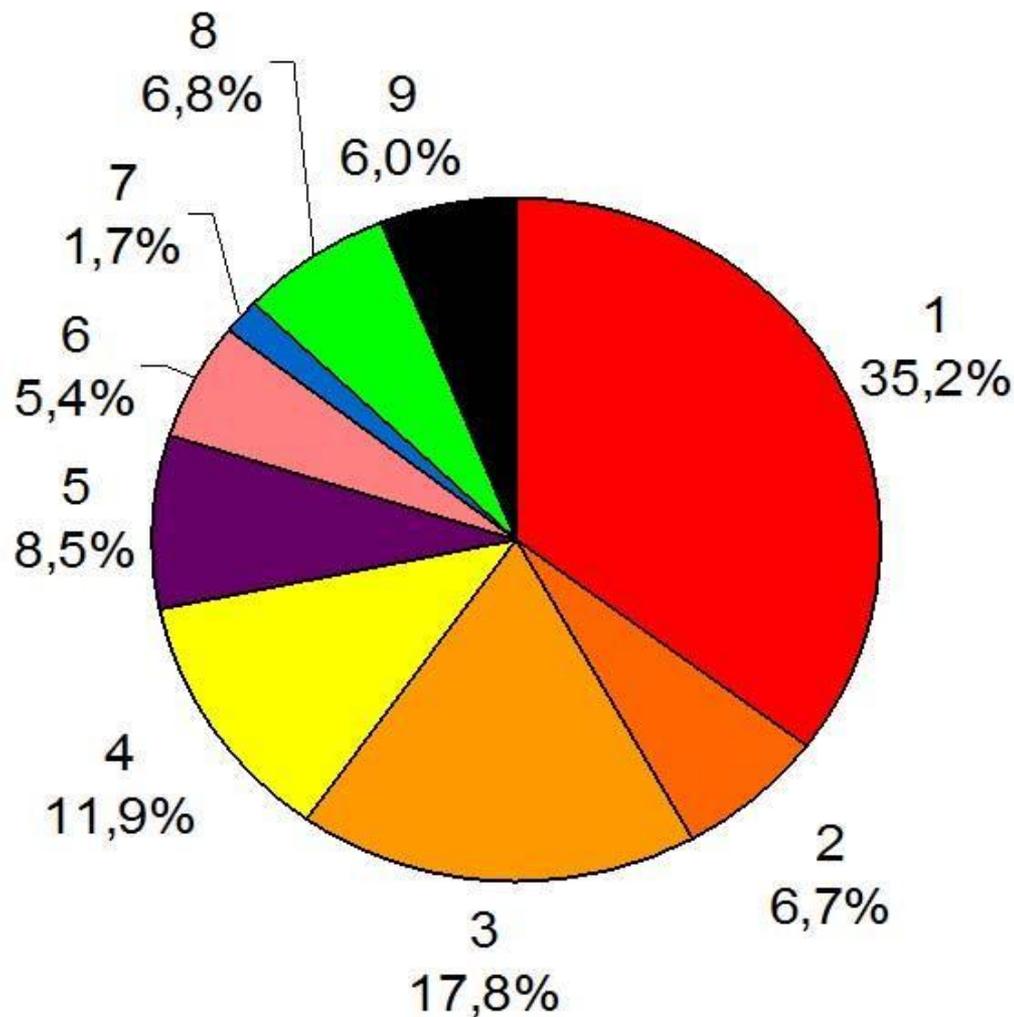


## Введение в курс

# «Основы эксплуатации ЭЧС электростанций»



- 1 – плохая организация технического обслуживания;
- 2 – ошибки действий оперативного персонала;
- 3 – ошибки действий руководящего, ремонтного персонала, а также персонала служб и лабораторий;
- 4 – дефекты ремонта;
- 5 – дефекты производства;
- 6 – дефекты проекта и конструкции;
- 7 – дефекты монтажа, строительства;
- 8 – влияние сторонних организаций;
- 9 – стихийные явления..

Рис. В.1 – Диаграмма распределения аварийности на электростанциях и подстанциях (2006 год).

