

Синхронные генераторы и двигатели

Основные законы электромеханики

Принцип действия

Характеристики

Конструкция

Ключевые дефекты

Заводы изготовители

Синхронные машины

Синхронные
машины

Гидрогенераторы

Турбогенераторы

Двигатели

Синхронный компенсатор

Основные законы электромеханики

- Закон электромагнитной индукции
 - Правило левой руки – принцип работы двигателя
 - Правило правой руки – принцип работы генератора

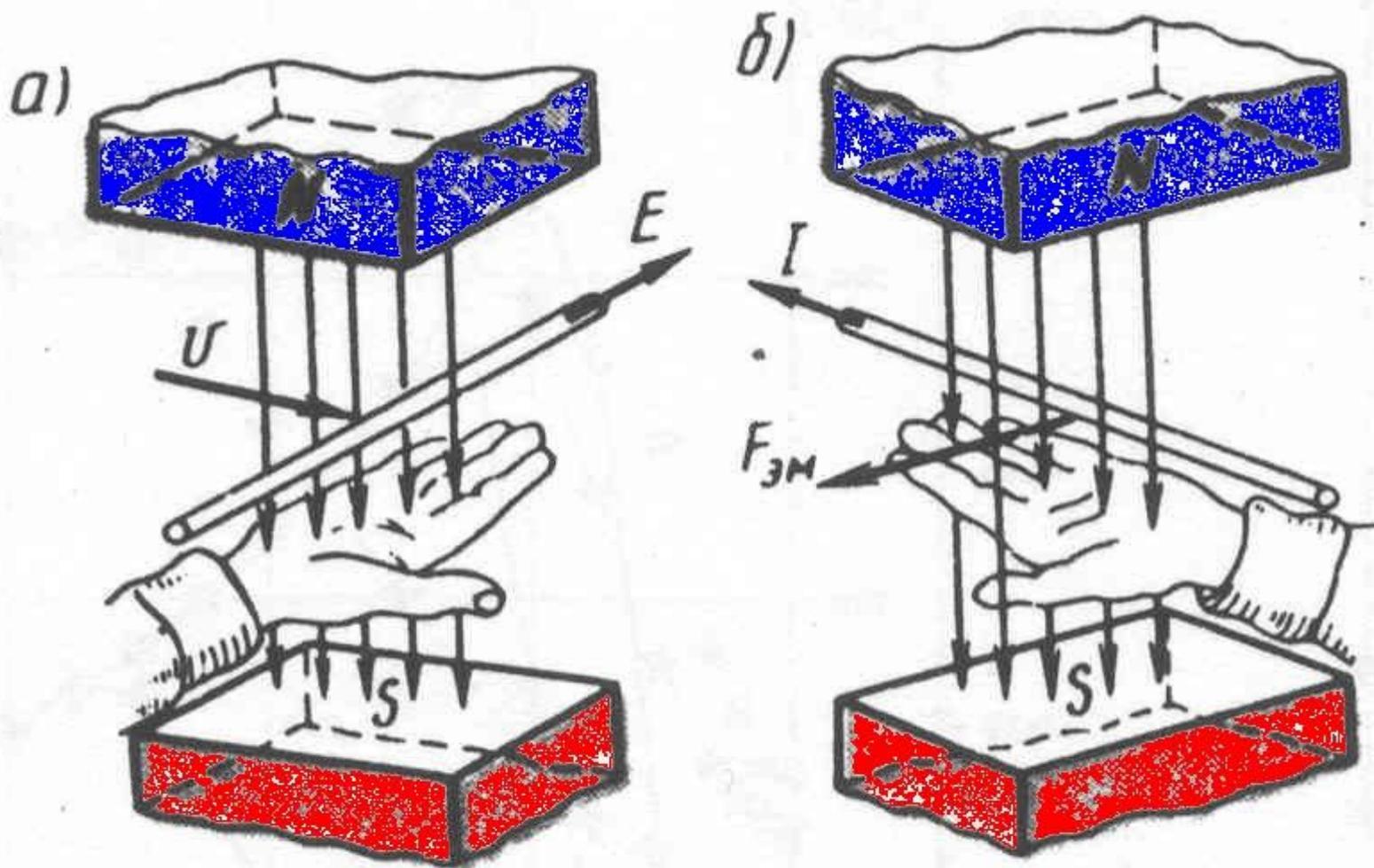


Рис. В.2. Правила «правой руки» и «левой руки»

КОНСТРУКЦИЯ

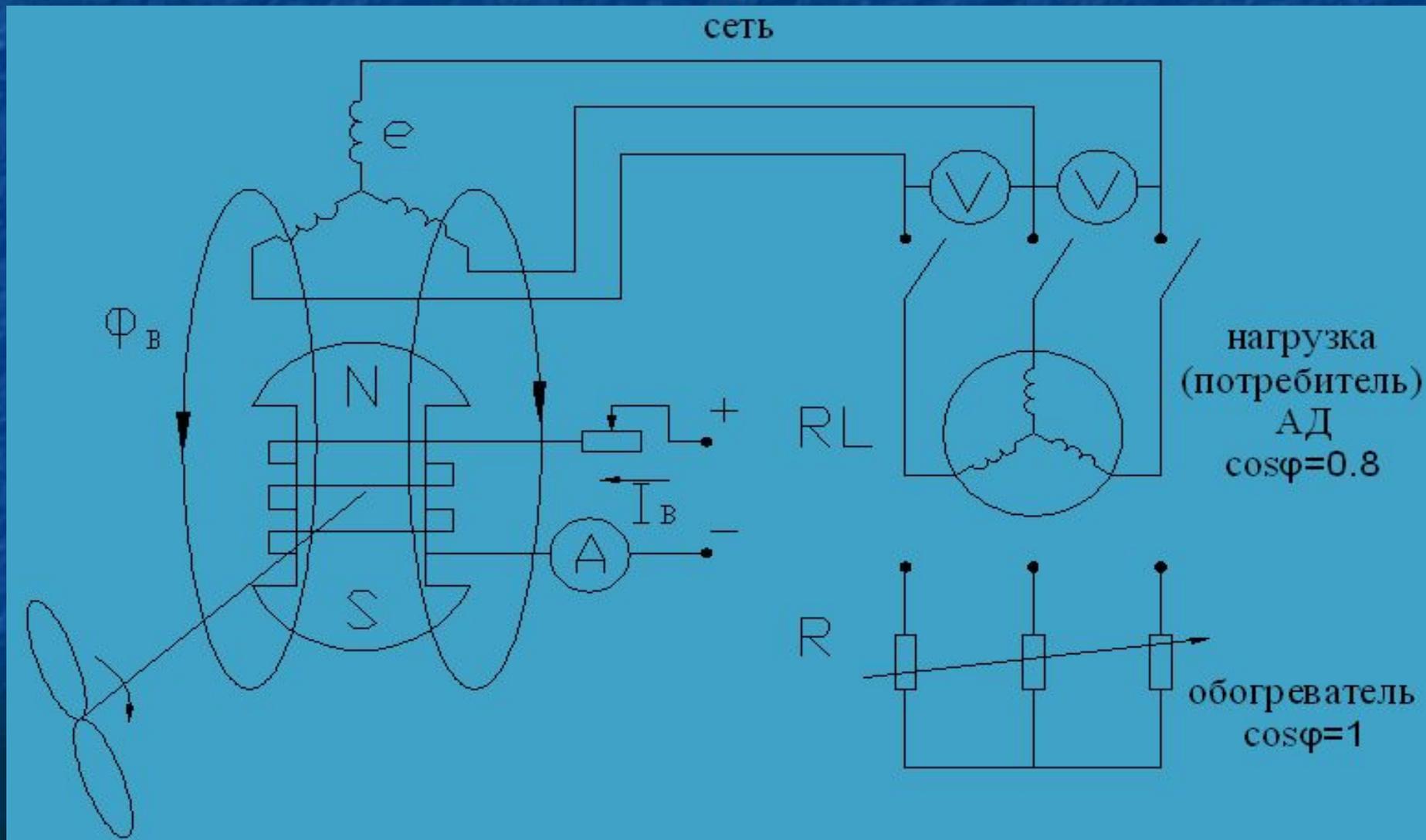
Электрические мощности

- Полная мощность - S
- Активная мощность- P
- Реактивная мощность- Q
-
- $$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Принцип действия синхронного генератора

- Электрическая схема
- Физические законы

Принцип действия синхронного генератора



Основные законы электромеханики

Характеристики *нагрузки-потребителя* электрической энергии

■ Электрическая машина

■ Мощность

1. Коэффициент полезного действия (характеризует потери)
2. Вид потребляемой мощности

■ Коэффициент мощности

$$\cos \varphi$$

(мощности активной-реактивной)

- $\cos \varphi = 1$ - электрический чайник, обогреватель, утюг, лампочка и т.д.
- $\cos \varphi \approx 0,8$ - стиральная машина, холодильник, вентилятор, пылесос...

