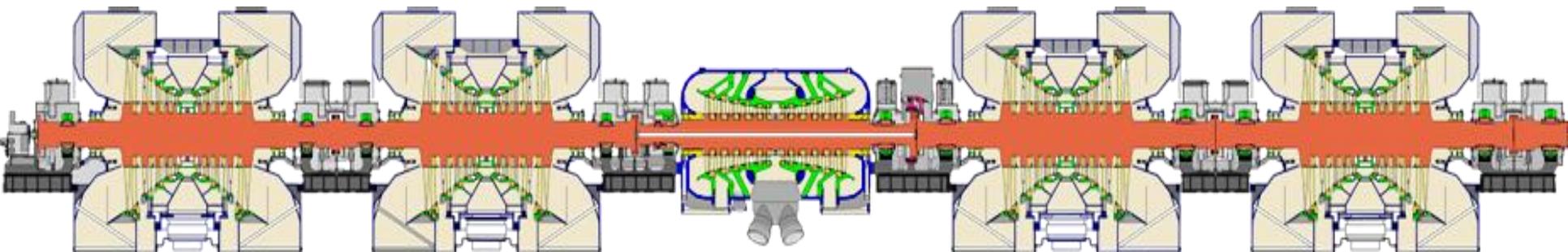


Начальное давление пара, МПа	5,88
Начальная температура пара, °С	274,3
Давление промперегрева, МПа	0,735
Температура промперегрева (перед ЦНД), °С	250
Температура охлаждающей воды, °С	31
Длина РЛ последних ступеней ЦНД, мм	1200

Паровая турбина К-1200-6,8/50 для проекта «АЭС-2006»

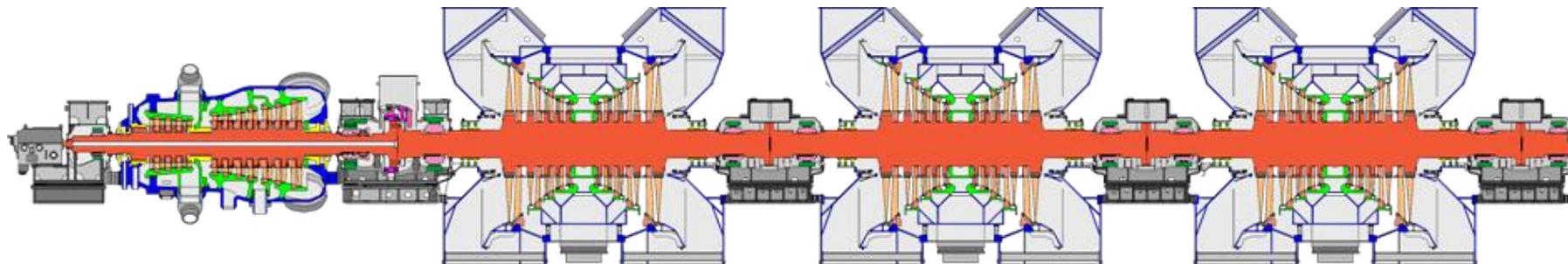
Начальное давление пара, МПа 6.8
Начальная температура пара, °С 283,8
Температура охлаждающей воды, °С 20

*Максимальная
теплофикационная нагрузка, Гкал/ч* 250
Длина РЛ последних ступеней ЦНД, мм 1200

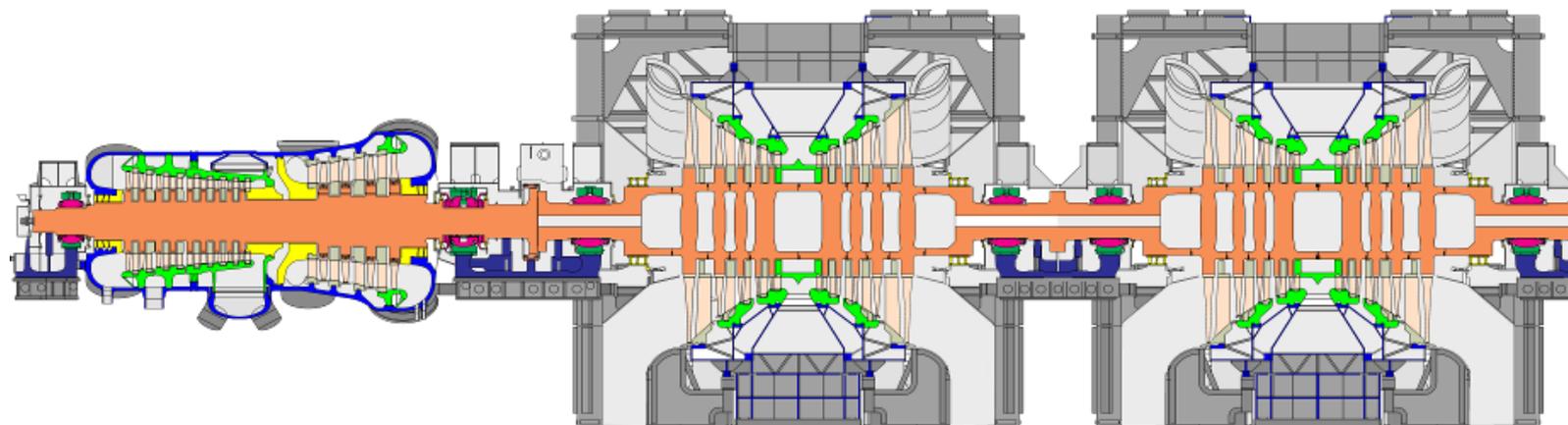


Паровая турбина К-800-130/3000 для энергоблока №4 Белоярской АЭС

Начальное давление пара, МПа 12,8
Начальная температура пара, °С 485
Длина РЛ последних ступеней ЦНД, мм 1200



Тихоходная паровая турбина 1200 МВт для АЭС – новый продукт ОАО «Силловые машины»



Возможность достижения большой
единичной мощности:

до 1750 МВт
(>1200 МВт для проекта «АЭС 2006»)

