



# СИЛОВЫЕ МАШИНЫ

созидающая энергия



Турбогенератор мощностью 1200 МВт  
ОАО «Силовые машины» Завод «Электросила»  
для атомных электростаций

# Турбогенераторы большой мощности для АЭС



	<b>Турбогенераторы серии ТВВ</b>	<b>Турбогенераторы серии ТЗВ</b>
Охлаждение обмотки статора	дистиллят	дистиллят
Охлаждение железа статора	водород	дистиллят
Охлаждение обмотки ротора	водород	дистиллят
Охлаждение конструктивных элементов (рёбра статора, щиты, концевые части)	водород	дистиллят

# **ПРЕИМУЩЕСТВА ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С ПОЛНЫМ ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ**



- **Исключение возможности взрыва и возгорания**
- Повышенная плотность и снижение вибрации сердечника**
- Высокая доступность внутренних элементов для осмотра и ремонта**
- Уменьшение габаритов и массы**
- Увеличение коэффициента полезного действия**
- Снижение уровня нагревов активных и конструктивных элементов**



## Референц-лист турбогенераторов типа ТЗВ

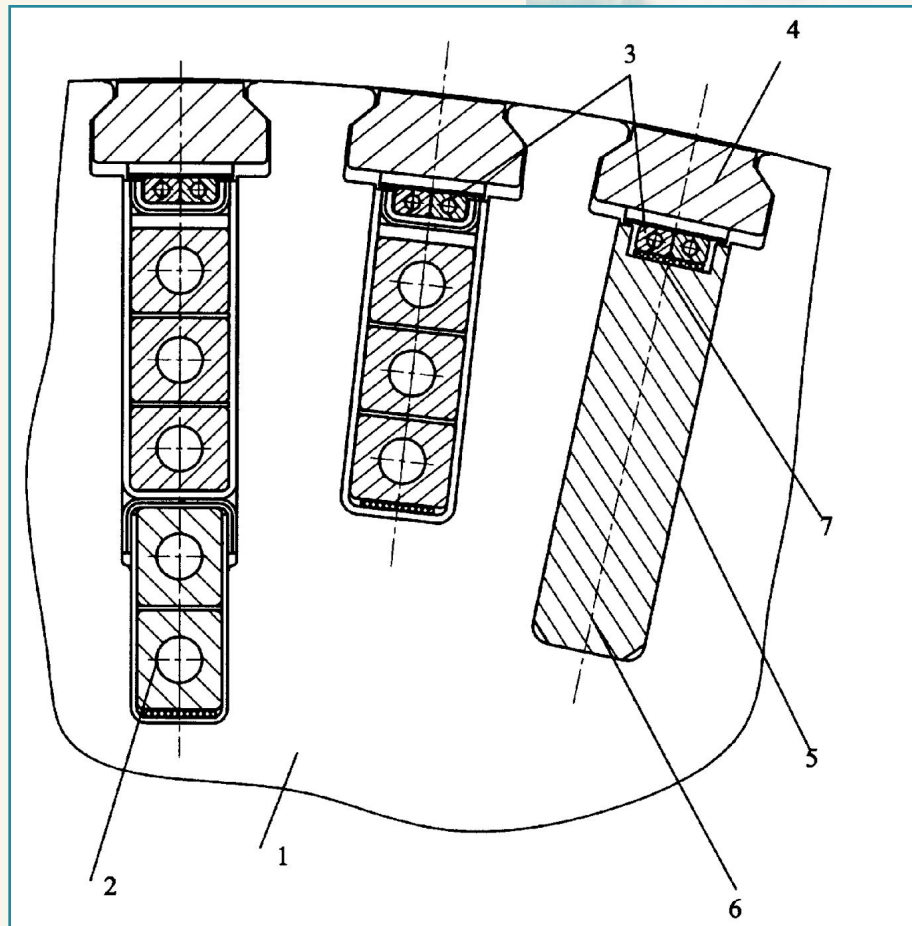
<b>№ п/п</b>	<b>Тип турбогенератора</b>	<b>Место установки</b>	<b>№ блока</b>	<b>Год изготовления</b>	<b>Год пуска</b>
1	ТЗВ-63-2УЗ	ТЭЦ № 2 Ленэнерго	2	1969	1970
2	ТЗВ-63-2УЗ	ТЭЦ № 2 Ленэнерго	5	1974	1975
3	ТЗВ-63-2УЗ	Рудненская ТЭЦ Кустанайэнерго	2	1977	1978
4	ТЗВ-63-2УЗ	Рудненская ТЭЦ Кустанайэнерго	1	1980	1981
5	ТЗВ-63-2УЗ	Рудненская ТЭЦ Кустанайэнерго	3	2001	2002
6	ТЗВ-110-2УЗ	ТЭЦ № 27 Мосэнерго	1	1995	1996
7	ТЗВ-220-2УЗ	ТЭЦ № 5 Ленэнерго		1998	2002
8	ТЗВ-320-2УЗ	Минская ТЭЦ № 5	1	1998	1999
9	ТЗВ-800-2УЗ	Рязанская ГРЭС	5	1980	1981
10	ТЗВ-800-2УЗ	Рязанская ГРЭС	6	1981	1982
11	ТЗВ-800-2УЗ	Пермская ГРЭС	1	1985	1986
12	ТЗВ-800-2УЗ	Пермская ГРЭС	2	1987	1987
13	ТЗВ-800-2УЗ	Пермская ГРЭС	3	1990	1990
14	ТЗВ-800-2УЗ	Талимарджанская ГРЭС	1	1991	2002
15	ТЗВ-890-2АУЗ	Белоярская АЭС	4	2010	
16	ТЗВ-1200-2АУЗ	Нововоронежская АЭС-2	1	2011	
17	ТЗВ-1200-2АУЗ	Ленинградская АЭС-2	1	2011	



# Турбогенератор ТЗВ-800-2У3 в машинном зале Пермской ГРЭС



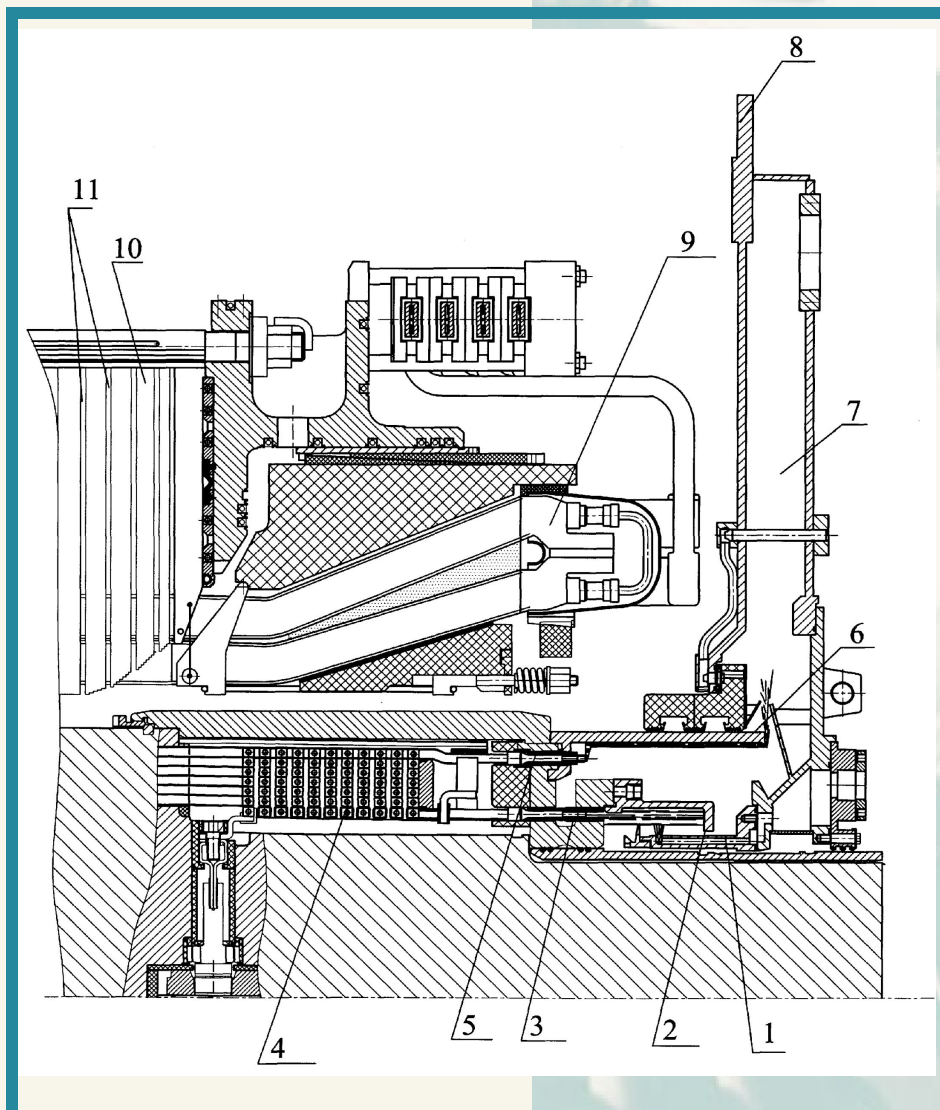
## Пазы ротора (поперечный разрез)