# Синхронные генераторы

$$n = 60 f / p, \quad (1-1)$$

где  $n$  - скорость вращения электромагнитного поля ротора;  
 $f$  - частота переменного тока;  
 $p$  - число пар полюсов генератора.

Меньшая частота вращения вала турбины позволяет применить в выхлопных ступенях лопатки большей длины и увеличить тем самым предельную мощность турбины, ограниченную механическими напряжениями в материале лопаток последних ступеней.

Такая необходимость увеличения площади лопаток возникает в следующих случаях:

- при низких начальных параметрах пара (АЭС) ;
- при конструировании особо мощных турбин (1,2 ГВт и более), а также *двухвальных турбин*, с мощностью, не осуществимой сегодня в одновальном исполнении.

Двухвальные турбоагрегаты, имеющие широкое распространение в США, у нас не применяются из-за пониженного к.п.д. и сложности их эксплуатации по сравнению с одновальными.

Число пар полюсов не может быть дробным, и поэтому следующая частота вращения - 1500 об/мин, соответствующая четырехполюсному исполнению генератора.

Кроме частоты вращения, определяющей совместно с числом пар полюсов номинальную частоту генератора, синхронные генераторы характеризуются другими номинальными параметрами, основными из которых являются активная и полная мощности

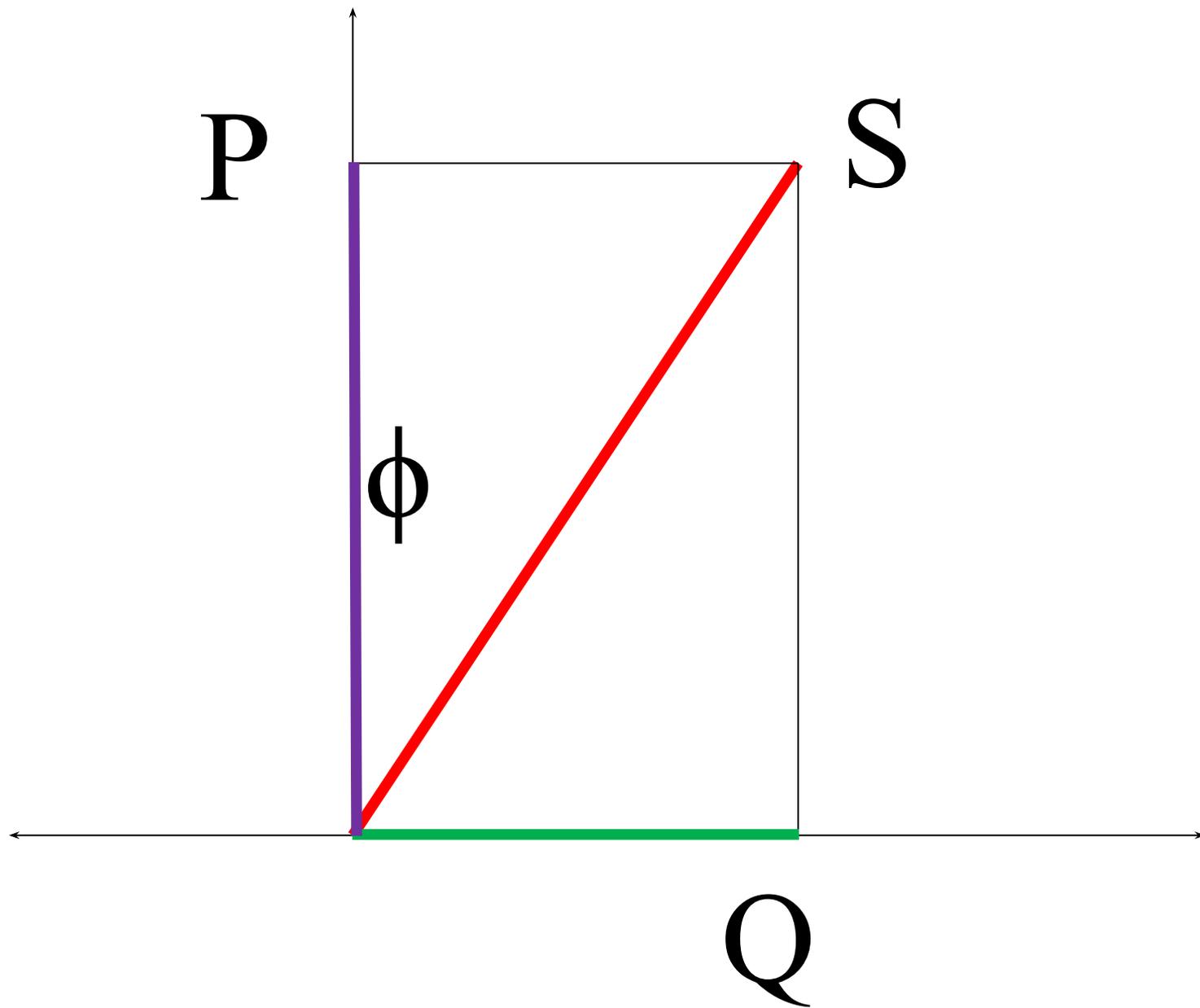
# Синхронные генераторы

Номинальная полная мощность

$$S_H = \sqrt{3} U_H I_H, \quad (1-2)$$

Номинальная активная мощность

$$P_H = \sqrt{3} U_H I_H \cos \varphi. \quad (1-3)$$



# Синхронные генераторы

**$S$ , МВ.А:** 3,125; 5,0; 7,5; 15,0; 40;  
78,75; 125,0