Первый вариант:
лопатка последней ступени длиной 1760 мм

обеспечивает необходимую площадь
выхлопа с минимальным количеством ЦНД

Второй вариант:
лопатка последней ступени длиной 1450 мм

обеспечивает оптимальную площадь
выхлопа для условий ухудшенного вакуума

Высокая эффективность

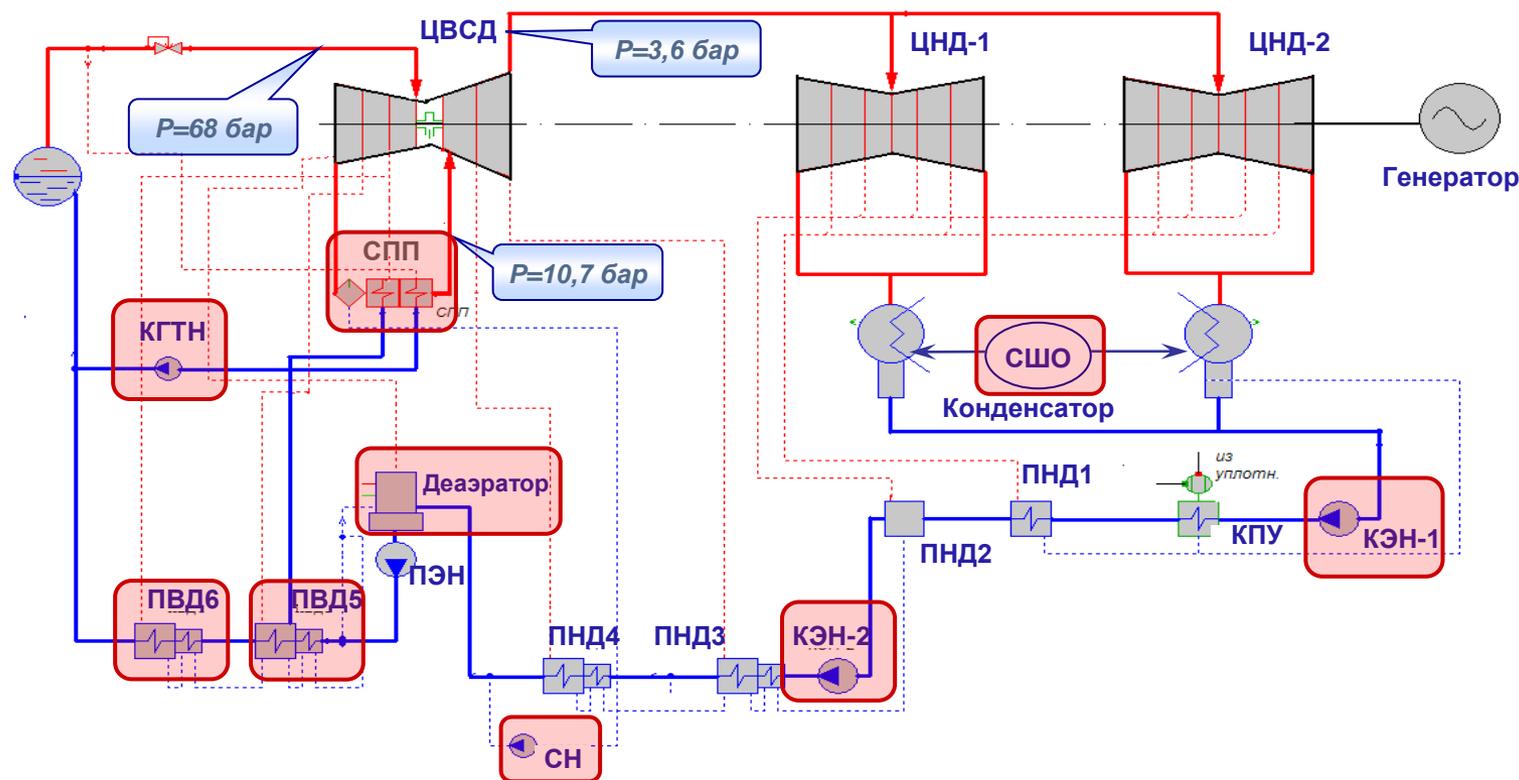
КПД > 37 %

Высокая надежность

коэффициент готовности более 99%

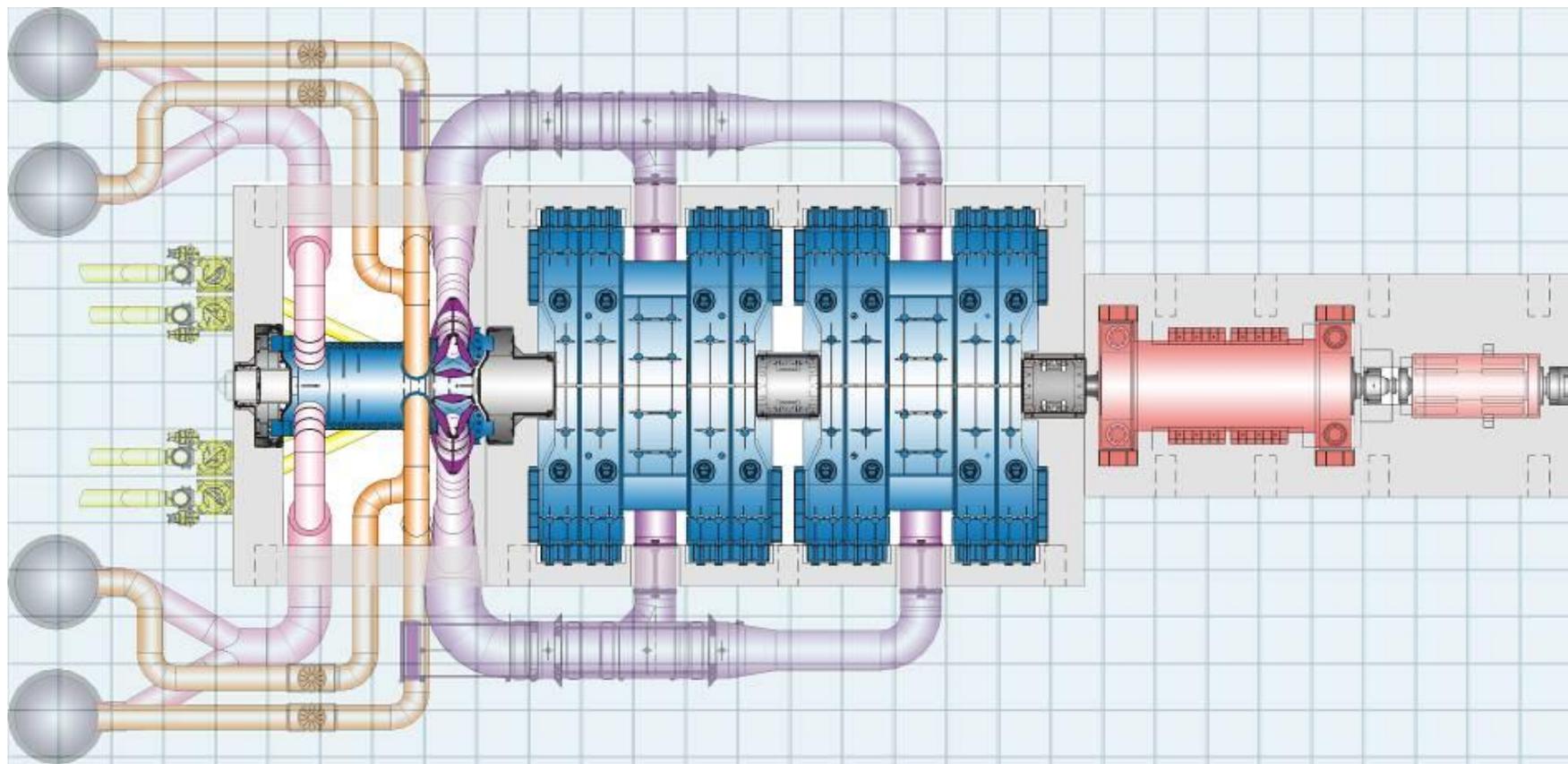
Оптимальная металлоёмкость

Низкие суммарные затраты на эксплуатацию
Оптимальные капитальные затраты в
зависимости от условий станции
Конкурентоспособная себестоимость
оборудования



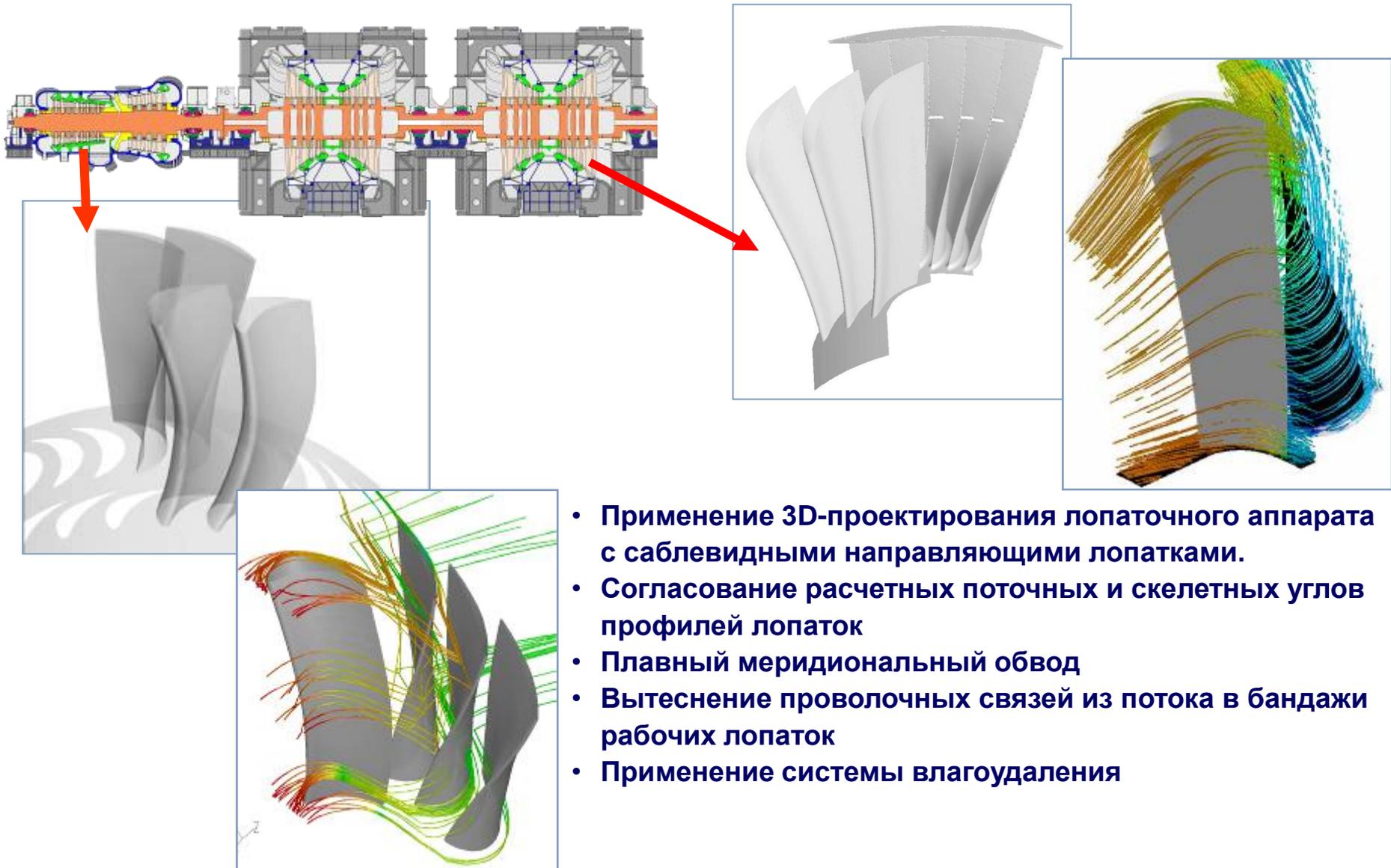
Особенности разработки тепловой схемы:

- Схема регенерации использует решения, применяемые на быстроходных агрегатах 1000 МВт, имеющих положительную референцию;
- Тепловая схема турбоустановки оптимизируется с учетом конкретных условий на АЭС;
- Возможность организации дополнительных отборов пара на теплофикацию или другие нужды.



Компактное расположение оборудования:

- Турбина - ЦВСД и 2 ЦНД;
- Генератор с водородно-водяным охлаждением;
- СП в вертикальном исполнении с нижним расположением сепарационной части с двумя ступенями перегрева;
- Основные подводящие и отводящие трубопроводы расположены под полом машзала;
- Наличие достаточного места для раскладки узлов и деталей в процессе ремонта.