■ Автомобиль

Мощность

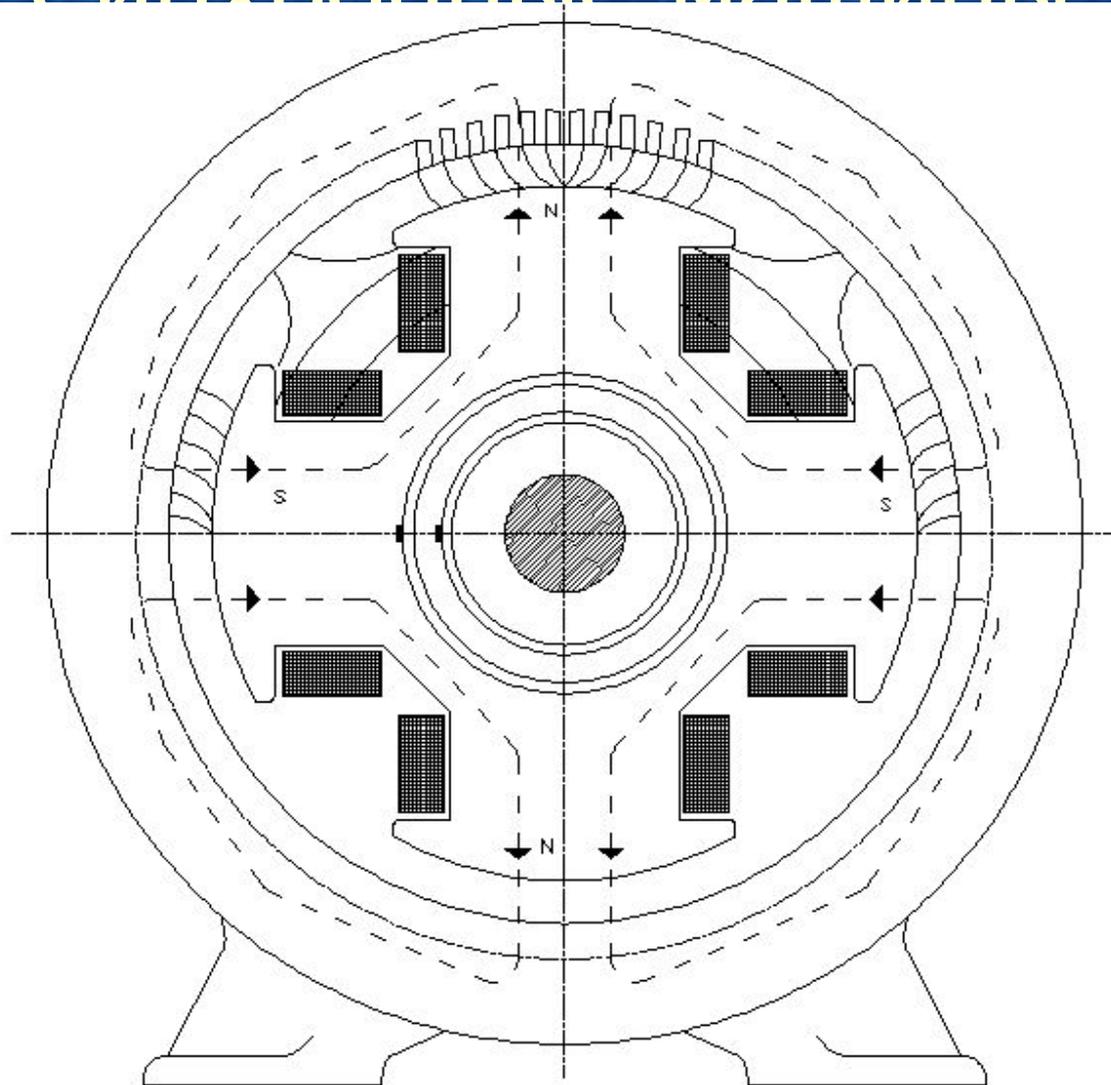
Коэффициент полезного действия

Вид топлива

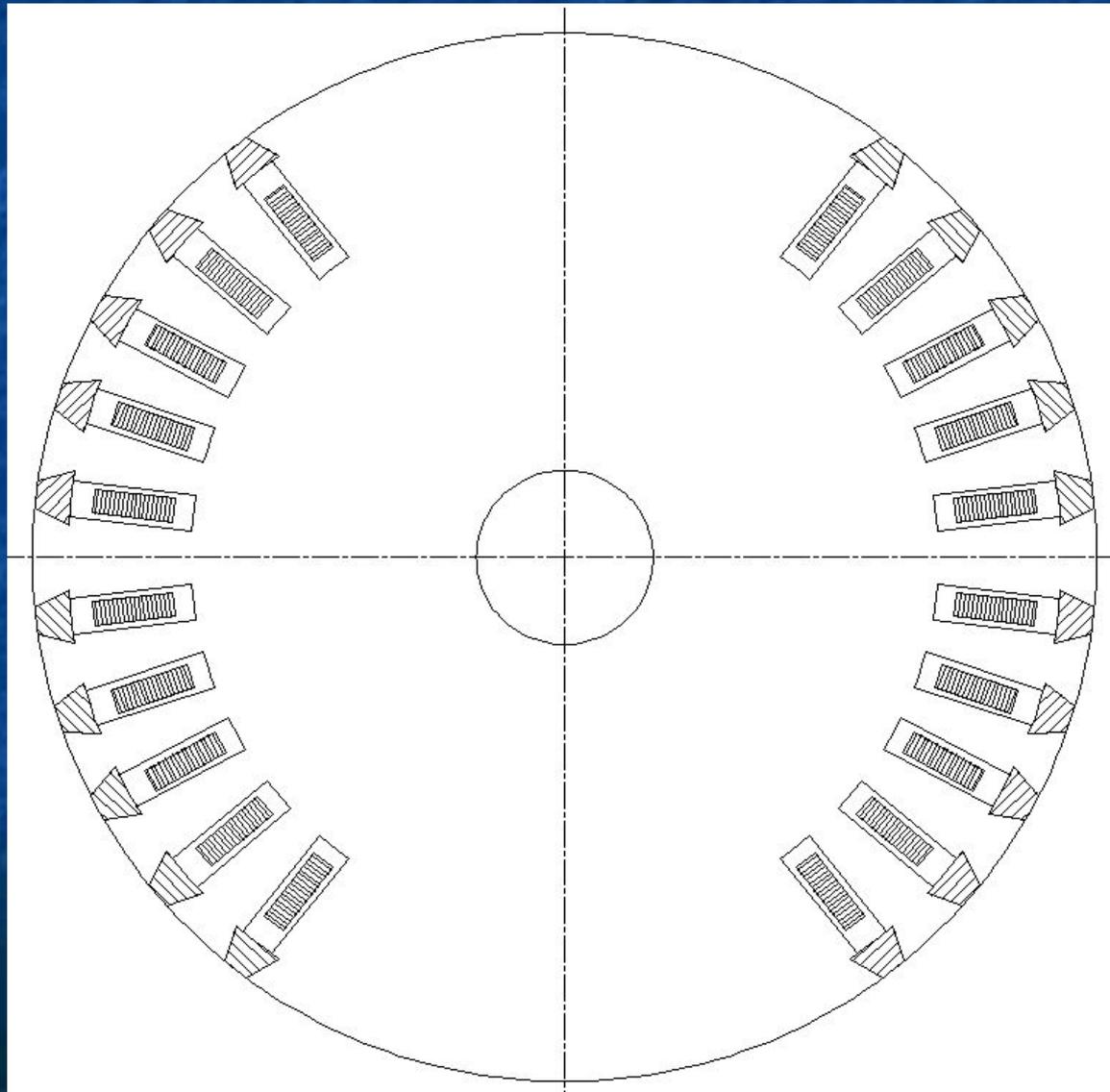
бензин- дизель

моторное масло

Синхронные машины

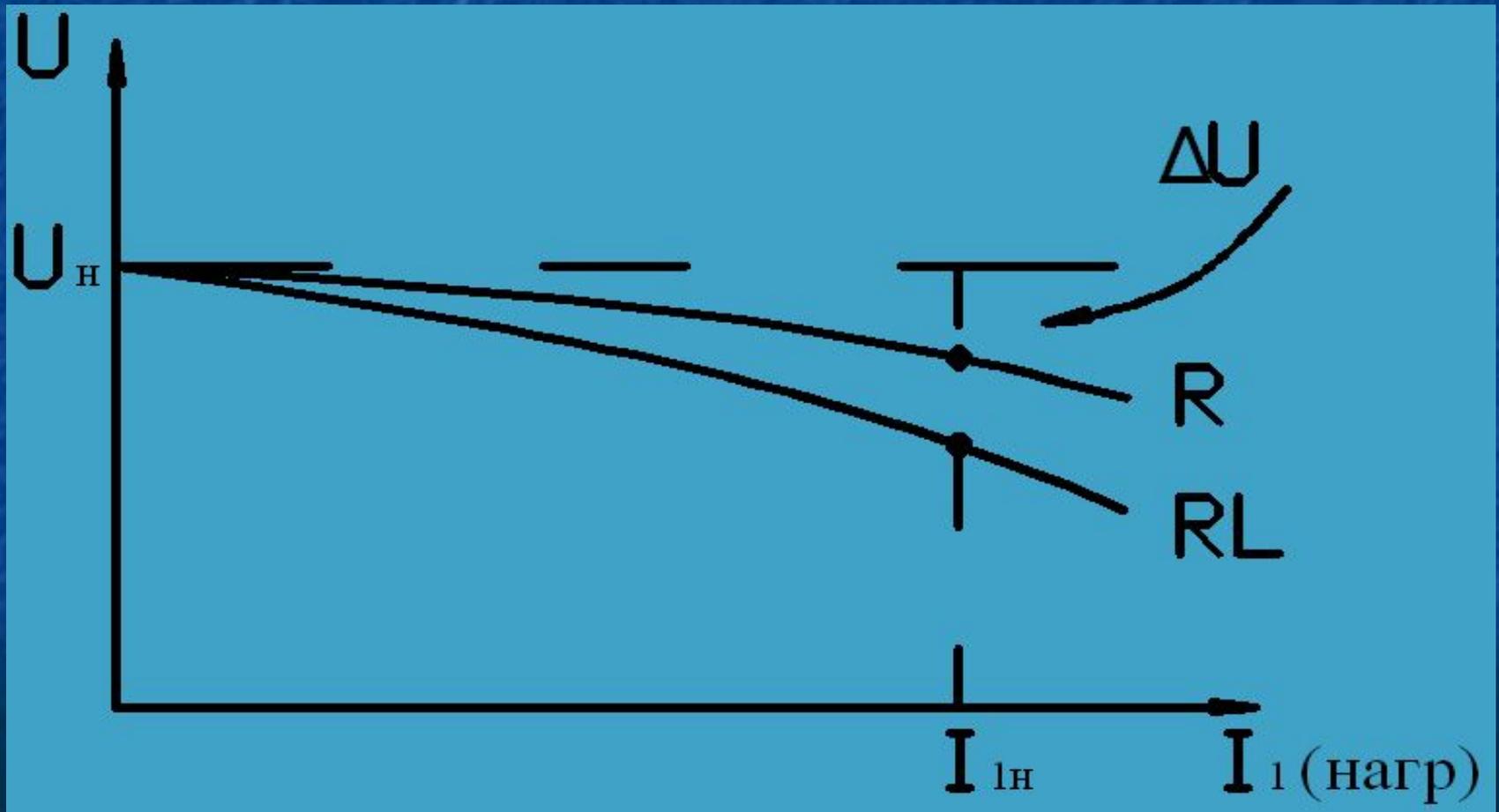


Синхронные машины



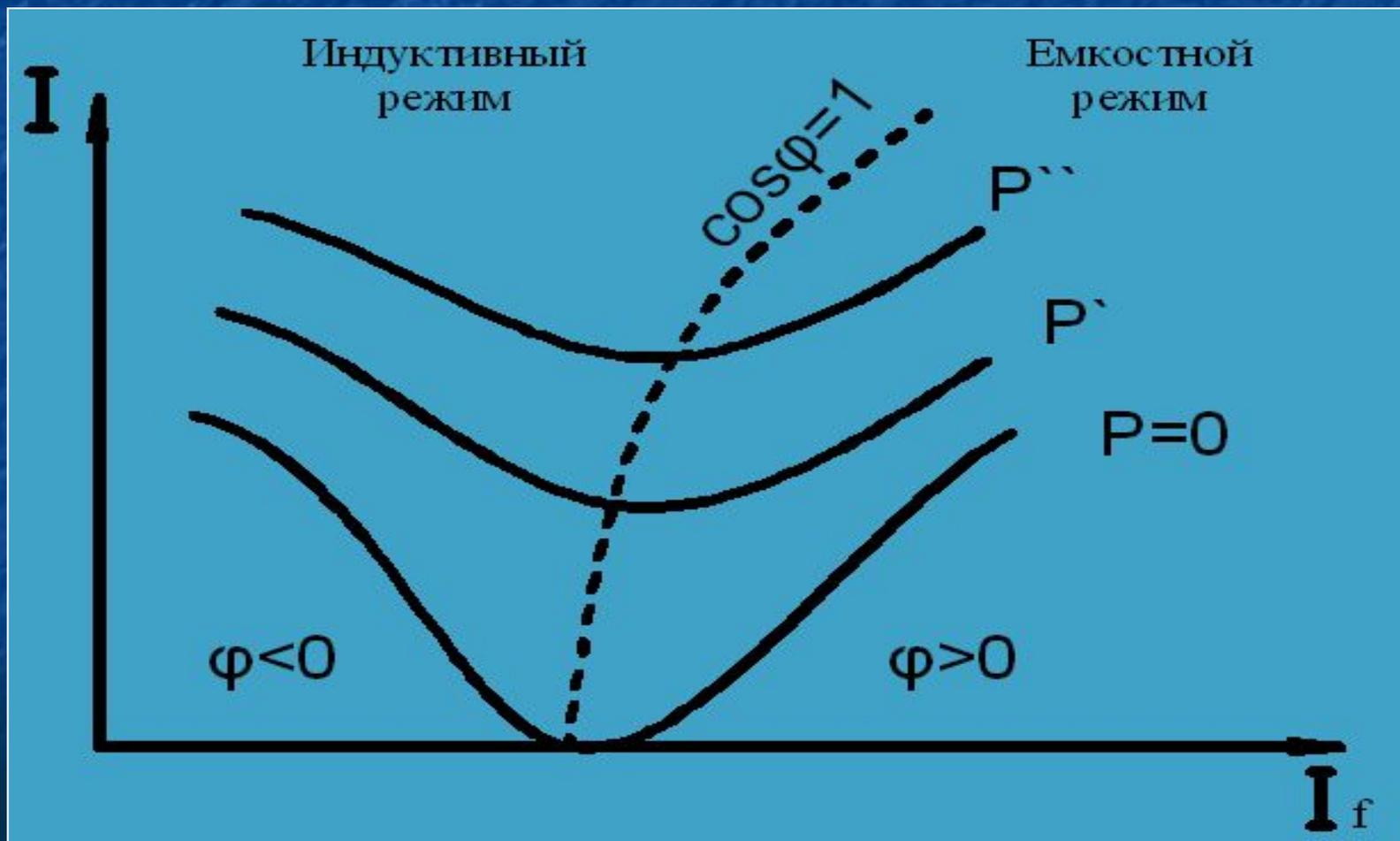
ХАРАКТЕРИСТИКИ

Внешняя характеристика



ХАРАКТЕРИСТИКИ

V – образная характеристика



КОНСТРУКЦИЯ

Номинальные параметры
турбогенератора с воздушным
охлаждением

Тип турбогенератора	ТФ-36-2	ТФ-60-2	ТФ-80-2	ТФ-110-2	ТФ-160-2	ТФ-180-2	ТФ-220-2
Активная мощность, МВт	36	60	80	110	160	180	220
Полная мощность, МВ*А	45	75	100	137,5	200	211,765	258
Коэффициент мощности	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85
Напряжение, В	10500	10500	10500	10500	15750	15750	15750
Частота, Гц	50	50	50	50	50	50	50
Частота вращения, об/мин	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
КПД, %	98,5	98,2	98,3	98,4	98,54	98,6	98,6
Масса ротора, т	18	24,5	28,5	38	45	45	43
Масса статора, т	47	67	83	135	169,4	175	200
Система возбуждения	Бесщеточная			Статическая			