при  
 $\cos \varphi = 0,8;$

**$S$ , МВ.А:** 188,0; 235,0; 353,0; 588,2;  
941,0

при  
 $\cos \varphi = 0,85;$

**$S$ , МВ.А:** 888,9 ; 1111,1; 1333,3

при  
 $\cos \varphi = 0,9;$

**$P$ , МВт:** 2,5; 4,0; 6,0; 12,0; 32; 63,0; 100,0; 160,0;  
200,0; 300,0; 500,0; 800,0; 1000,0; 1200,0.

# Синхронные генераторы

Номинальные значения реактивной мощности турбогенераторов не нормируются ГОСТ, они определяются, как:

$$Q_p = S_n \sin \varphi; \quad (1-4)$$

$$Q_p = P_n \operatorname{tg} \varphi. \quad (1-5)$$

# Синхронные генераторы

| <b>Основные технические данные и характеристики генератора ТВВ-1000-4У3</b> |                          |                 |
|---|--------------------------|-----------------|
| <i>Показатель</i>   | <i>Единицы измерения</i> | <i>Значение</i> |
| Мощность полная   | кВт                      | 1111000         |
| Мощность активная   | кВт                      | 1000000         |
| Напряжение  | В                        | 24000           |
| Ток статора   | А                        | 26730           |
| Ток ротора (расчетный)  | А                        | 7000            |
| Напряжение ротора (расчетное)   | В                        | 470             |
| Схема соединения обмоток статора  |                          | двойная звезда  |
| Коэффициент полезного действия  | %                        | 98,7            |
| Частота вращения ротора   | об/мин                   | 1500            |
| Частота   | Гц                       | 50              |
| Масса ротора  | кг                       | 156000          |