- 1 – вал ротора; 2 – полые медные проводники обмотки возбуждения;  
 3 – полые медные проводники демпферной обмотки; 4 – пазовые клинья;  
 5 – пазы на полюсах для выравнивания двойкой жесткости ротора;  
 6 – стальные вставки; 7 – стеклотекстолитовые прокладки.

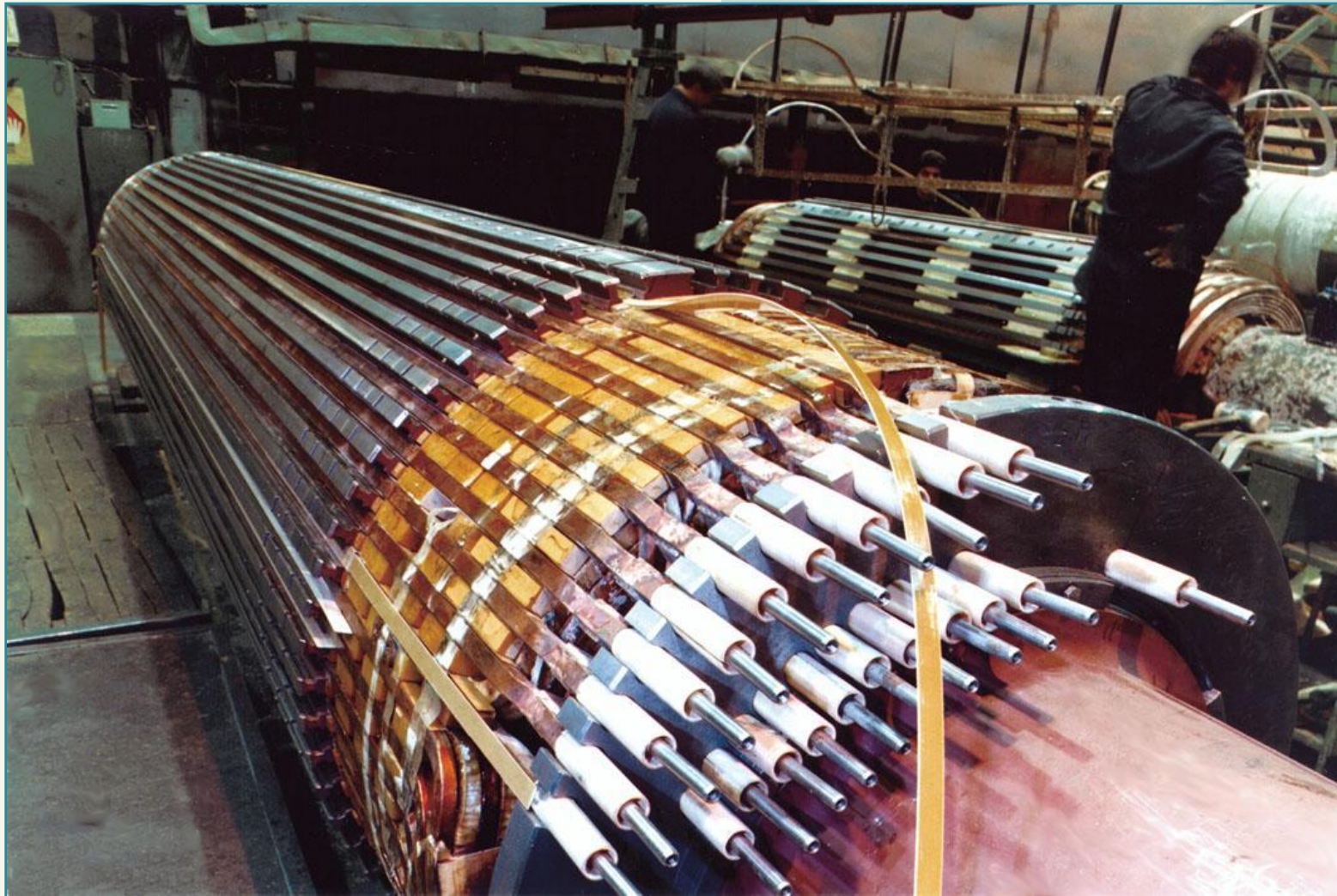


# Турбогенератор типа ТЗВ с полным водяным охлаждением (продольный разрез концевой части)



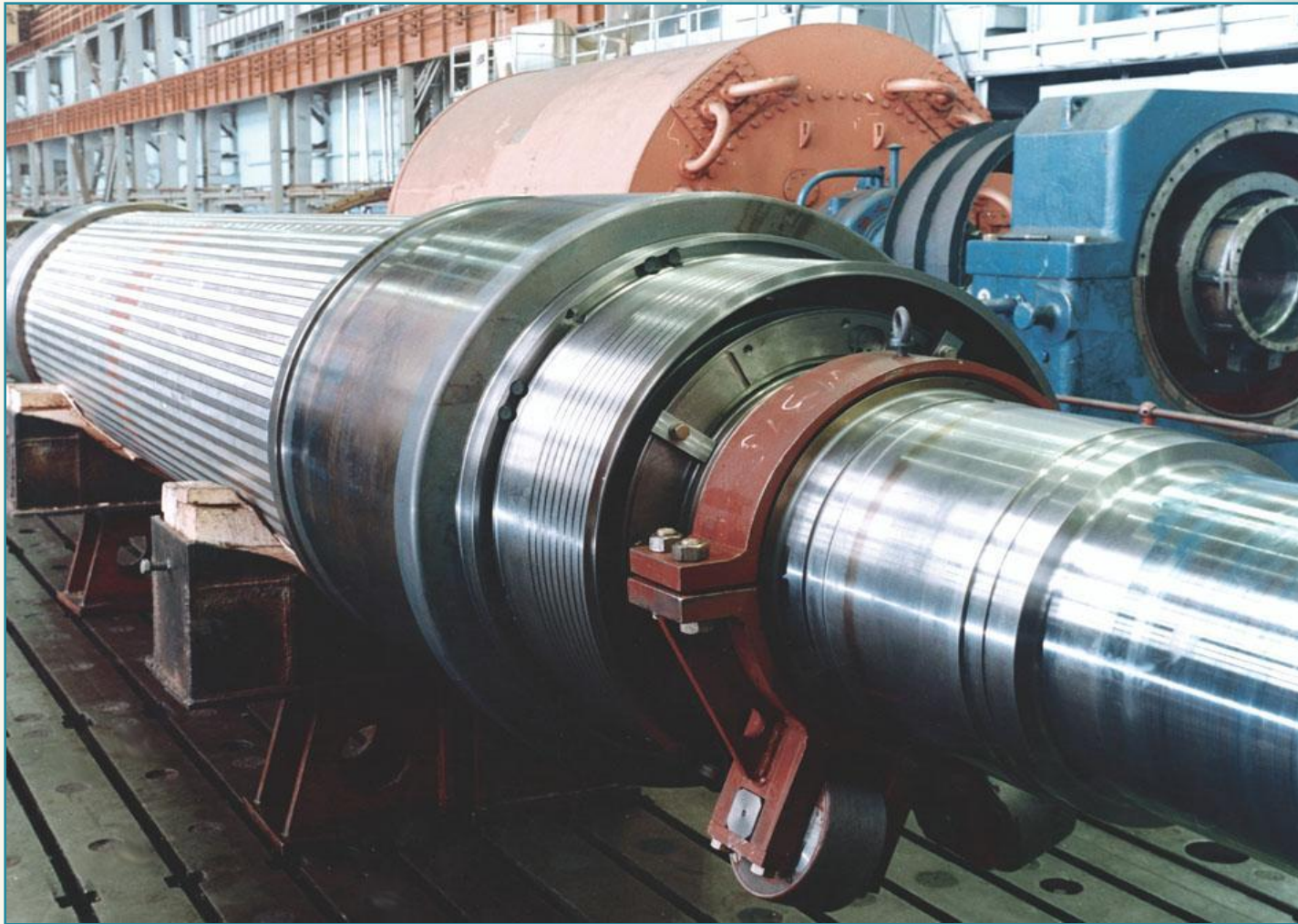