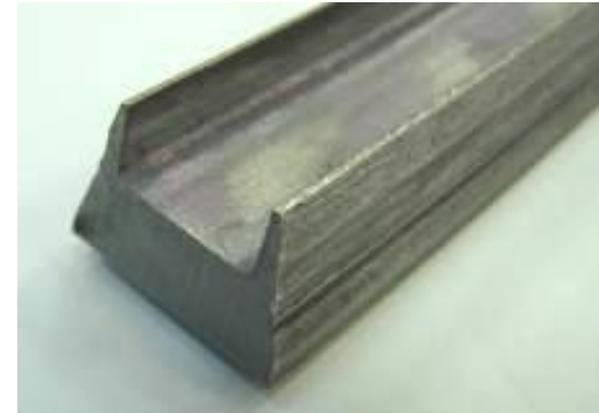


- Применение 3D-проектирования лопаточного аппарата с саблевидными направляющими лопатками.
- Согласование расчетных поточных и скелетных углов профилей лопаток
- Плавный меридиональный обвод
- Вытеснение проволоочных связей из потока в бандажии рабочих лопаток
- Применение системы влагоудаления

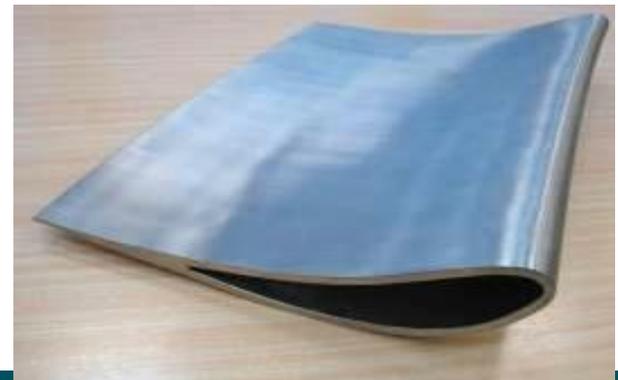
**Надбандажные уплотнения
«сотового» типа для установки
взамен существующих вставок X6**



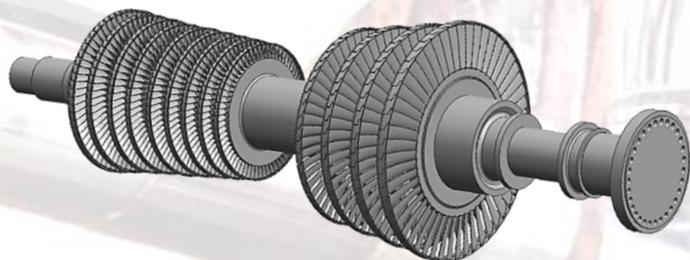
**Надбандажные уплотнения из
новых металлокерамических
материалов взамен
существующих вставок X6**



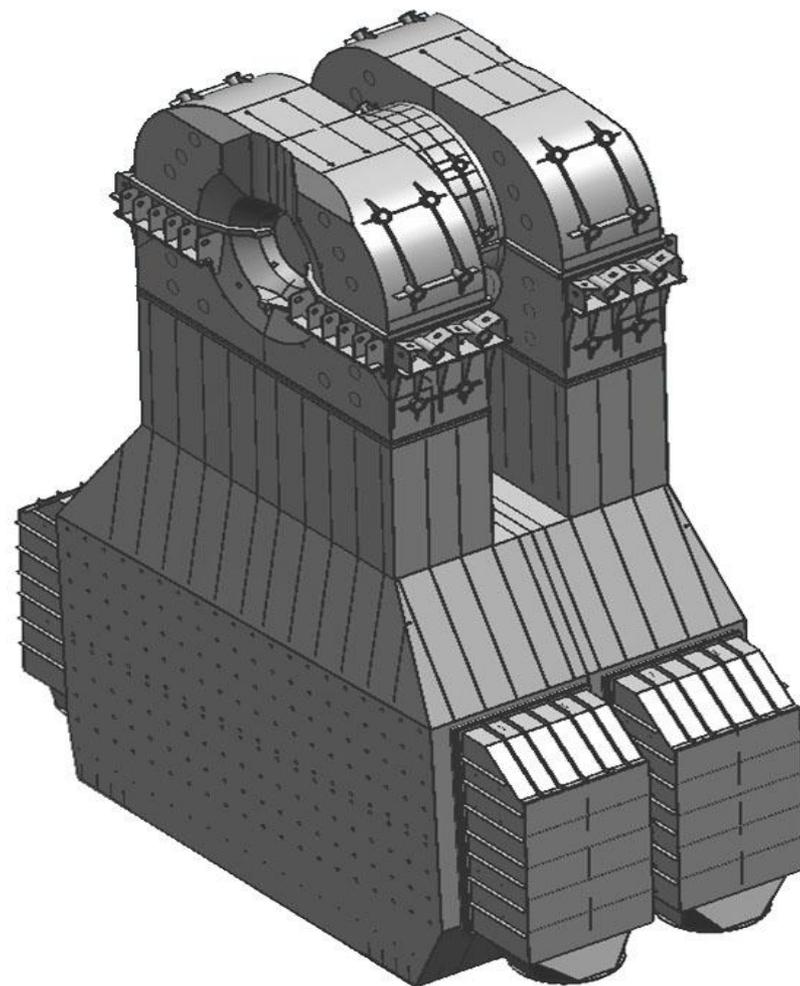
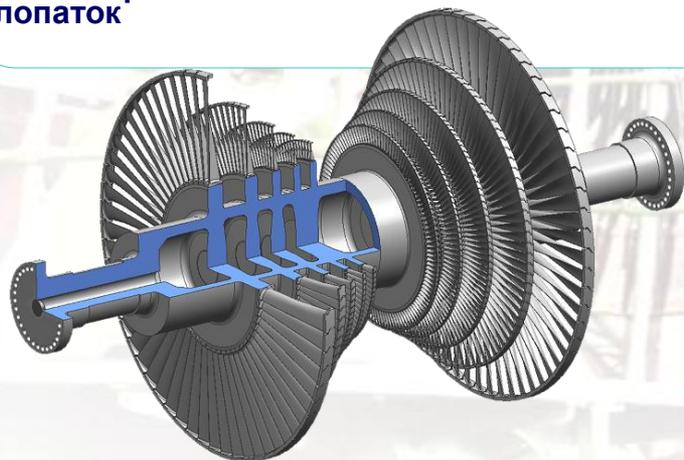
**Применение полых направляющих
лопаток**



- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Конструктивное исполнение | – сварной или цельнокованый |
| Тип облопачивания | – активный |
| Хвосты рабочих лопаток 1-9 ст. | – Т-образные |
| Хвосты 10-13 ст. | – вильчатые |



- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Конструктивное исполнение | – сварной |
| Тип облопачивания | – активный (5 ст. лев + 5 ст. прав) |
| Хвосты рабочих лопаток | – ёлочного типа |



Модель ЦНД с конденсатором
Твердотельное моделирование для газодинамических и прочностных расчетов

Применение огнестойкого масла – решение проблемы пожарной безопасности АЭС



Огнестойкие масла в паровых турбинах ОАО «СМ»

ОМТИ
Россия

Reolube-OMTI
USA

Fyrquel-L
USA

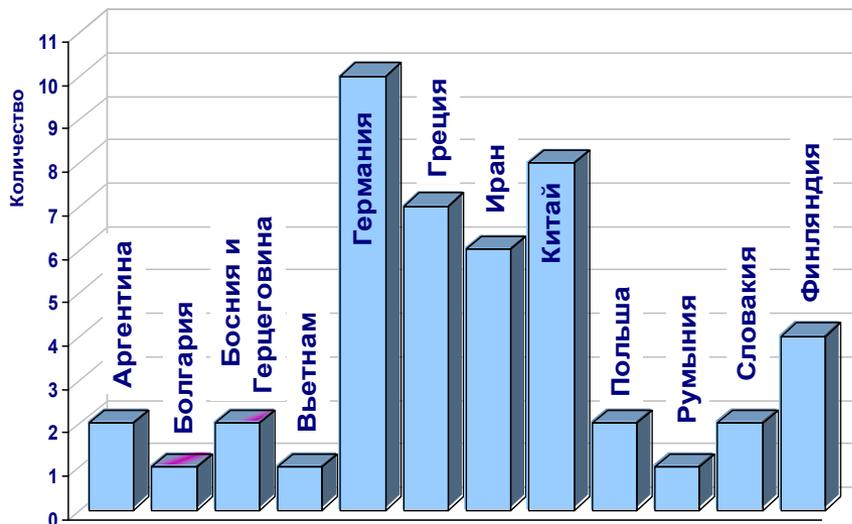
Сравнительные характеристики минеральных и огнестойких масел

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

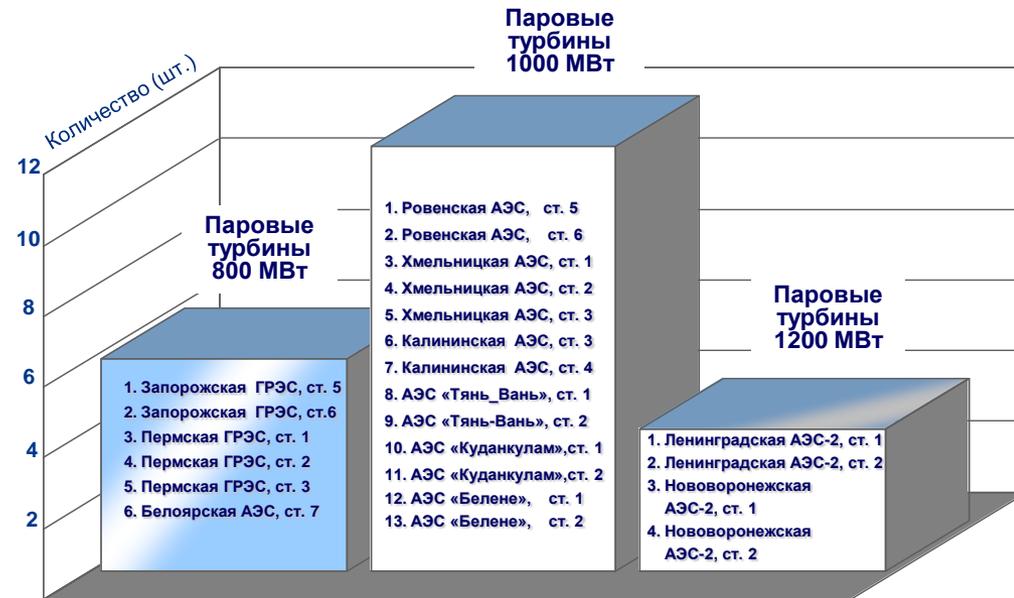
Внедрено на АЭС:

- К-1000-60/3000, Ровенская АЭС, Украина
- К-1000-60/3000, Хмельницкая АЭС, Украина
- К-1000-60/3000, Южно Украинская АЭС, Украина
- К-1000-60/300, Калининская АЭС, Россия
- К-1000-60/3000, АЭС «Тяньвань», Китая

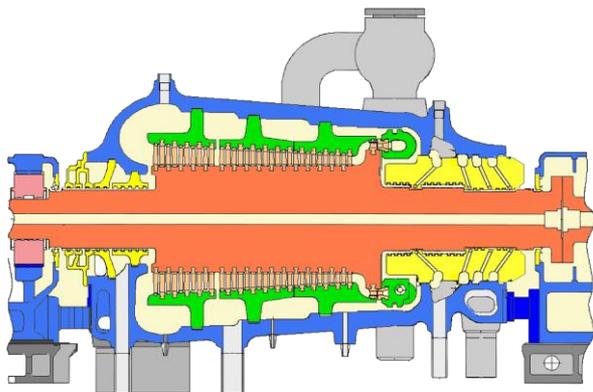
Системы регулирования на огнестойком масле в паровых турбинах ЛМЗ (1963 – 2009)