# Синхронные генераторы

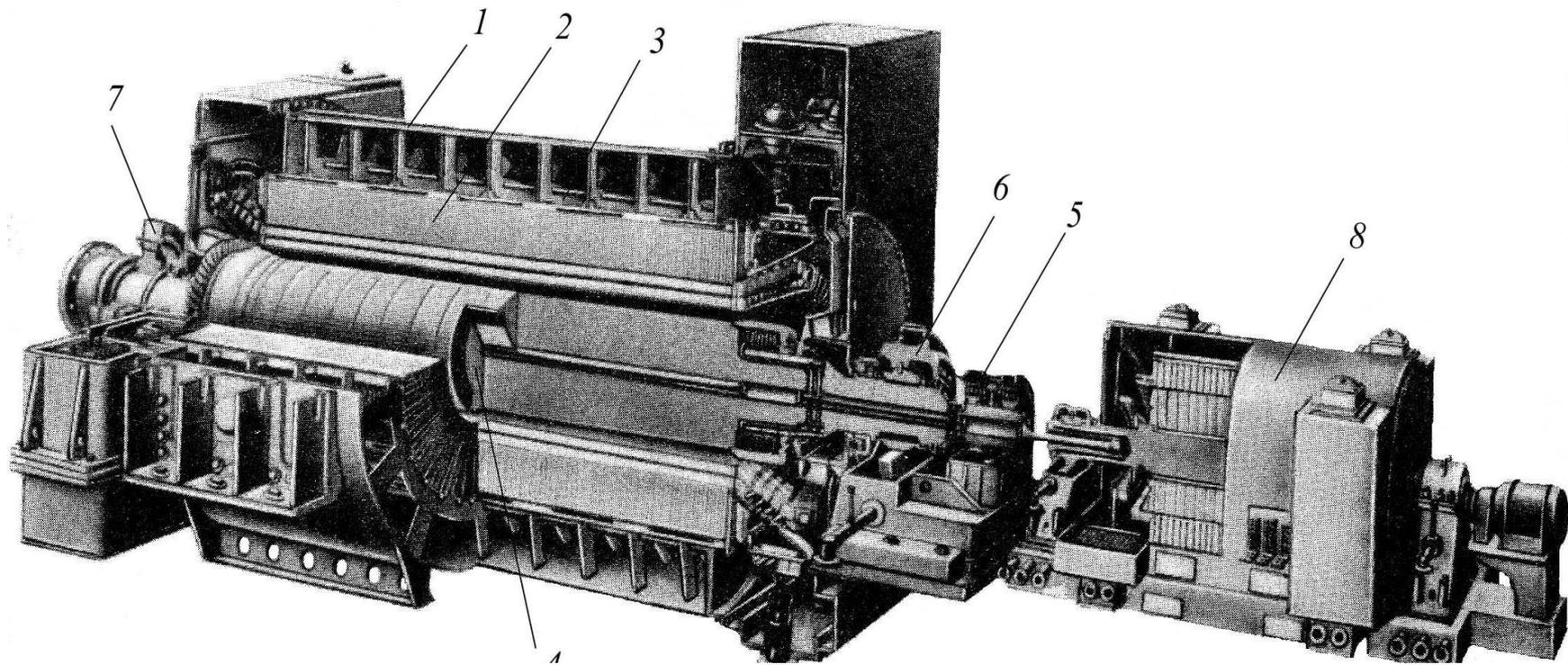


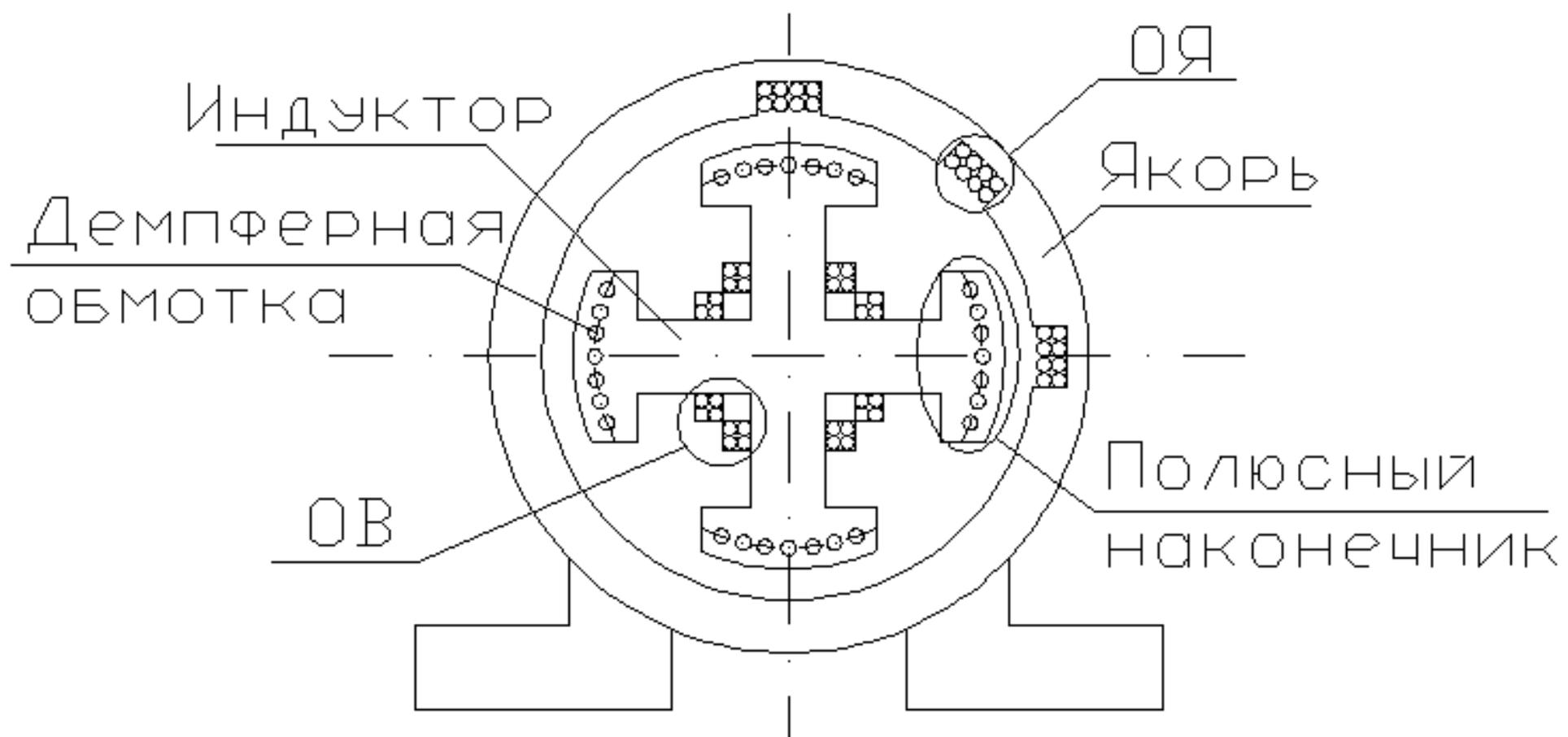
Рис. 1.1. Общий вид синхронного турбогенератора

1 - корпус статора, 2 - сердечник статора, 3 - обмотка статора, 4 - ротор, 5 - контактные кольца и щеточный аппарат, 6,7 - подшипники, 8 - возбудитель.

# Синхронные генераторы



Рис 1.2 Внешний вид турбогенератора ТГ-6 Запорожской АЭС типа ТВВ-1000-4УЗ.