1 – неподвижный напорный коллектор; 2 – напорное кольцо; 3 – нижние выводы обмотки ротора; 4 – обмотка ротора; 5 – верхние выводы обмотки ротора; 6 – сливное кольцо; 7 – неподвижная камера слива; 8 – торцевой щит корпуса статора; 9 – лобовые части обмотки статора; 10 – сердечник; 11 – охладитель сердечника

# Турбогенератор ТЗВ-320-2УЗ. Ротор с обмоткой

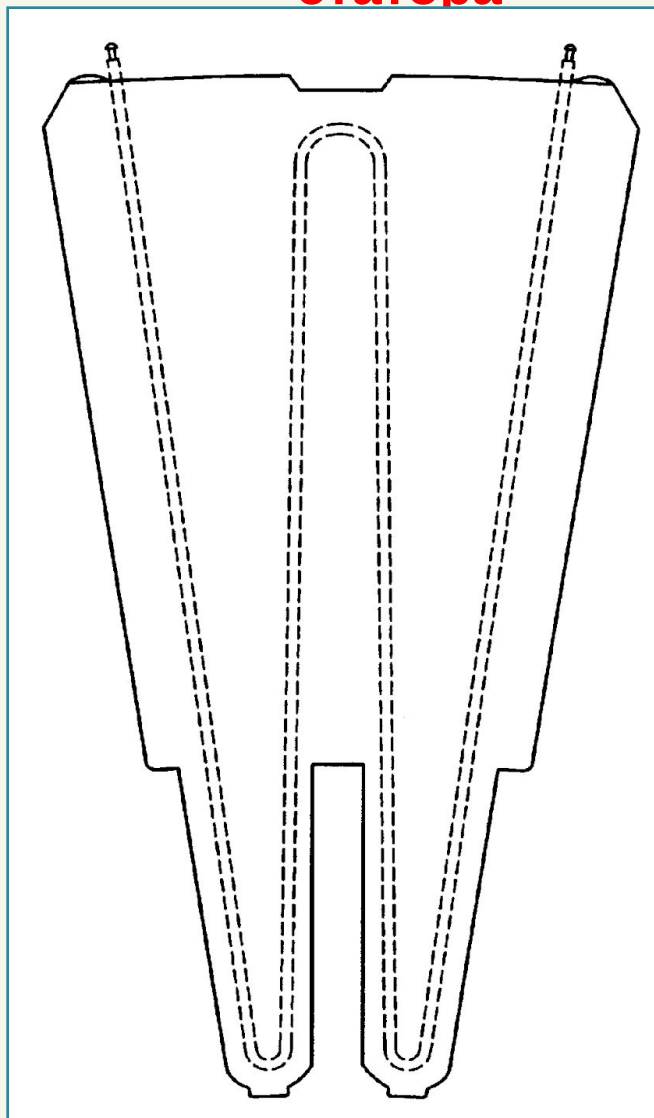




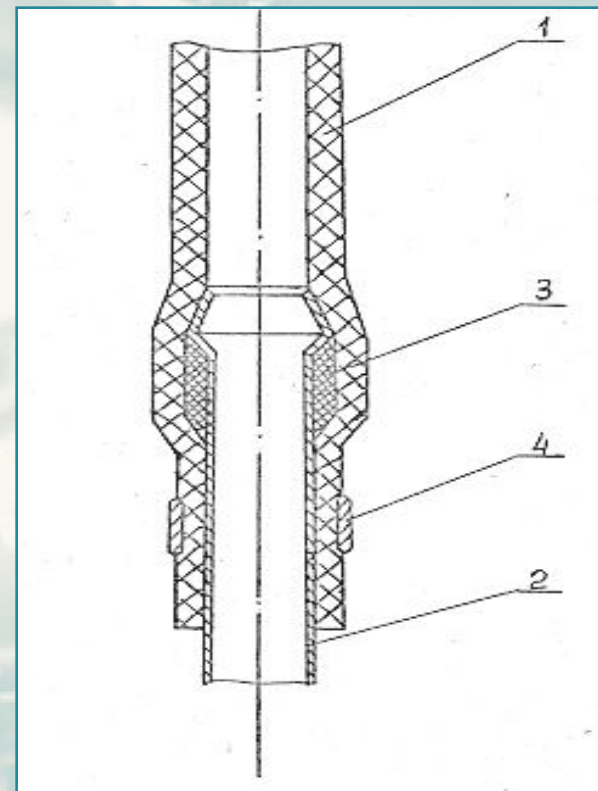
# Турбогенератор ТЗВ-320-2У3. Ротор перед заводкой в статор