КОНСТРУКЦИЯ

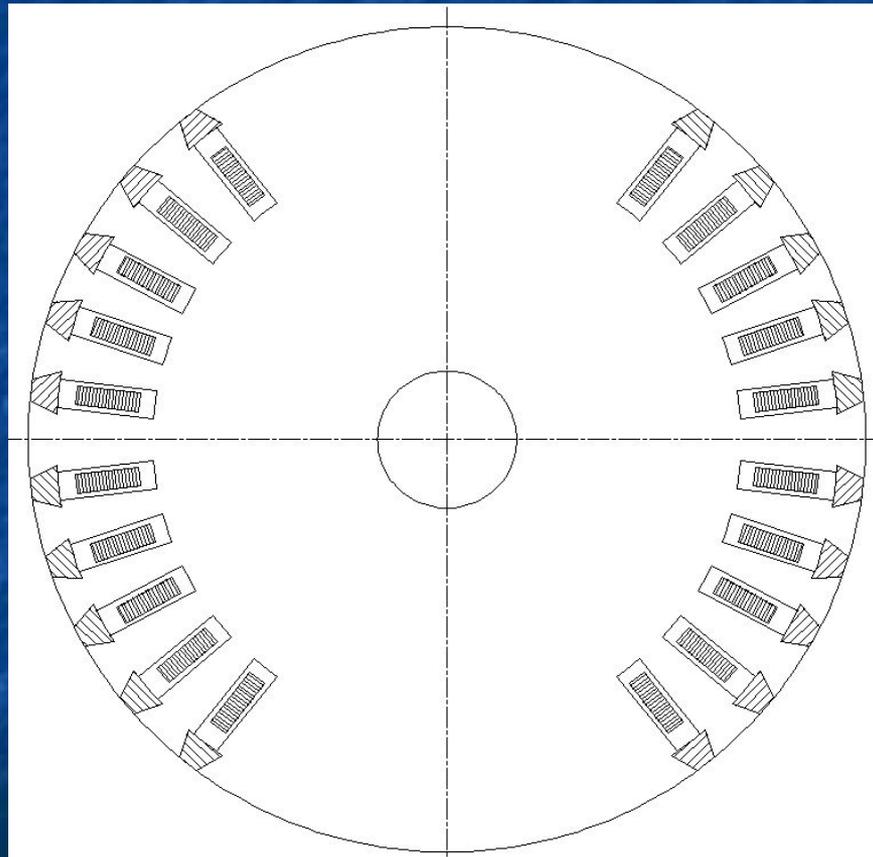
Турбогенераторы

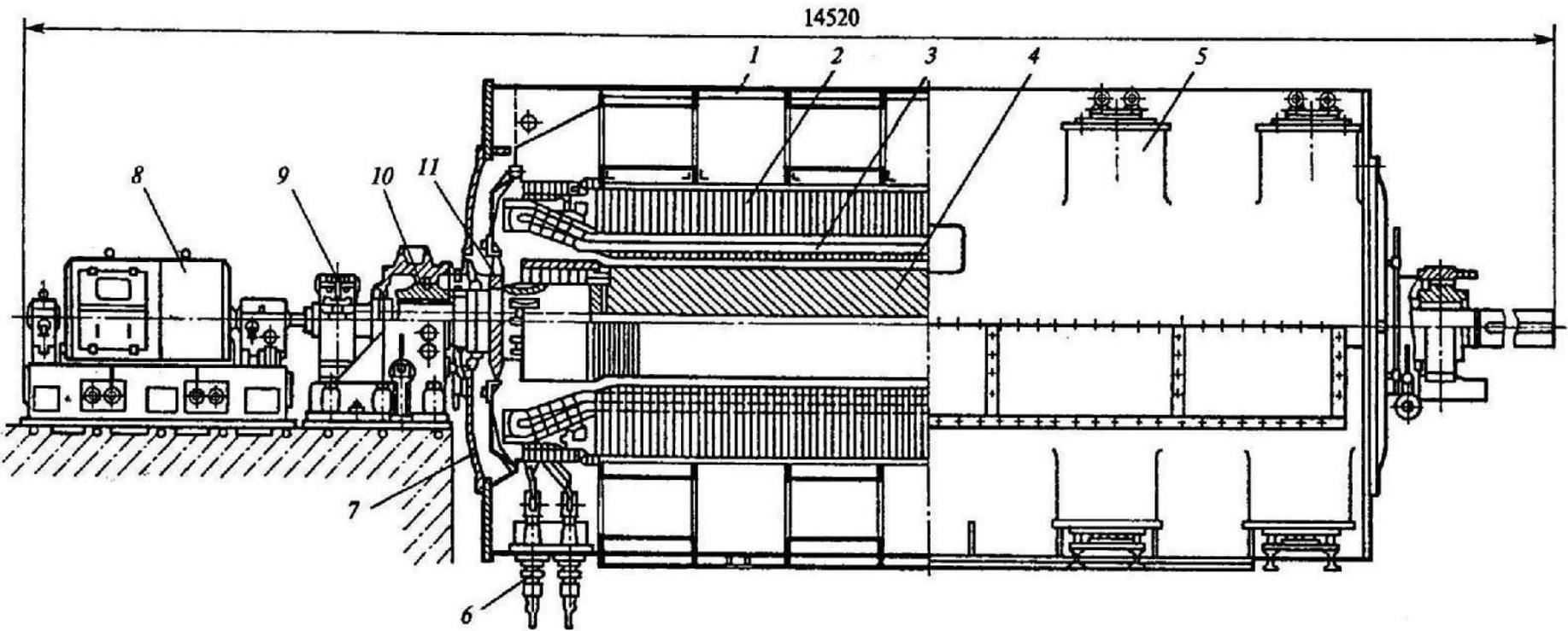
- электрических станций – 3000 об/мин
Турбогенераторы для тепловых
- Турбогенераторы для атомных
электрических станций –
1500 об/мин

Рост единичной мощности турбогенераторов снижает удельные капиталовложения и стоимость электроэнергии.

Капиталовложения на 1 кВт установленной мощности для

Ротор турбогенератора





Продольный разрез турбогенератора серии ТВ2 мощностью 150 МВт:

1 — корпус статора; 2 — сердечник статора; 3 — обмотка статора; 4 — ротор; 5 — газоохладитель; 6 — выводы; 7 — щит торцевой; 8 — возбудитель; 9 — аппарат щеткодержателей; 10 — подшипник; 11 — вентилятор осевой

КОНСТРУКЦИЯ

Конструкция ТГ- системы охлаждения

- воздушное охлаждение
- водородное охлаждение
- форсированное охлаждение с разделением воздушных потоков в статоре и роторе
- полное водяное охлаждение
- масляное охлаждение статора, водяное охлаждение обмотки ротора
- Водородно-водяное охлаждение обмоток

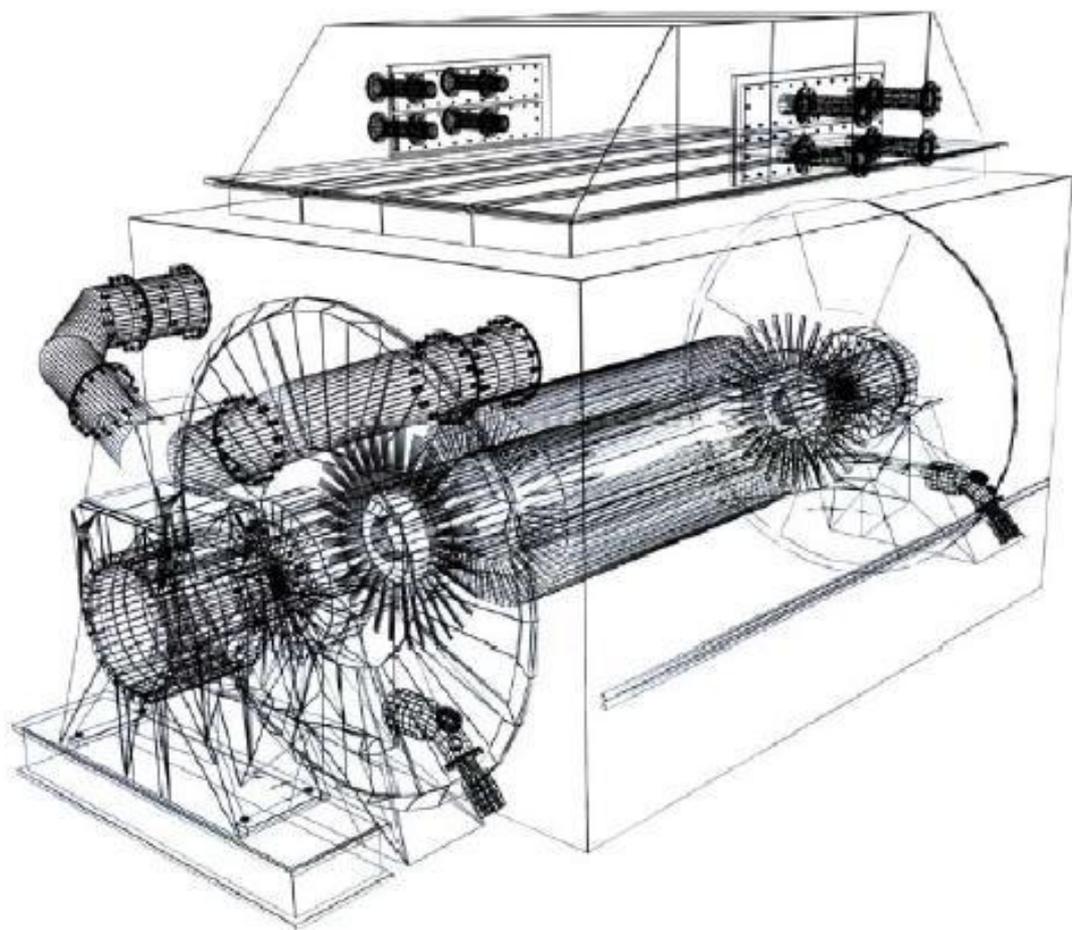
КОНСТРУКЦИЯ

Свойства охлаждающих сред

Среда	Плотность	Теплоотводящая способность	Расход
Воздух	1	1	1
Водород 0.2 МПа	0.21	2.7	1
Масло трансформаторное	848	21	0.01
Вода	1000	60	0.01