# Синхронные генераторы

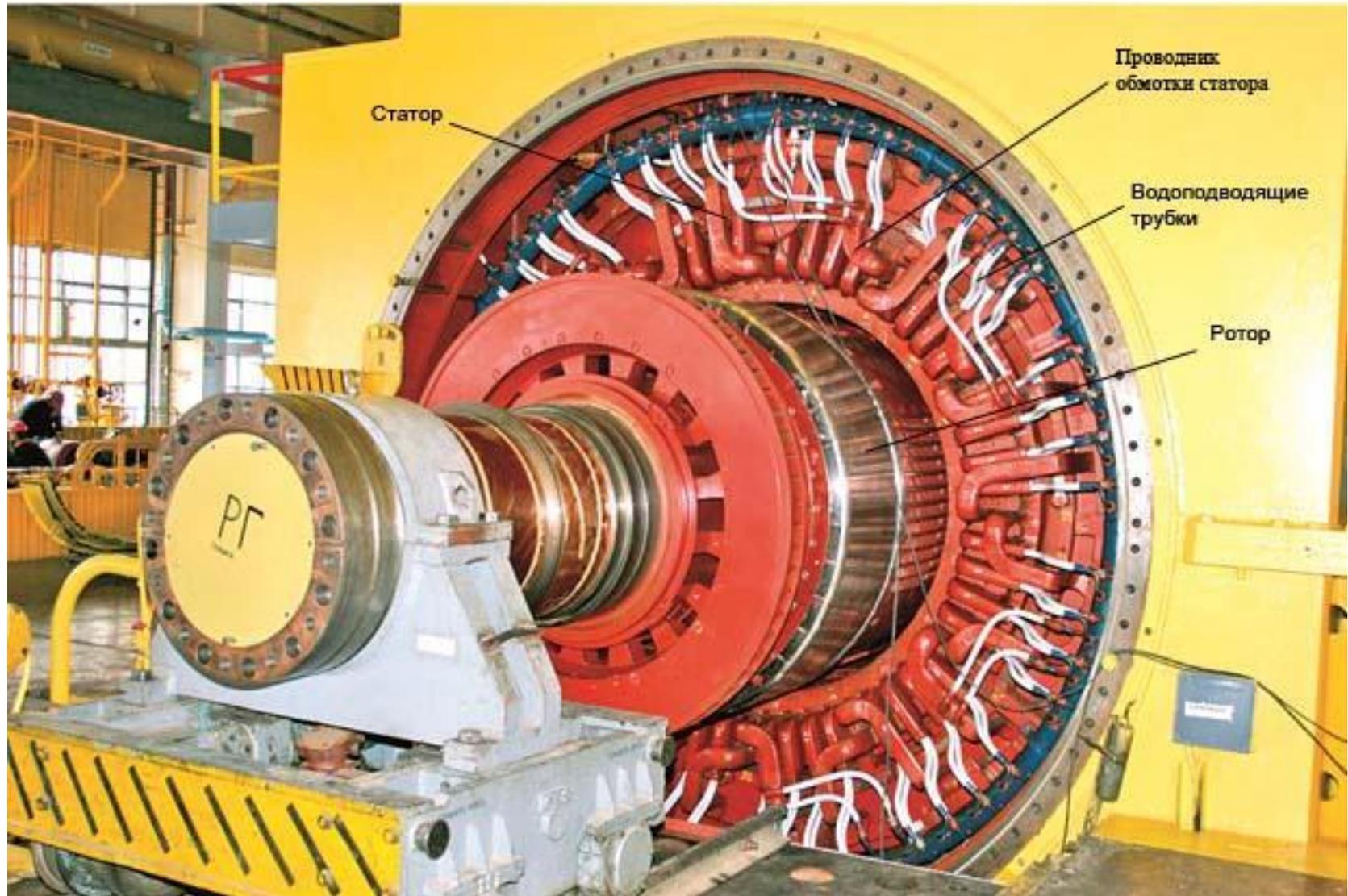


Рис 1.4 Вид турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ со снятой крышкой