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



Модернизация паровой турбины К-200-130 Белоярской АЭС



Частичная замена облопачивания

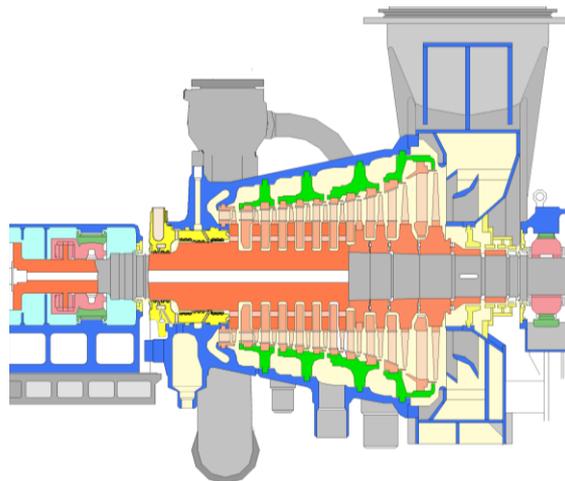
Замена 1-4 ступеней

$\Delta N = 3,0 - 3,5$ МВт

**Полная замена облопачивания
на проточную часть
с реактивным облопачиванием**

Увеличение расхода свежего пара до
700т/ч

$\Delta N = 5,0 - 6,0$ МВт



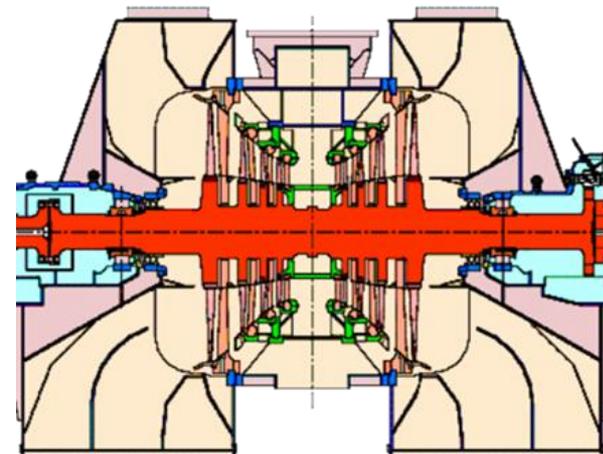
Частичная замена облопачивания

Замена 1-3, 10, 11 ступеней

$\Delta N = \text{до } 1,0 - 1,5$ МВт

**Полная замена проточной части с
применением нового
цельнокованого РСД**

$\Delta N = \text{до } 2,5$ МВт



Частичная замена облопачивания

Замена ступени Баумана
(2х последних ступеней)

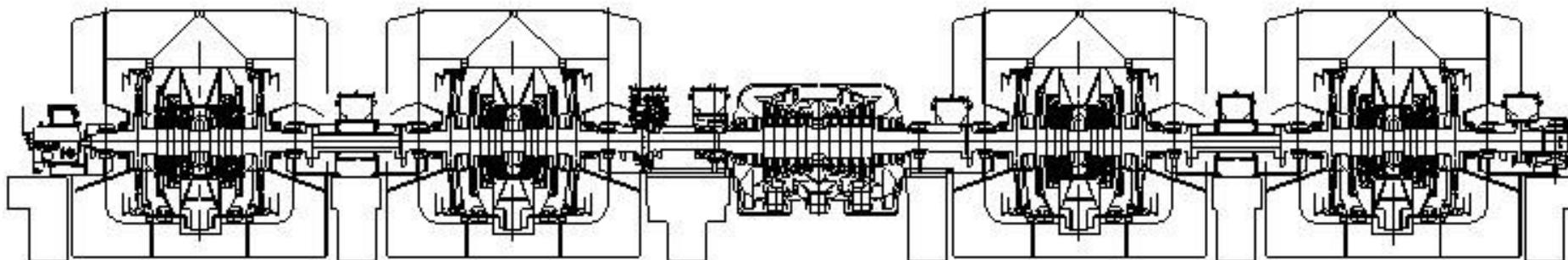
$\Delta N = \text{до } 5$ МВт

**Полная замена проточной части
с применением нового
цельнокованого РНД**

$\Delta N = 4,0 - 8,0$ МВт

Модернизации паровых турбин для АЭС

Модернизация паровой турбины К-500-65/3000, ЛАЭС



Модернизация ЦВД

- Замена проточной части;
- Цельнокованный РВД;
- Цельнофрезерованные бандажи рабочих лопаток

$\Delta N_{\text{ЦВД}} = +19 \text{ МВт}$

Модернизация ЦНД

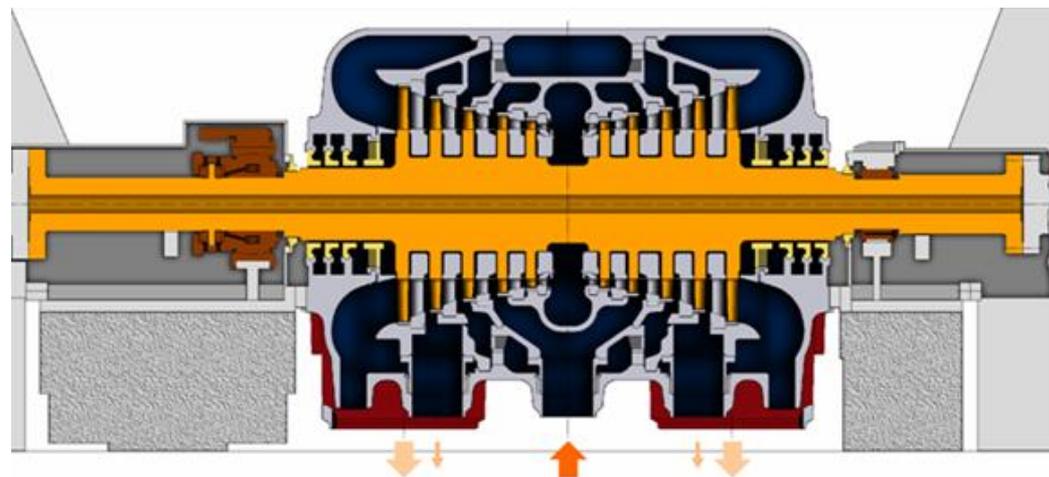
- Замена проточной части;
- Направляющие лопатки 1-4 ст. выполнены с переменным тангенциальным навалом;
- Цельнокованный РНД