## Охладитель сердечника статора

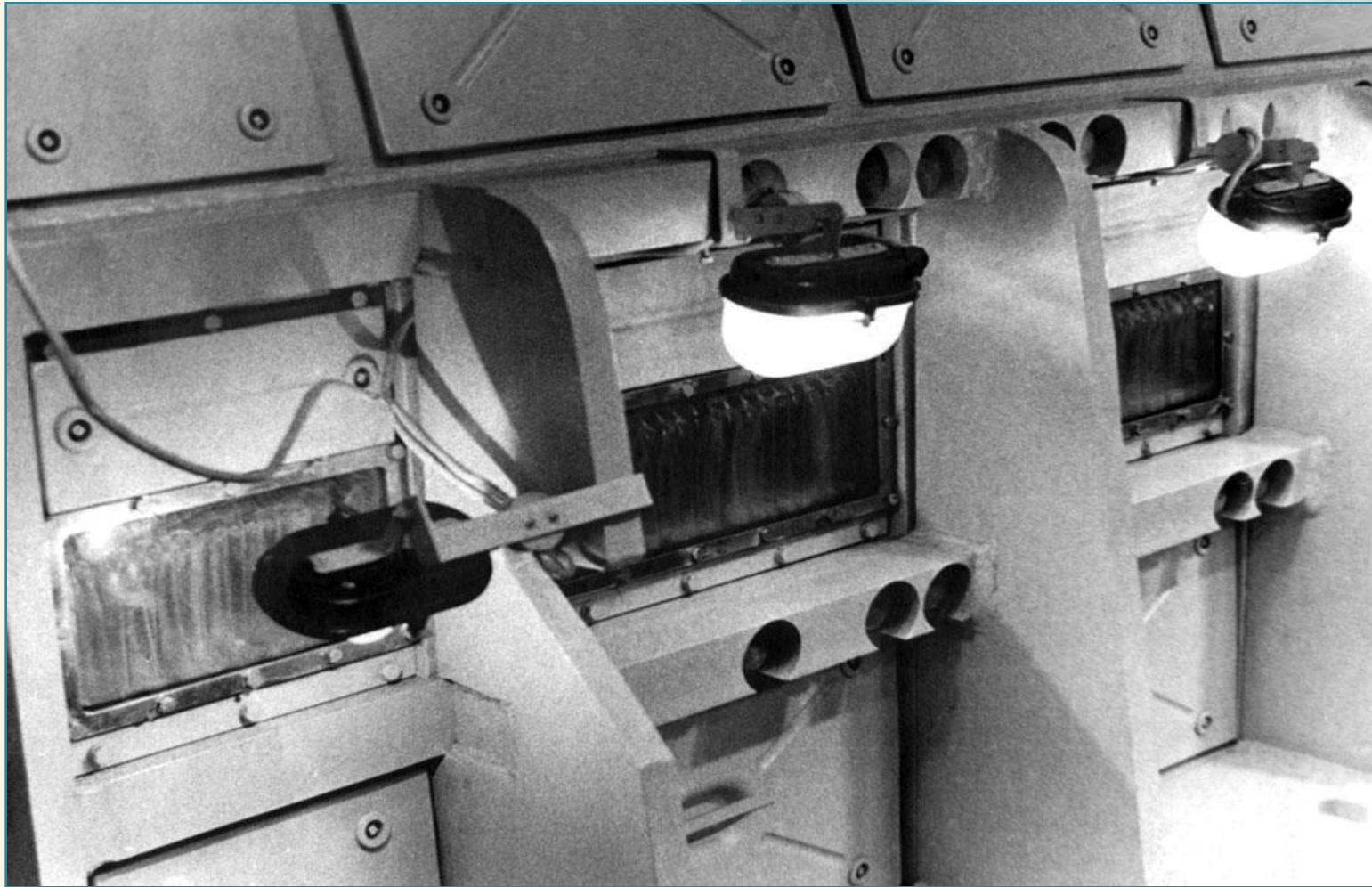


## Конструкция соединения фторопластового шланга со штуцером охладителя сердечника



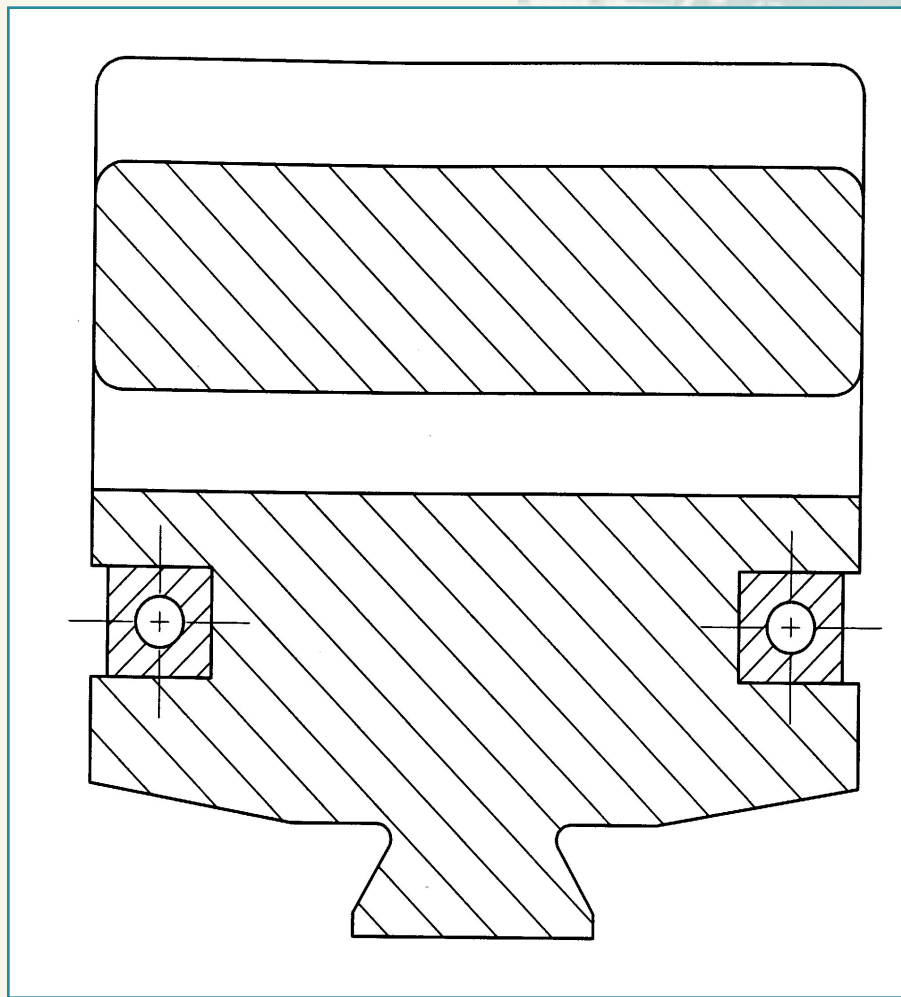
- 1 – фторопластовый шланг;
- 2 – штуцер охладителя;
- 3 – кольцо из наиритовой резины;
- 4 □ медное кольцо