КОНСТРУКЦИЯ

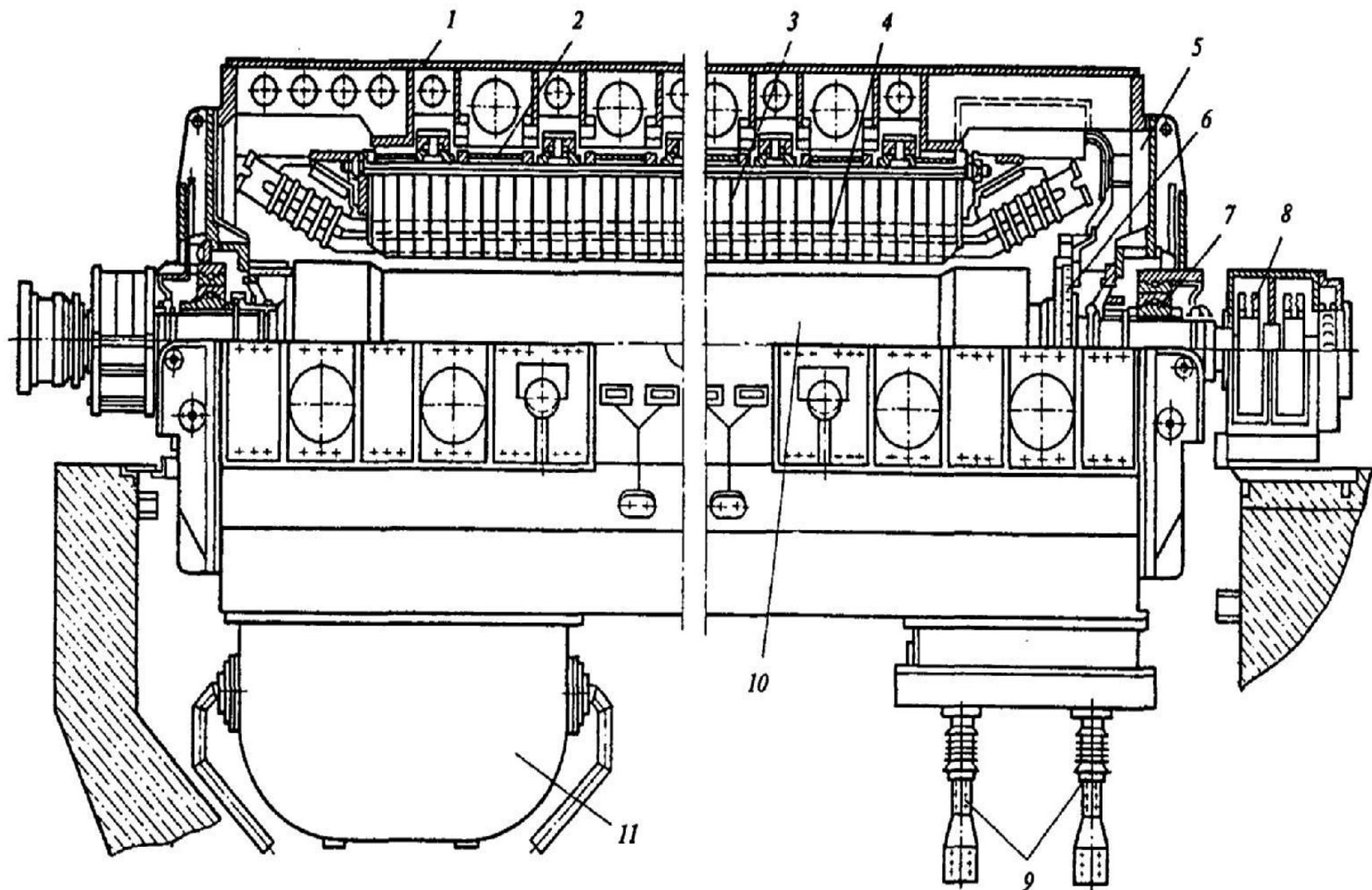
Турбогенератор с водородным
охлаждением





КОНСТРУКЦИЯ

Разрез турбогенератора ТВГ-300 с
непосредственным охлаждением
водородом обмоток статора и ротора



Продольный разрез турбогенератора ТГВ-300 с непосредственным охлаждением водородом обмоток статора и ротора:

1 — наружный корпус; 2 — внутренний корпус; 3 — сердечник статора; 4 — обмотка статора; 5 — щит торцевой; 6 — компрессор; 7 — подшипник; 8 — аппарат щеткодержателей; 9 — выводы; 10 — ротор; 11 — газоохладитель