$\Delta N_{\text{ЦНД}} = +22 \text{ МВт}$

Модернизация ЦВД+ЦНД

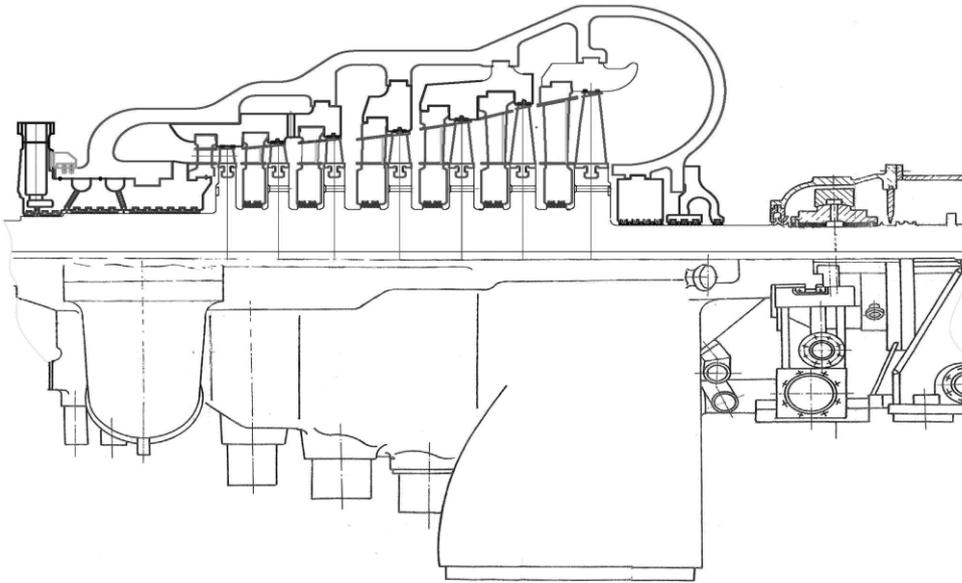
$\Delta N = +41 \text{ МВт}$

Модернизированный ЦВД



Модернизация п/т К-220-44 АЭС «Ловиза»

Модернизация ЦВД п/т К-220-44 АЭС «Ловиза»



Объем модернизации:

- модернизация проточной части ЦВД
- замена ротора ВД
- доработка наружного корпуса ЦВД
- доработка крышки переднего подшипника
- модернизация стопорных и регулирующих клапанов ВД
- установка высокогерметичных уплотнений штоков клапанов

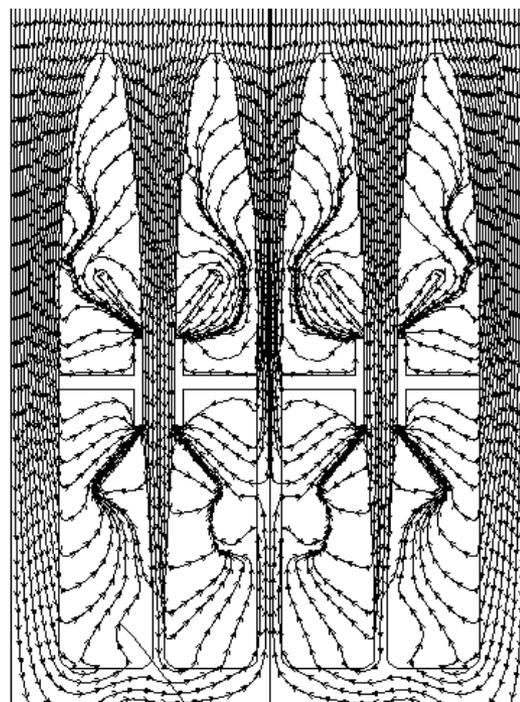
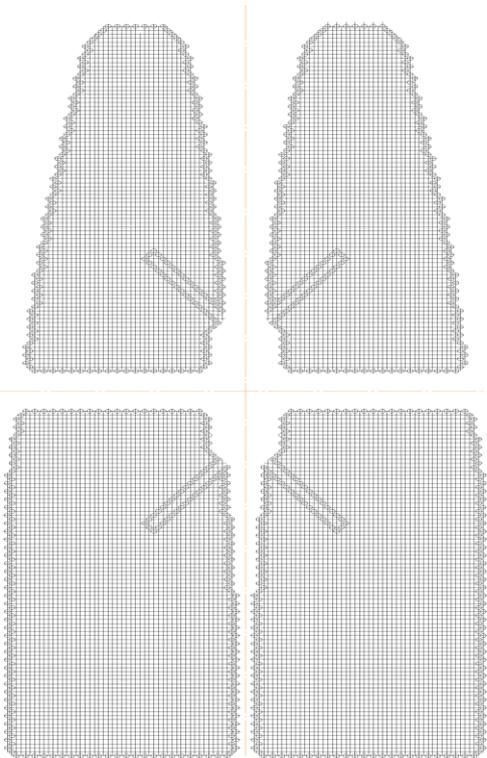
<i>Расход пара, т/ч</i>	2906
<i>Начальное давление пара, МПа</i>	6,37
<i>Начальная температура пара, °С</i>	280
<i>Температура питательной воды, 0С</i>	167
<i>Давление в конденсаторе, МПа</i>	0,039

Эффект модернизации:

- увеличение мощности турбины на 22,2 МВт при увеличении тепловой мощности реактора на 50 МВт(т) на турбину
- повышение надежности

Модульная компоновка трубного пучка применяемая ОАО «Силловые машины» «ЛМЗ».

Распределение линий тока в модульных компоновках трубных пучков ОАО «Силловые машины» «ЛМЗ»



Совершенствование конденсаторов осуществляется на основе:

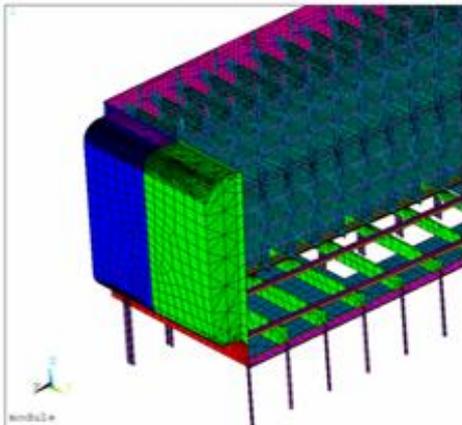
- расчетно-экспериментальных разработок;
- конструкторско-технологических решений;
- использования опыта эксплуатации турбоустановок;
- проектирование оборудования, с проведением всех необходимых расчётов включая выбор оптимальной поверхности теплообмена и расчётов на прочность и сейсмостойкость;

Блочная конструкция конденсатора

Позволяет сократить время монтажа и обеспечить высокое качество обварки трубок

- Реализованные проекты:
 - К-1000-60/1500 АЭС «Козлодуй» (Болгария) бл.№5 2003год
 - К-1000-60/1500 АЭС «Козлодуй» (Болгария) бл.№6 2004год
 - К-1000-60/1500 Волгодонская АЭС бл.2
- Разрабатываемые проекты:
 - К-1000-60/1500 Южно Украинская АЭС (Украина) бл.3
 - К-1000-60/1500 Запорожская АЭС (Украина) бл.1-4