# Визуальный контроль слива воды из охладителей сердечника статора

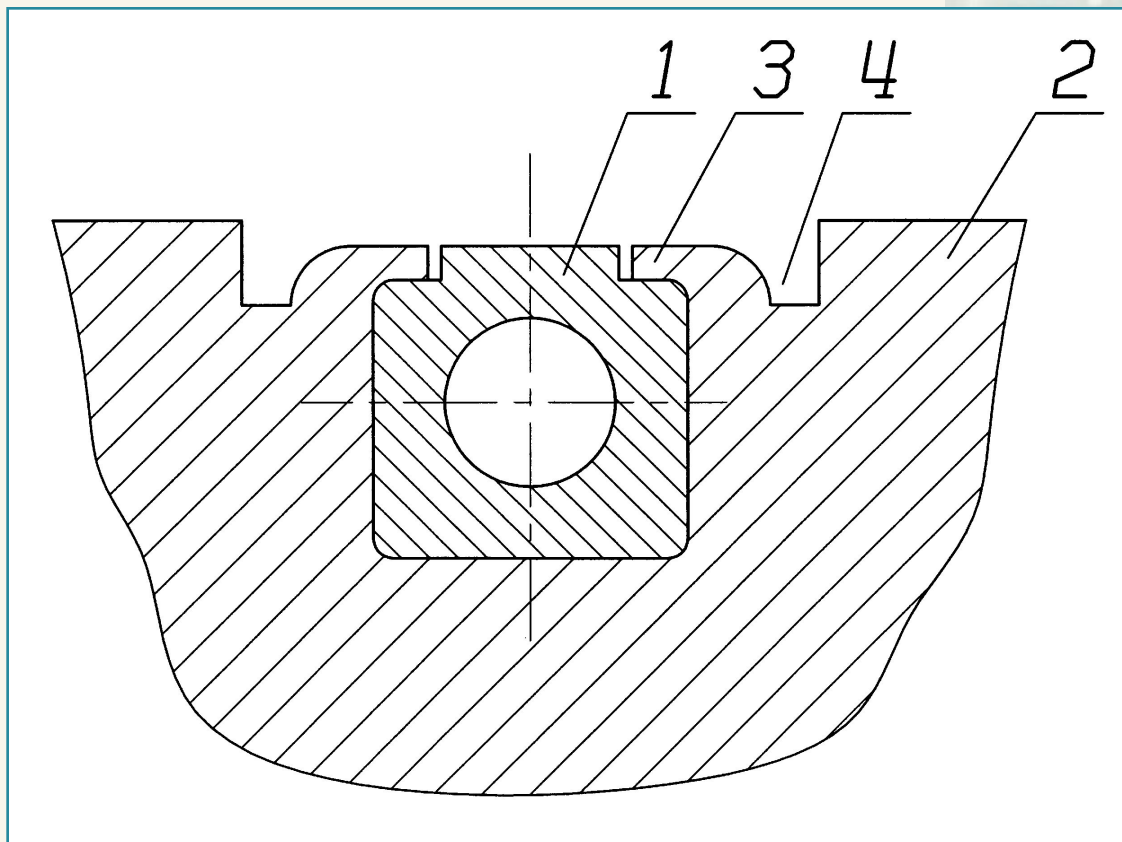




# Стяжное ребро сердечника статора

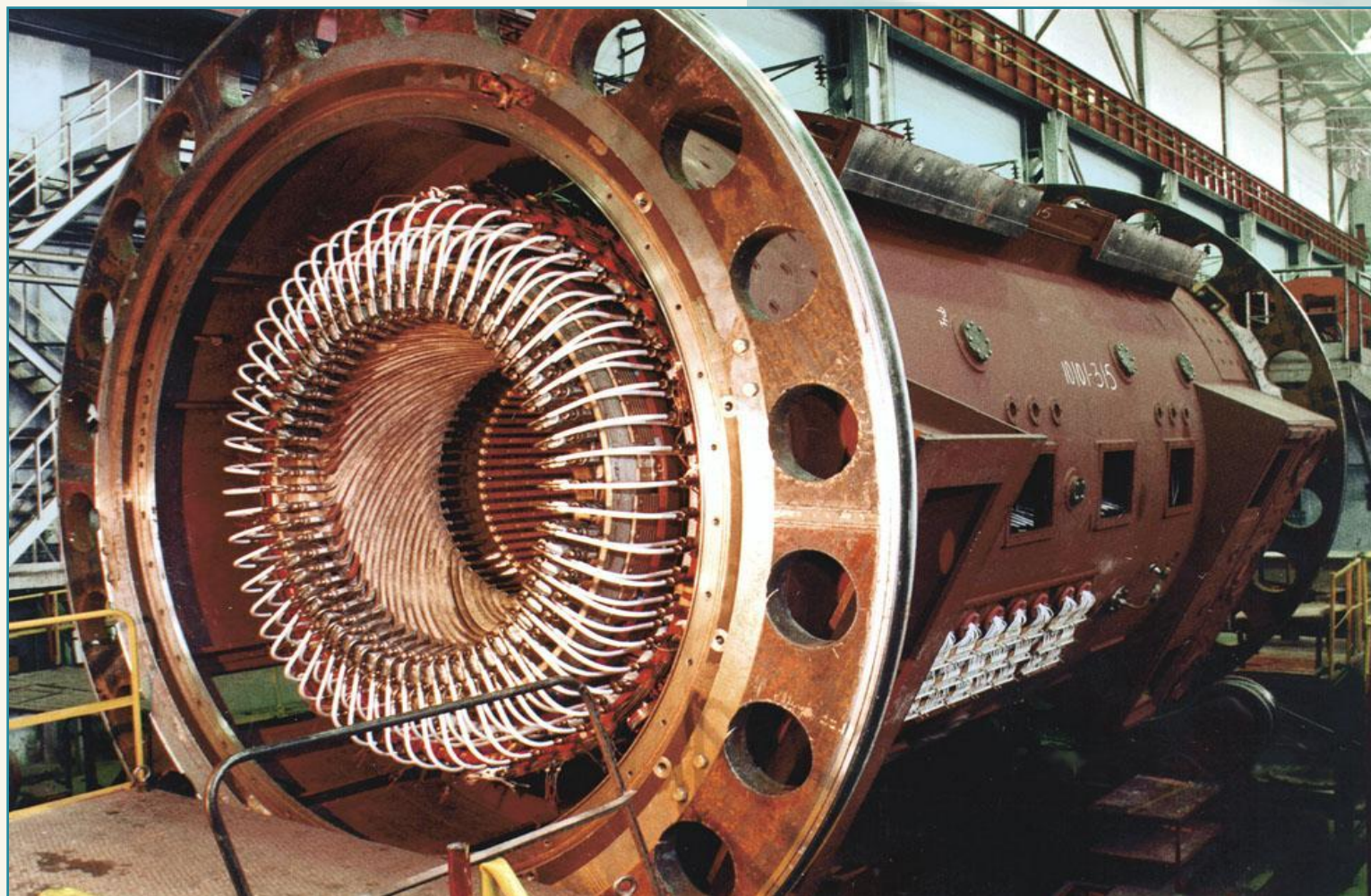


# Крепление медной водоохлаждаемой шины в пазу нажимного кольца сердечника



- 1 – медная шина;
- 2 – нажимное кольцо;
- 3 – выступ;
- 4 – трапециевидальный паз

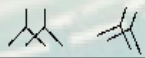
# Турбогенератор ТЗВ-320-2УЗ, статор обмотанный