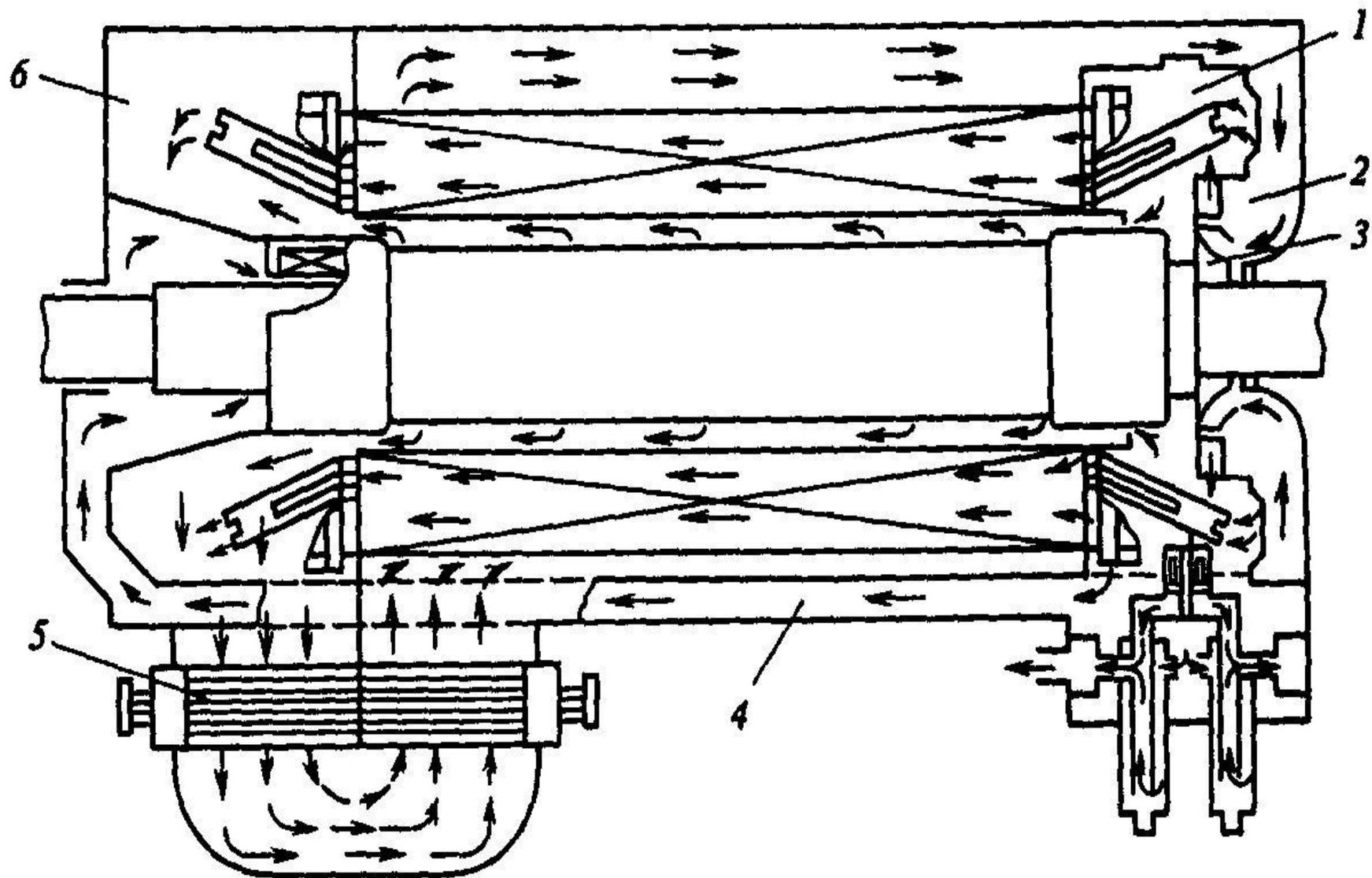


Схема охлаждения турбогенератора ТГВ-300

Форсированное водородное охлаждение

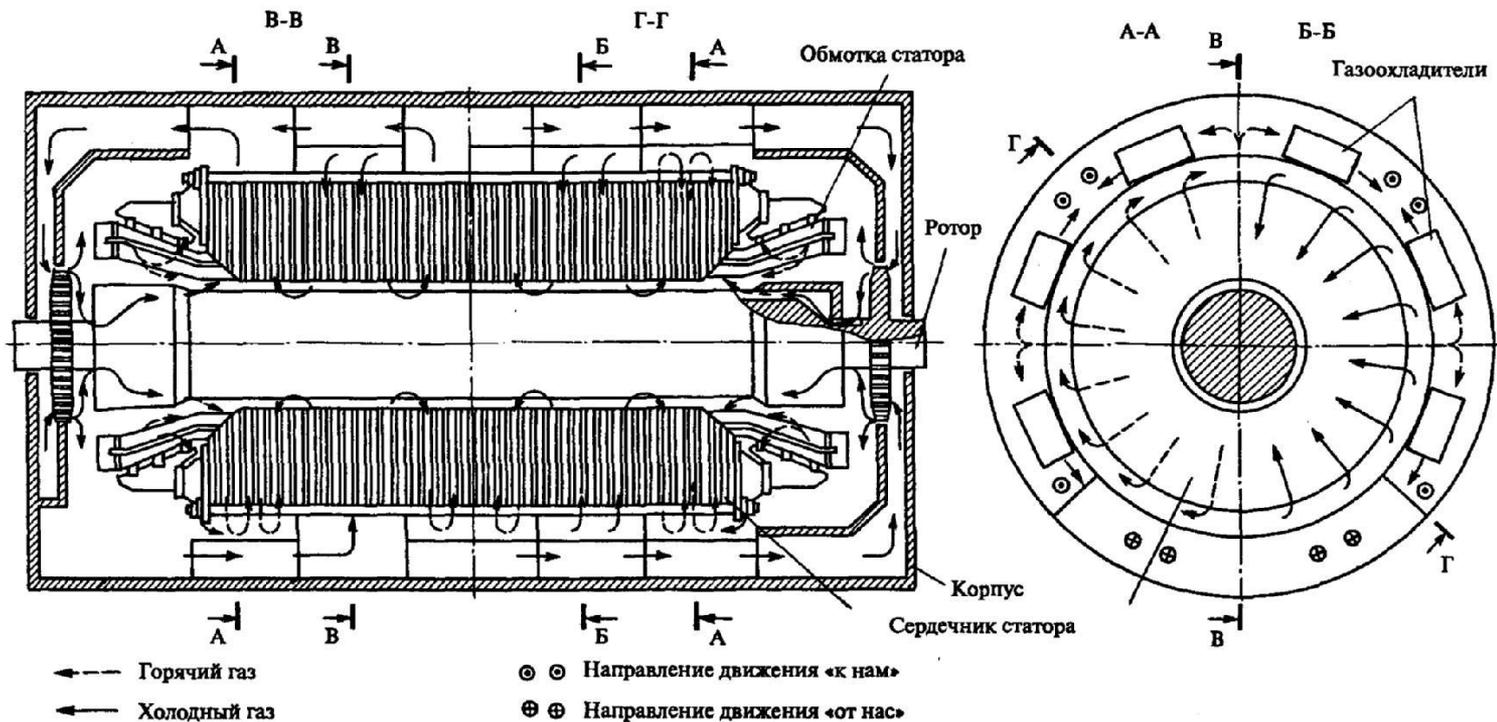
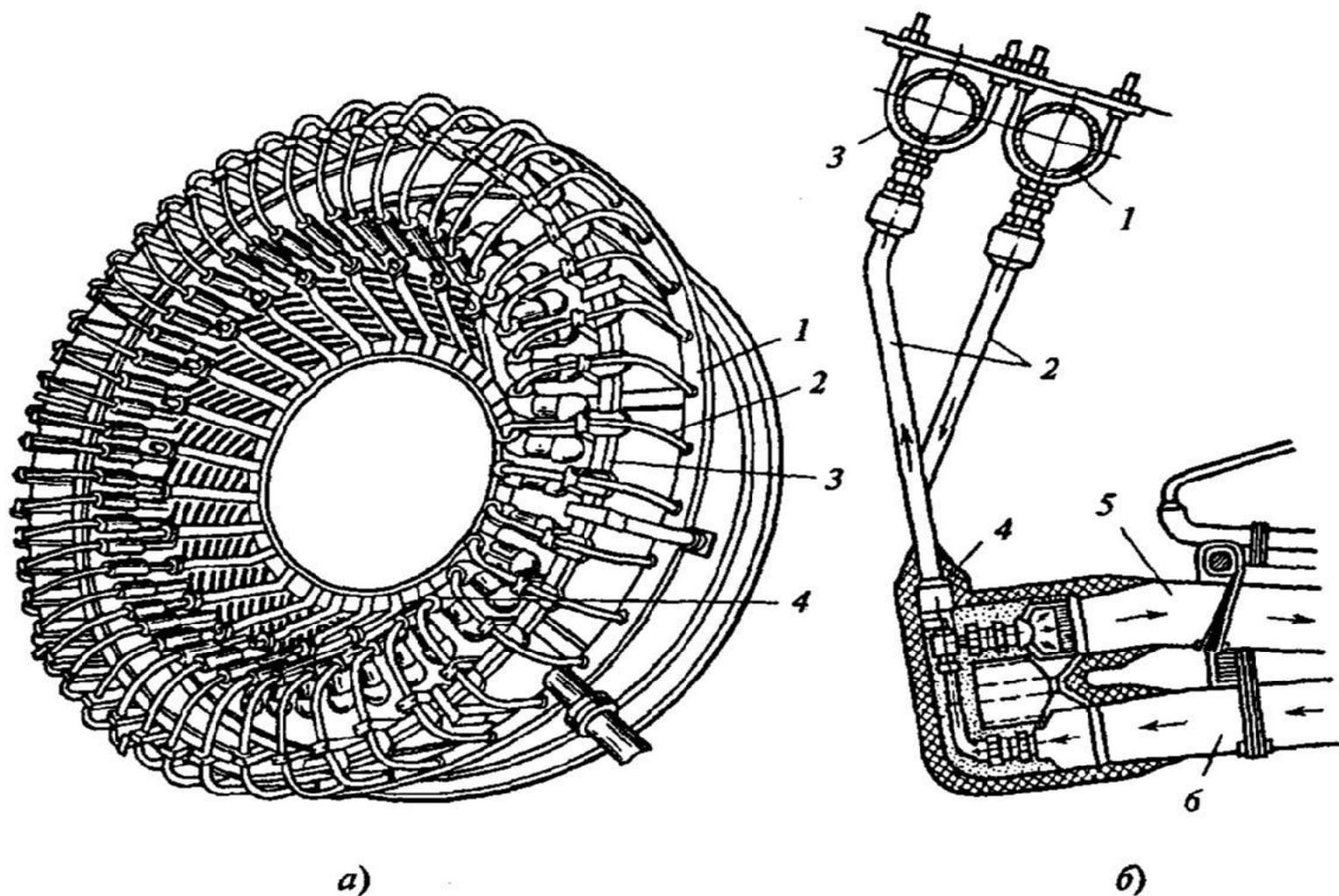
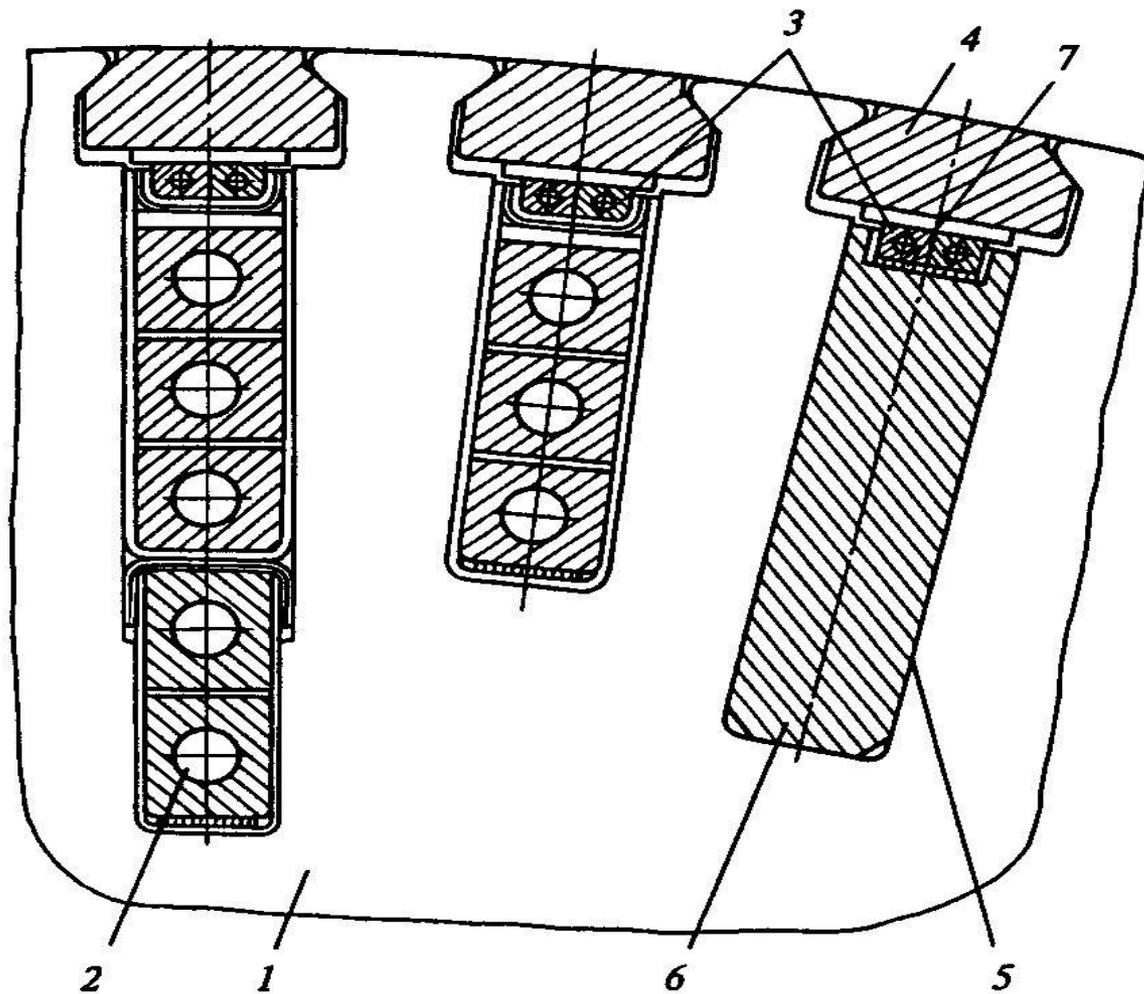


Схема охлаждения турбогенератора серии ТВФ



Устройство для подача и отвода охлаждающей воды к проводникам обмотки статора:

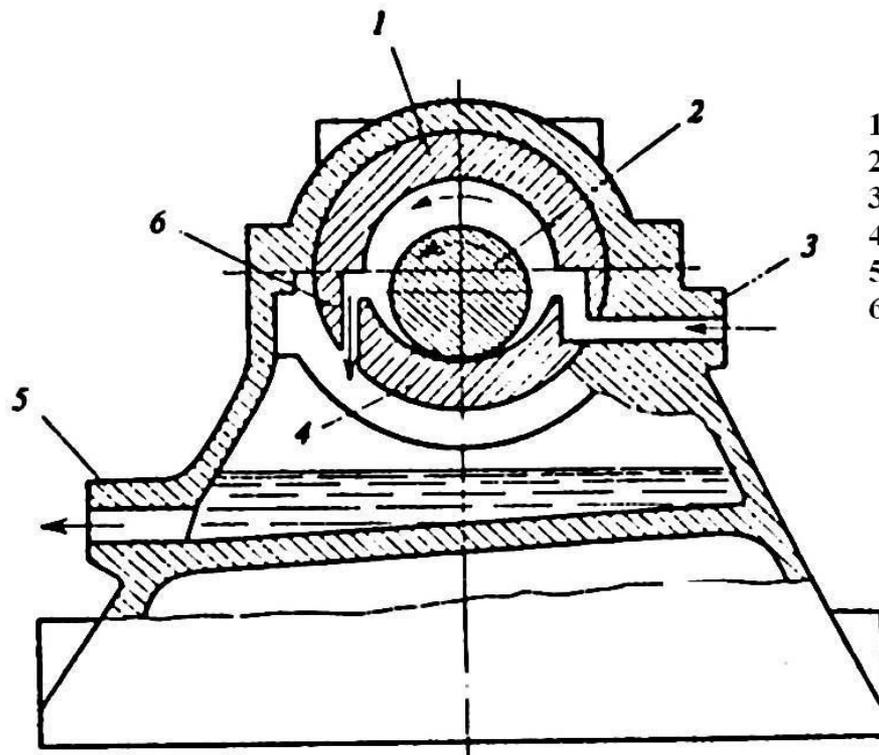
а — общий вид; *б* — конструктивная схема: 1, 3 — коллекторы холодной и нагретой воды; 2 — гибкие изолирующие шланги; 4 — водораспределительные наконечники; 5, 6 — головки стержней



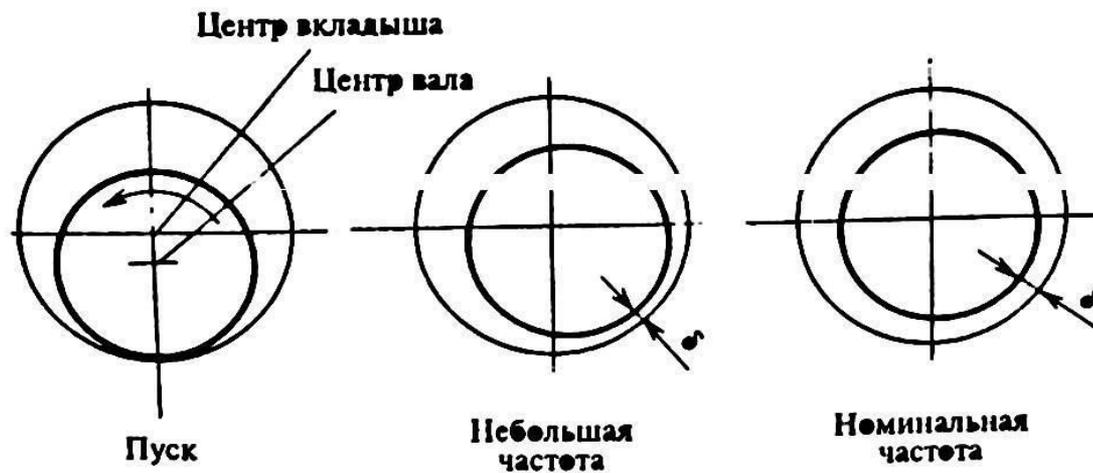
Пазы ротора (поперечный разрез):

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

Ключевые дефекты турбогенератора



- 1 - верхний полувкладыш;
- 2 - цапфа;
- 3 - наливное отверстие корпуса;
- 4 - нижний полувкладыш;
- 5 - спускное отверстие корпуса;
- 6 - спускное отверстие вкладыша



Главным фактором, определяющим конструкцию, являются большие механические напряжения в роторе. Ротор цельнокованный, из высоколегированной стали. Диаметры роторов самых мощных двухполюсных турбогенераторов не превышают 1,25 м.

Узел	Вид повреждения
Ротор	Поломка вала
	Разрушение бандажных колец
	Трещины на поверхности ротора
	Повреждение и деформация витков лобовых частей катушек обмотки возбуждения
	Повреждение токоподвода
	Витковое короткое замыкание в катушках обмотки возбуждения
	Повышенная вибрация ротора
	Нарушение щёточно-контактного узла
	Повреждение крайних пакетов сердечника статора
Статор	Повреждение изоляции обмотки статора
	Межфазное короткое замыкание
	Течь из системы водяного охлаждения обмотки статора
	Утечка водорода через выводы обмотки статора
Прочие	Повреждение уплотнений вала
	Повреждение подшипников

Заводы изготовители ТГ

- АО «Электросила»
- Сибэлектротяжмаш
- Электротяжмаш г. Харьков
- Лысьвинский завод

TC-32-2B3	32000	40000	10500	3000	98,2	78800
T-32-2B3	32000	40000	6300 10500	3000	98,4	83000
T-50-2У3	50000	62500	6300 10500	3000	98,2	143000
TC-63-2B3-Г	63000	78750	6300 10500	3000	98,4	165000
TC-63-2B3-П	63000	78750	6300 10500	3000	98,4	145000

Примечание:

* в стадии освоения.

Г – газовая турбина,

П – паровая турбина.



ГТГ-2,5-2РУХЛЗ	2500	3125	6300 10500	3000	96,8 96,7	14500 15150
ГТГ-4-2РУХЛЗ	4000	5000	6300 10500	3000	97,2 97,0	17050 15000
ГТГ-6-2РУХЛЗ	6000	7500	6300 10500	3000	97,5	20500
ГТГ-8-2РУХЛЗ	8000	10000	6300 10500	3000	97,5	29000

Примечание: К – корпусное исполнение
ГТГ – газотурбинный генератор



Заводы изготовители ТГ

Наименование серии, изготовитель	Расшифровка	Система охлаждения		
		Обмотки статора	Сердечника статора	Обмотки ротора
<p>Т2-2,5-2, Т2-4-2, Т2-6-2, Т2-12-2, АО «Электросила», Т2,5-2УЗ, Т-4-2УЗ, Т-6-2УЗ, Т-12-2УЗ, Лысьвинский завод</p>	<p>Т - турбогенератор, 2 - вторая серия, Мощность в МВт, 2 - двухполюсный УЗ – климатическое исполнение и категория размещения</p>	<p>Косвенное воздуш- ное</p>	<p>Непосред- ственное воздушное</p>	<p>Косвен- ное воздуш- ное</p>

Заводы изготовители ТГ

<p>ТФ-1,5-2УЗ, ТФ-3-2УЗ, ТФ-6-2УЗ, ТФ-10-2УЗ, ТФ-16-2УЗ, ТФ-25-2УЗ, ТФ-25-4УЗ, ТФ-36-2УЗ, ТФ-60-2УЗ, ТФ-80-2УЗ, ТФ-110-2УЗ, ТФ-160-2УЗ, ТФ-180-2УЗ, ТФ-220-2УЗ, ОАО «Электросила»</p>	<p>Ф – форсированное охлаждение 2 или 4 – двухполюсный или четырёхполюсный. При сопряжении с паровой турбиной вводится индекс П (ТФП); при сопряжении с газовой – индекс Г (ТФГ)</p>	<p>То же</p>	<p>То же</p>	<p>Непосред ственное воздуш- ное</p>
---	--	--------------	--------------	--

Заводы изготовители ТГ

<p>ТЗФ-50-2УЗ, ТЗФ-63-2УЗ, ТЗФ-80-2УЗ, ТЗФ-110-2УЗ, ТЗФ-160-2УЗ, ТЗФ-220-2УЗ, ТЗФ-320-2УЗ, АО «Электросила»</p>	<p>ЗФ – форсированное охлаждение с разделением воздушных потоков в статоре и роторе</p>	»	»	То же
<p>ТВ2-30-2, ТВ2-100-2, ТВ2-150-2, АО «Электросила»</p>	<p>В – водородное охлаждение</p>	<p>Косвенное водоро- дом</p>	<p>Непосред- ственное водородом</p>	<p>Косвен- ное водоро- дом</p>

Заводы изготовители ТГ

<p>ТВВ-165-2, ТВВ-200-2, ТВВ-320-2, ТВВ-500-2, ТВВ-800-2, ТВВ-1000-2, ТВВ-1000-4, ТВВ-1200-2, ТВВ-160-2Е, ТВВ-220-2Е, ТВВ-320-2Е, ТВВ-350-2, ТВВ-500-2Е, ТВВ-800-2Е, ТВВ-220-3600, АО«Электросила»</p>	<p>ВВ – водородно- водяное охлаждение, Е – единая серия, 3600 – частота вращения ротора</p>	<p>Непосред- ственное водой</p>	<p>То же</p>	<p>Непосред- ственное водоро- дом</p>
--	---	---	--------------	---