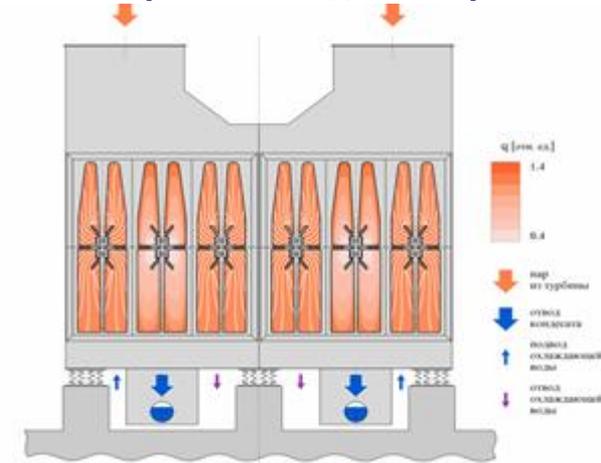
Расчет на прочность элементов конденсатора (ANSYS)



Сварка трубок в трубных досках



Тепловой расчет конденсаторов



Доставка на АЭС модулей конденсаторов повышенной готовности

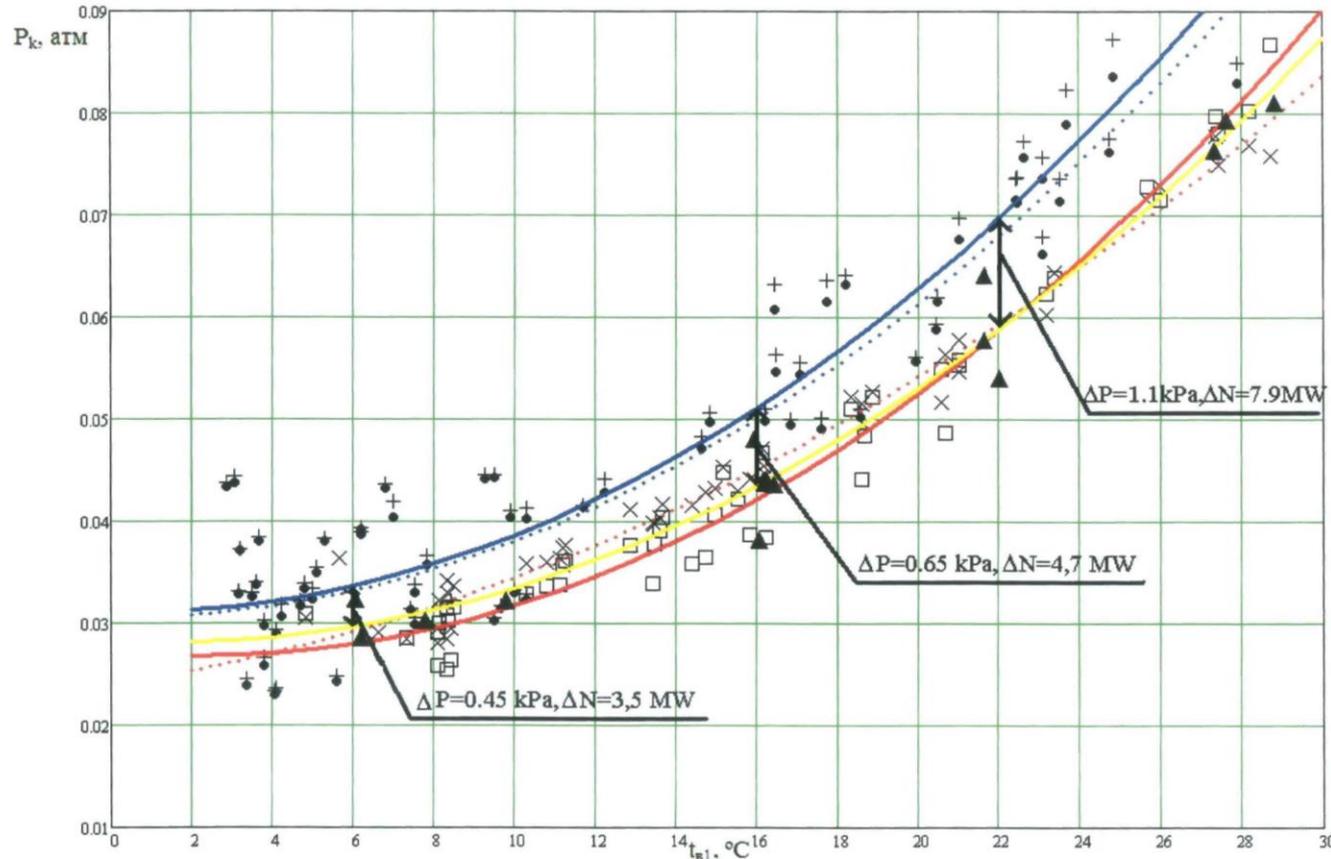


Фактические результаты модернизации АЭС Козлодуй (Болгария)



"Утверждаю"
Руководитель управления
по эксплуатации АЭС «Козлодуй»

27.01.2010 Цанко Бачийски



Зависимость давления (P_k) в конденсаторе турбины К-1000-60/1500-2 АЭС Козлодуй от температуры охлаждающей воды (t_{b1}) до и после модернизации в соответствии с данными, снятыми с УВС блоков №№ 5,6

- кривая зависимости до модернизации, учитывая поправку к мощности (+)
- кривая зависимости после модернизации, учитывая поправку к мощности (□)
- ⋯ кривая зависимости до модернизации, не учитывая поправку к мощности (•)
- ⋯ кривая зависимости после модернизации, не учитывая поправку к мощности (×)
- кривая зависимости после модернизации и установки расходомеров

ОАО «Силовые машины»:

- предлагает высокоэкономичные и надежные паровые турбины для АЭС с различными типами реакторов мощностью от 150 до 1750 МВт;
- модернизирует собственное производство со строительством нового завода, с закупкой новой технологической базы, что обеспечивает возможность расширения номенклатуры изготавливаемого оборудования;
- имеет передовой опыт модернизации конденсатора в условиях действующей станции в период капитального ремонта, с подтверждением гарантийных характеристик конденсатора;
- значительно расширили перечень предлагаемого Заказчикам комплектующего оборудования машзала (модульные конденсаторы, системы регулирования, теплообменные аппараты и др.), инженерных услуг (модернизация, наладка, запчасти);
- предлагает современное оборудование, с обеспечением последующего инжиниринга и модернизации с целью дальнейшего повышения мощности, надежности и экономичности.

Спасибо за внимание