# Технические данные турбогенератора типа ТЗВ-1200-2А



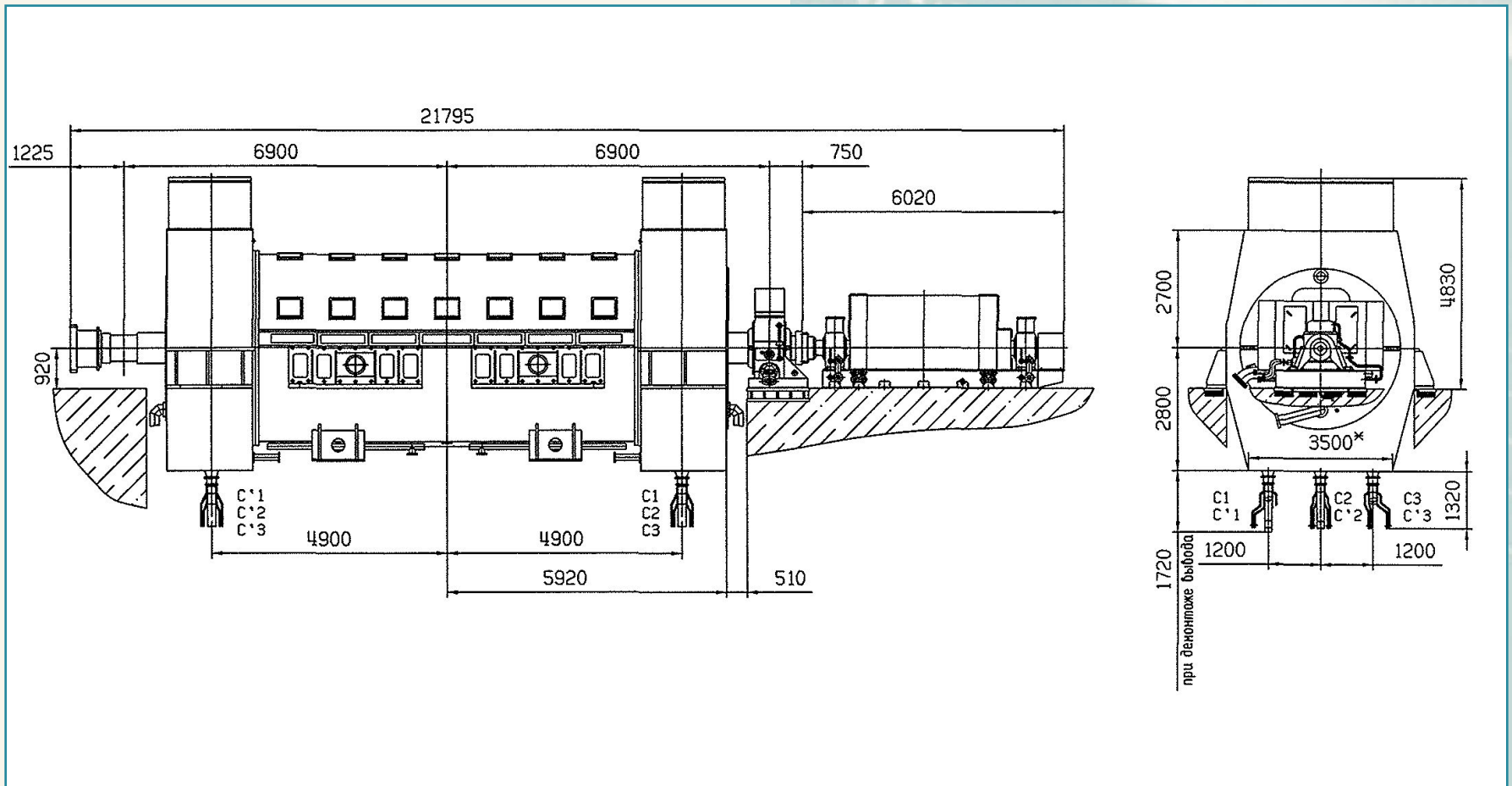
Наименование параметра	Величина
Активная мощность, МВт	1200
Полная мощность, МВА	1333
Частота, Гц	50
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	3000
Коэффициент мощности	0.9
Напряжение статора, кВ	24.
Ток статора, кА	16 × 2
Ток ротора (расчетный), кА	6.5
Напряжение ротора (расчетное), В	620
Статическая перегружаемость, о. е.	0.5
Коэффициент полезного действия, %	98.97
Число фаз обмотки статора	6
Соединение фаз обмотки статора	
Число параллельных ветвей обмотки статора	2
Число выводов обмотки статора	18 (по 9 на каждую сторону)
Масса, т:	
- статора (монтажная)	439
- ротора	110
- общая	621

## Технические данные турбогенератора типа ТЗВ-1200-2А



Наименование параметра	Величина
Расход, м <sup>3</sup> /час:	
Технической воды	1800
Дистиллята	
- на обмотку статора	160
- на обмотку возбуждения	165
- на демпферную обмотку	22
- на охладители стали статора	120
- на нажимные кольца и экраны	50
Температура на входе, °С:	
- технической воды	15...32
- дистиллята	25...40
- масла подшипников	35...45
Превышение температуры при номинальном режиме, °С:	
- обмотки возбуждения	27
- обмотки статора	20
- активной стали статора	20
Система возбуждения	Бесщеточная

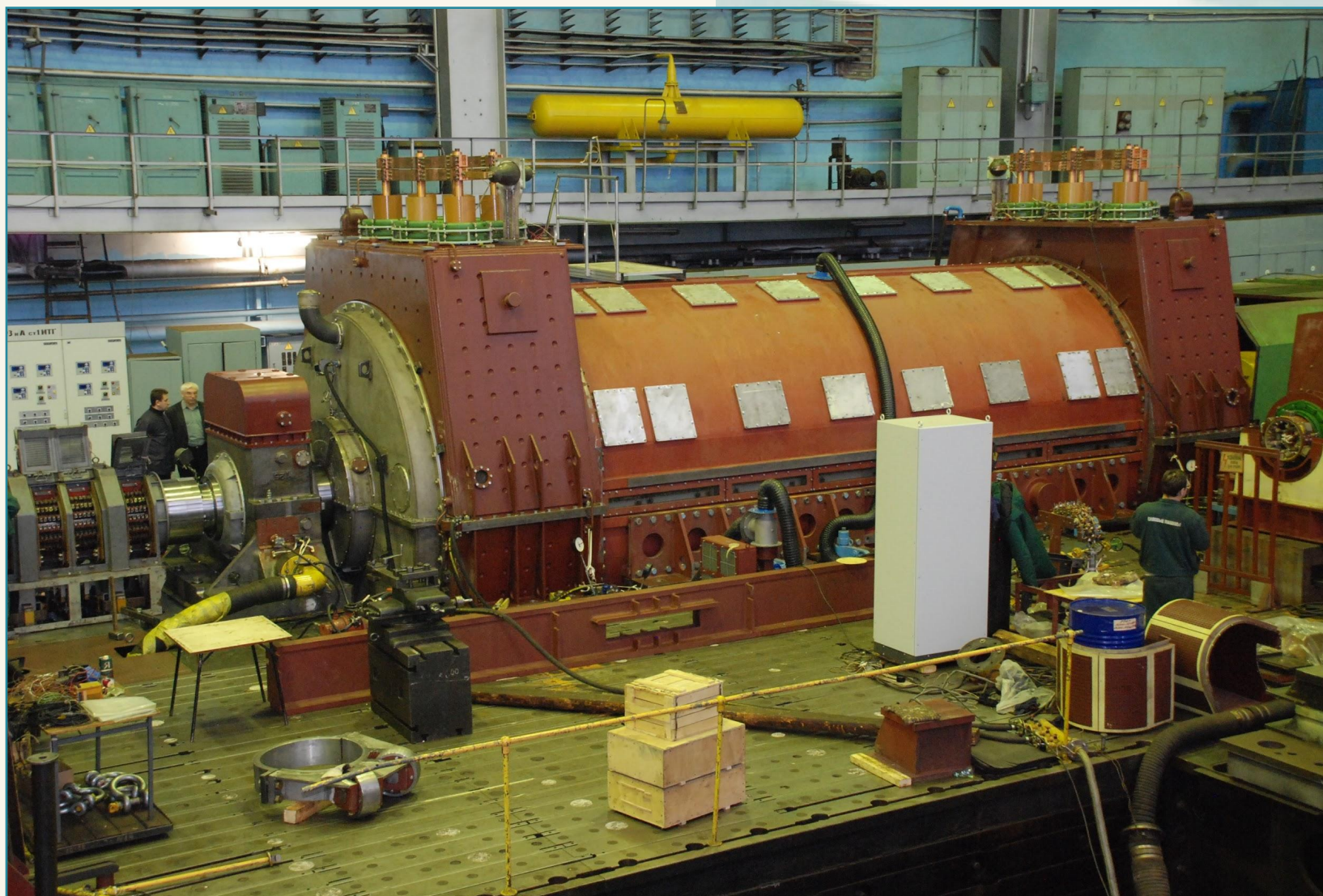
# Габаритные и присоединительные размеры турбогенератора ТЗВ-1200-2А