# Синхронные генераторы

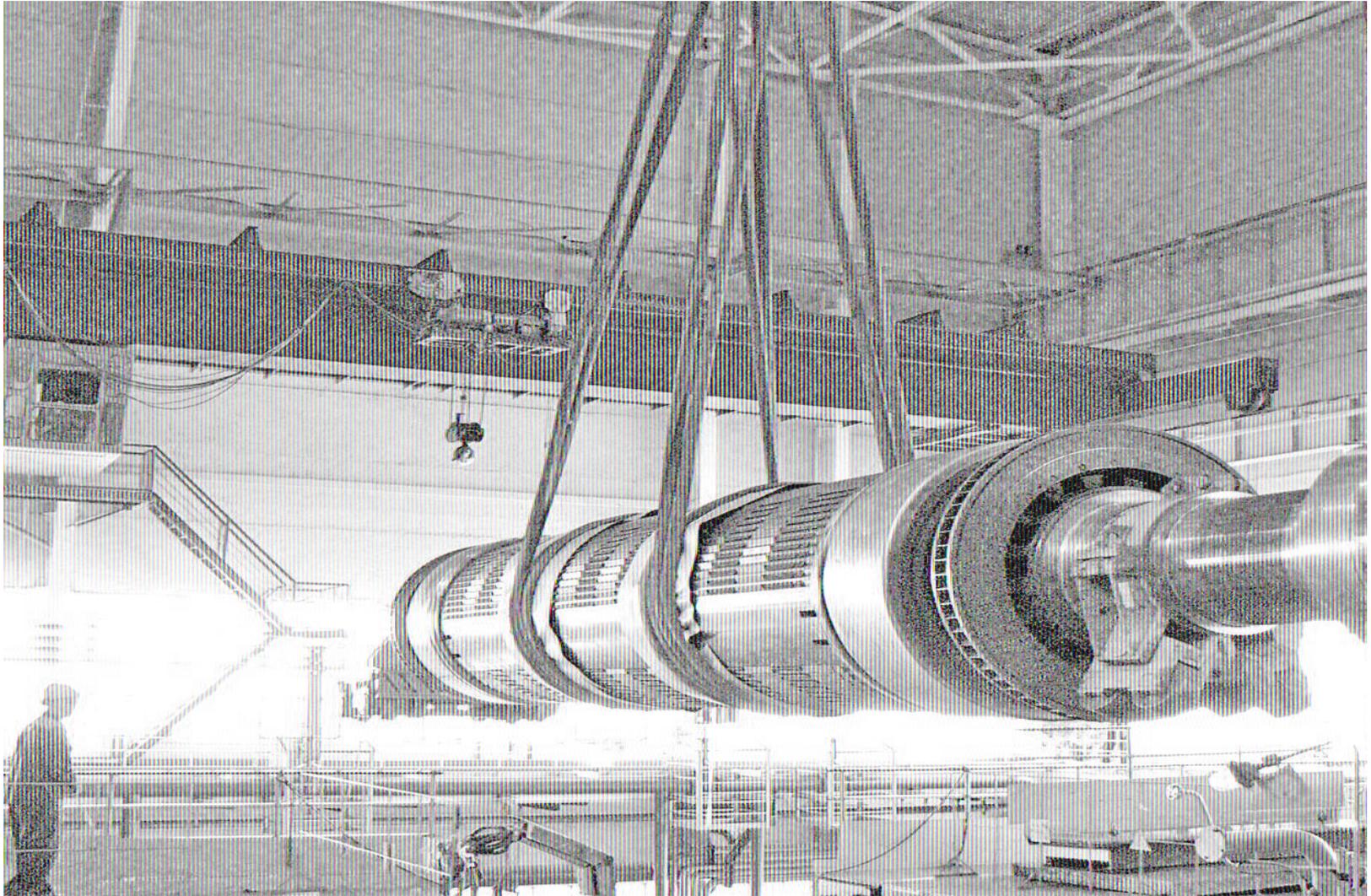
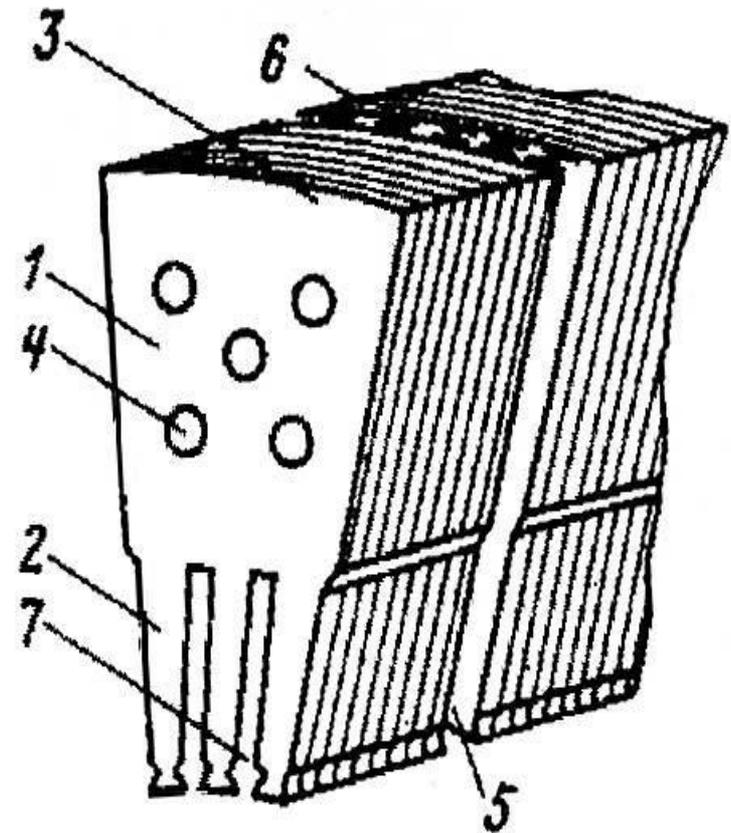


Рис. 1.6. Внешний вид ротора турбогенератора

# Синхронные генераторы

Рис. 1.2. Сегментный пакет статора турбогенератора :

1 - сегмент; 2 - зубец сегмента; 3 - спинка сегмента; 4 - аксиальный вентиляционный канал; 5 - радиальный вентиляционный канал; 6 - распорка; 7 - паз статора.