Заводы изготовители ТГ

<p>ТВФ-60-2УЗ, ТВФ-63-2УЗ, ТВФ-100-2УЗ, ТВФ-110-2УЗ, ТВФ-120-2УЗ, ТВФ-200-2УЗ, АО«Электросила»</p>	<p>Ф – форсированное охлаждение ротора</p>	<p>Косвенное водоро- дом</p>	<p>Непосред- ственное водородом</p>	<p>Непосред- ственное водородом</p>
<p>ТГВ-200-2, ТГВ-300-2, ТГВ-500-2, ТГВ-800-2, Завод «Электро- тяжмаш», г. Харь- ков</p>	<p>ТГ – турбогенератор, водородно-водяное охлаждение обмоток</p>	<p>Непосред- ственное водоро- дом (для ТГВ-500,8 00 - водой)</p>	<p>»</p>	<p>Непосред- ственное водоро- дом (для ТГВ-500,8 00 - водой)</p>

Заводы изготовители ТГ

<p>ТЗВ-63-2УЗ, ТЗВ-110-2УЗ, ТЗВ-160-2УЗ, ТЗВ-220-2УЗ, ТЗВ-320-2УЗ, ТЗВ-400-2УЗ, ТЗВ-540-2УЗ, ТЗВ-645-2УЗ, ТЗВ-800-2УЗ, ТЗВ-1100-2УЗ, ТЗВ-1300-2УЗ, ТЗВ-1500-2УЗ, АО«Электросила»</p>	<p>ЗВ – полное водяное охлаждение</p>	<p>Непосред- ственное водой</p>	<p>Непосред- ственное водой</p>	<p>Непосред- ственное водой</p>
---	--	--	--	--

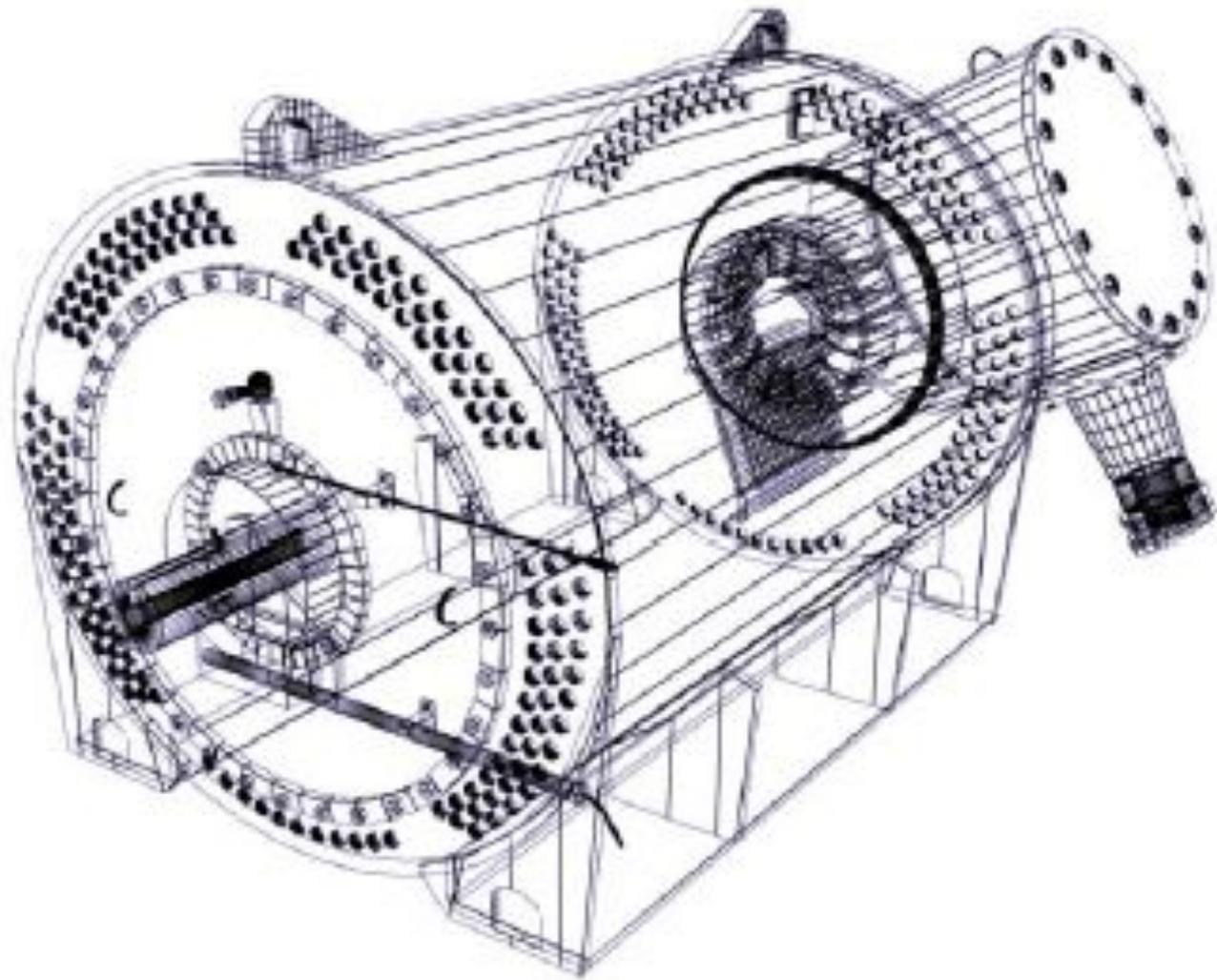
Заводы изготовители ТГ

<p>ТЗВА-110-2УЗ, ТЗВА-160-2УЗ, ТЗВА-180-2УЗ, ТЗВА-220-2УЗ, ТЗВА-320-2УЗ, АО«Электросила»</p>	<p>Турбогенератор ТЗВ асинхронизированный</p>	<p>Непосред- ственное водой</p>	<p>Непосред- ственное водой</p>	<p>Непосред- ственное водой</p>
<p>ТВМ-110-2, ТВМ-160-2, ТВМ-220-2, ТВМ-320-2, ТВМ-500-2, «Сибэлектро- тяжмаш»</p>	<p>М – масляное охлаждение статора, погруженного исполнения, В – водяное охлаждение обмотки ротора</p>	<p>Непосред- ственное маслом</p>	<p>Непосред- ственное маслом</p>	<p>Непосред- ственное водой</p>

Синхронные двигатели

❖ Достоинства:

- Возможность работы при $\cos\varphi=1$
- Меньшая чувствительность к колебаниям напряжения
- Строгое постоянство частоты вращения





Синхронные двигатели

Недостатки

- Сложность конструкции
- Сравнительная сложность пуска в ход
- Возможность регулирования частоты вращения только с помощью частотного преобразователя $n=60f/p$

Синхронные двухполюсные двигатели

- Серии СТД, СТДП, СТДМ мощностью от 630-12500 кВт для привода насосов, компрессоров, газовых нагнетателей...

Степень защиты IP44, IP22

Возбуждение от тиристорных возбудителей

Способы пуска-прямой от полного напряжения сети или частотный пуск

Синхронные двигатели

Тип	Мощность кВт	Напряже- ние, В	Частота вращения об.мин	КПД	Масса кг
СТДМ-630- 2УХЛ4	630	6000	3000	95,9	3800
		10000		95,7	4400
СТД-8000- 2УХЛ4	8000	6000	3000	97,5	21100
		10000		97,6	23950
СТД-12500 2УХЛ4	12500	6000	3000	97,9	29500
		10000		97,8	28900

Тип двигателя	Мощность кВт	Напряжение, В	Частота вращения об/мин	КПД %	Масса кг
СДКП-2-1 6-24-12К	315	6000	500	92.2	3700
СДКП-2-1 6-29-10К	500	6000	500	94	4000
СДКП-2-1 7-31-12К	800	6000	500	94.5	5650
СДКП-2-1 6-36-14К	400	6000	514	93.2	4600

Тип изделия	Мощность, кВт	Напряжение, В	вращения, об/мин	КПД, %	Масса, кг
СТД-800-3600Т4	800	6000	3600	95,3	5130
СТД-1600-3600Т4	1600	6000 10000	3600	96,6 96,2	7580
СТД-2500-3600Т4	2500	10000	3600	96,7	11100
СТД-1000-2Т4	1000	10000	3000	95,8	6980
СТД-1250-2Т4	1250	11000	3000	96,3	7580
СТД-1600-2Т4	1600	6000	3000	96,6	7980
СТД-1600-2Т4	1750	6300	3000	96,4	7980
СТД-1600-2Т4	1600	6600	3000	96,4	7980
СТД-1600-2Т4	1600	11000	3000	96,5	7980
СТД-1600-2Т4	1600	10000	3000	96,4	7980
СТД-3150-2Т4	3150	11000	3000	96,7	12300
СТД-4000-2Т3	4000	6600 11000	3000	97,0 96,9	14700
СТД-10000-2Т3	10000	11000	3000	97,7	29700
СТД-1000-3600РУХЛ4 р.ц.в.	1000	10000	3600	95,0	5600
СТД-3150-3600ЗУХЛ4 з.ц.в.	3150	6000	3600	96,6	12285
СТД-10000-3600УХЛ4 з.ц.в.	10000	6000	3600	97,5	26800