# Установка турбогенератора ТЗВ-1200-2 на стенде в КМТ



## Результаты тепловых и электрических испытаний на стенде



Наименование элементов генератора	Наибольшая допустимая температура, °С	Наибольшая измеренная температура (превышение), °С			Ожидаемая температура в номинальном режиме при температуре холодного дистиллята 40 °С
		XX без возбуждения	XX при Un	КЗ при I=In	
Температура дистиллята на входе	40	28	29	32	40
Дистиллят на сливе из цепей охлаждения	75				
- обмотки возбуждения		36 (7)	39 (9)	48(16)	58
- демпферной обмотки		41(14)	44(14)	47(15)	55
- стержней обмотки статора		28(0)	29(1)	48(15)	56
- нажимных колец		28(0)	31(2)	43(11)	53
- охладителей стали статора		29(2)	40(11)	37(5)	54
Сердечник статора (на дне пазов)	105	28 (0)	45 (16)	36 (4)	60
Сталь нажимных колец	120	29 (1)	34 (3)	53 (21)	63

Наименование параметра	Обозначение	Величина	
		Опыт	Расчет
КПД, %	$\eta$	98.97	98.97
Статическая перегружаемость, о.е.	Wж	1.6	1.66
Отношение короткого замыкания, о.е.	OKЗ	0.5	0.49



СИЛОВЫЕ МАШИНЫ

созидающая энергия

**Турбогенератор ТВВ-1200-4  
мощностью 1200 МВт, 1500 об/мин  
для АЭС**

2012



# Референция четырехполюсных турбогенераторов ТВВ-1000-4У3 мощностью 1000 МВт, 1500 об/мин



<b>№ п/п</b>	<b>Страна</b>	<b>Название электростанции</b>	<b>Тип генератора</b>	<b>Кол-во, шт.</b>	<b>Год изготовл.</b>
<b>1</b>	<b>Россия</b>	<b>Балаковская АЭС</b>	<b>ТВВ-1000-4</b>	<b>4</b>	<b>1984-88</b>
<b>2</b>	<b>Украина</b>	<b>Запорожская АЭС</b>	<b>ТВВ-1000-4</b>	<b>6</b>	<b>1982-88</b>
<b>3</b>	<b>Россия</b>	<b>Калининская АЭС</b>	<b>ТВВ-1000-4</b>	<b>2</b>	<b>1981, 84</b>
<b>4</b>	<b>Болгария</b>	<b>АЭС Козлодуй 2</b>	<b>ТВВ-1000-4</b>	<b>2</b>	<b>1984, 87</b>
<b>5</b>	<b>Россия</b>	<b>Ростовская АЭС</b>	<b>ТВВ-1000-4</b>	<b>3</b>	<b>1986, 90,2012</b>
<b>6</b>	<b>Украина</b>	<b>Южно-Украинская АЭС</b>	<b>ТВВ-1000-4</b>	<b>2</b>	<b>1980, 83</b>
			<b>ВСЕГО</b>	<b>19</b>	

# Турбогенератор ТВВ-1200-4 мощностью 1200 МВт на 1500 об/мин



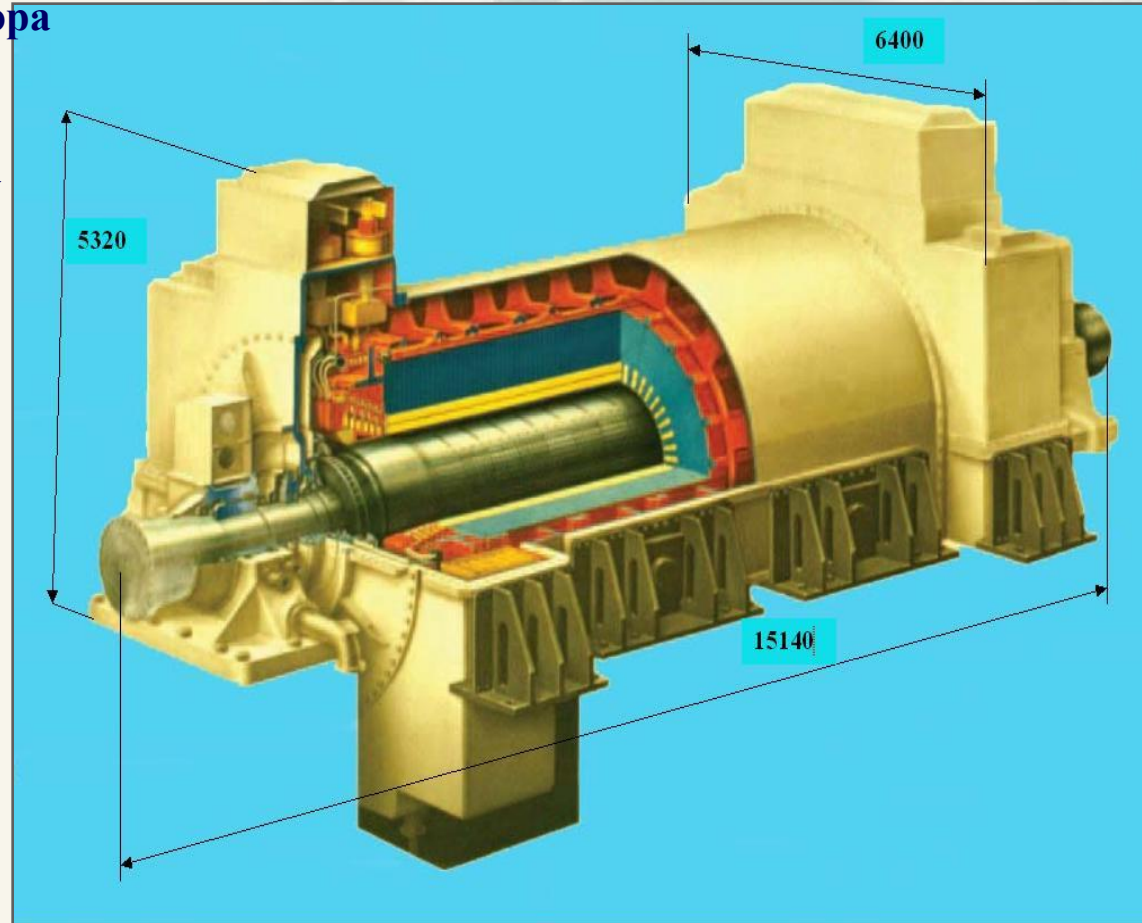
## База для разработки турбогенератора:

- опыт проектирования турбогенераторов ТВВ-1000-4 и ТВВ-500-4 в 4-х полюсном исполнении;
- результаты исследований и испытаний турбогенераторов серии ТВВ;
- освоенная технология изготовления турбогенераторов;
- высокая эксплуатационная надежность турбогенераторов ТВВ-1000-4, коэффициент готовности равен 0,9983;
- использование новых материалов и конструктивных решений;
- результаты проведенных НИиОКР.

# Основные характеристики турбогенератора ТВВ-1200-4



- Номинальная мощность генератора 1200 МВт.
- Мощность 1280 МВт при температуре технической воды на входе в газоохладители 25°С.
- Напряжение 24 кВ.
- Водородно-водяное охлаждение
- Частота вращения 1500 об/мин.
- КПД - 99,04 %.
- Монтажные веса:  
статора – 380 т  
ротора – 220 т
- Удельный расход материалов 0,54 кг/кВА.
- Период между капитальными ремонтами до 8 лет.



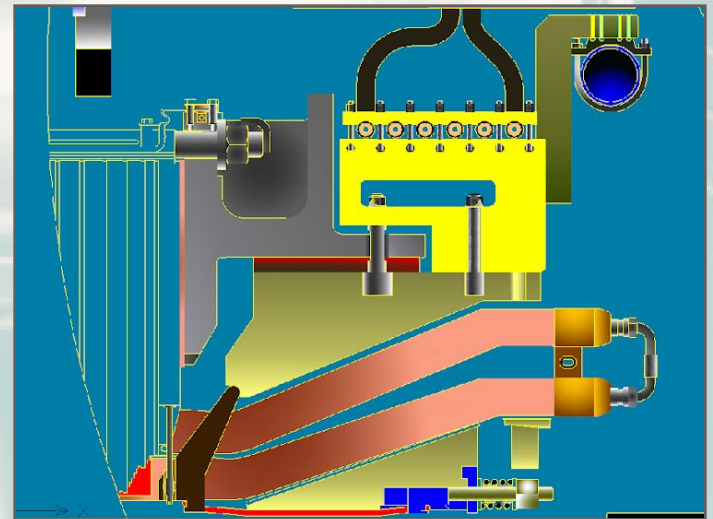
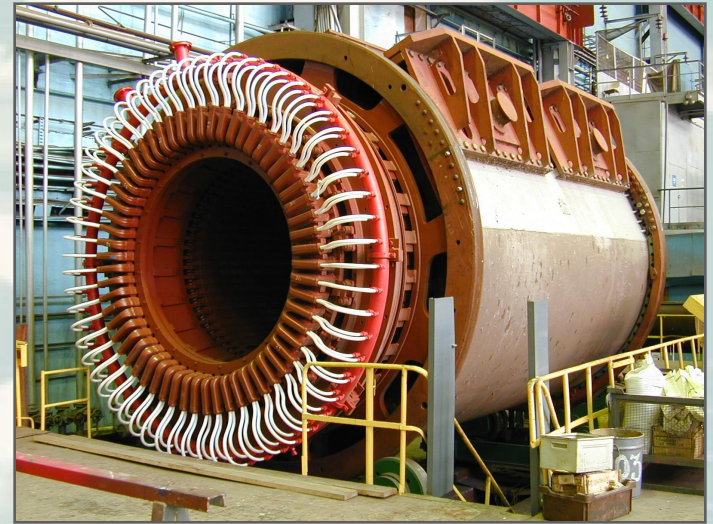


# Статор турбогенератора ТВВ-1200-4

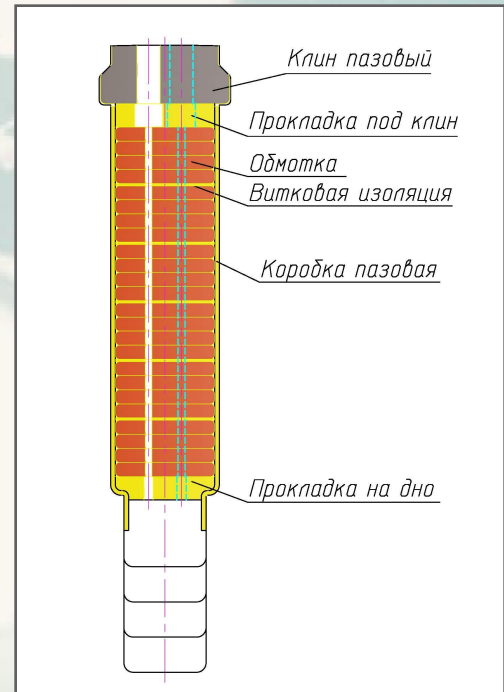
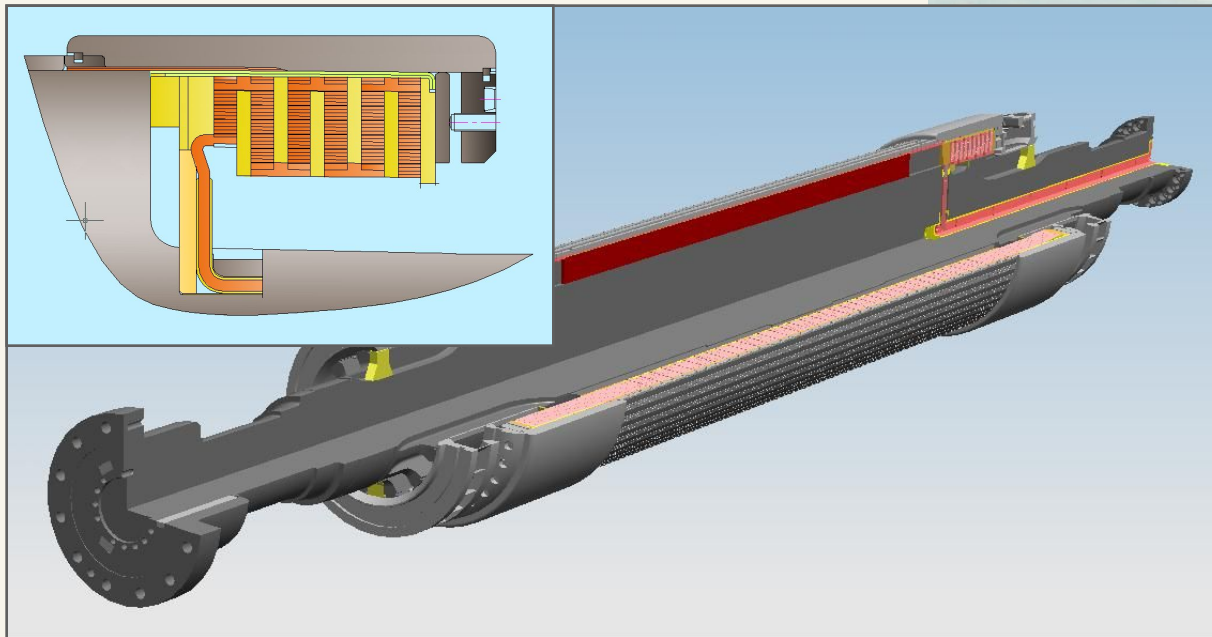


**Конструкция статора обеспечивает надежность и высокий КПД генератора.**

- **Увеличение жесткости крепления лобовых частей в радиальном и тангенциальном направлениях.**
- **Возможность тепловых перемещений обмотки в осевом направлении.**
- **Применение неметаллических деталей в конструкции торцевой зоны статора (минимизация потерь с обеспечением прочности конструкции).**
- **Применение выводных и соединительных шин круглого сечения.**
- **Применение водоохлаждаемых нержавеющей трубок в конструкциях стержней.**
- **Отсутствие паяных соединений в конструкции водяного охлаждения обмотки статора.**
- **Использование встречной заклиновки для крепления стержней обмотки статора.**



# Ротор и паз турбогенератора ТВВ-1200-4



## Конструкция ротора, обеспечивающая надежность и высокий КПД генератора:

- поковка с высокими механическими и магнитными свойствами;
- коррозионностойкие бандажные кольца;
- компенсация теплового удлинения стержня токоподвода;
- распределение обмотки по окружности вала, обеспечивающее синусоидальную форму напряжения статора и качество электроэнергии, выдаваемой в сеть;
- охлаждение обмотки осуществляется непосредственно водородом из подпазового канала, уменьшающее вентиляционные потери и обеспечивающее равномерный нагрев обмотки.

## Выводы



**Опыт проектирования, изготовления и эксплуатации четырехполюсных турбогенераторов для АЭС, а также предложенные конструктивные решения, наличие технологической и испытательной баз, подтверждают готовность Завода «Электросила» ОАО «Силовые машины» поставить генератор для АЭС со следующими эксплуатационными характеристиками:**

- мощность – 1200 МВт**
- частота вращения – 1500 об/мин**
- водородно-водяное охлаждение**
- КПД – 99,04 %**
- период между капитальными ремонтами – до 8 лет**
- коэффициент готовности – 0,9983**
- наработка на отказ – не менее 18000 ч**