# Синхронные генераторы

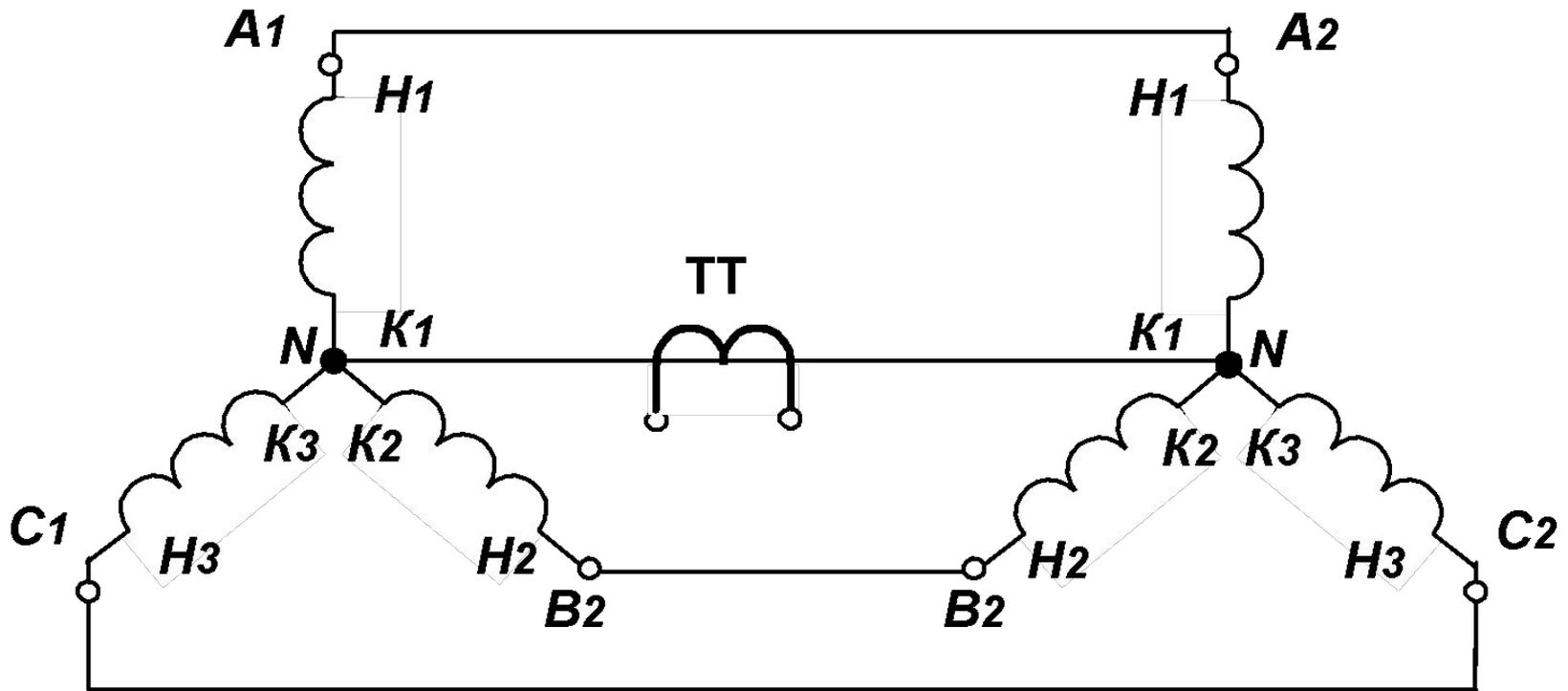


Рис 1.3. Схема соединения обмоток статора “двойная звезда”

# Синхронные генераторы

Рис. 1.7. Схематический разрез по пазу турбогенератора :

*а* - паз статора при косвенном охлаждении;

*б* - паз статора при непосредственном охлаждении;

*в* - паз ротора при косвенном охлаждении;

*г* - паз ротора при непосредственном охлаждении

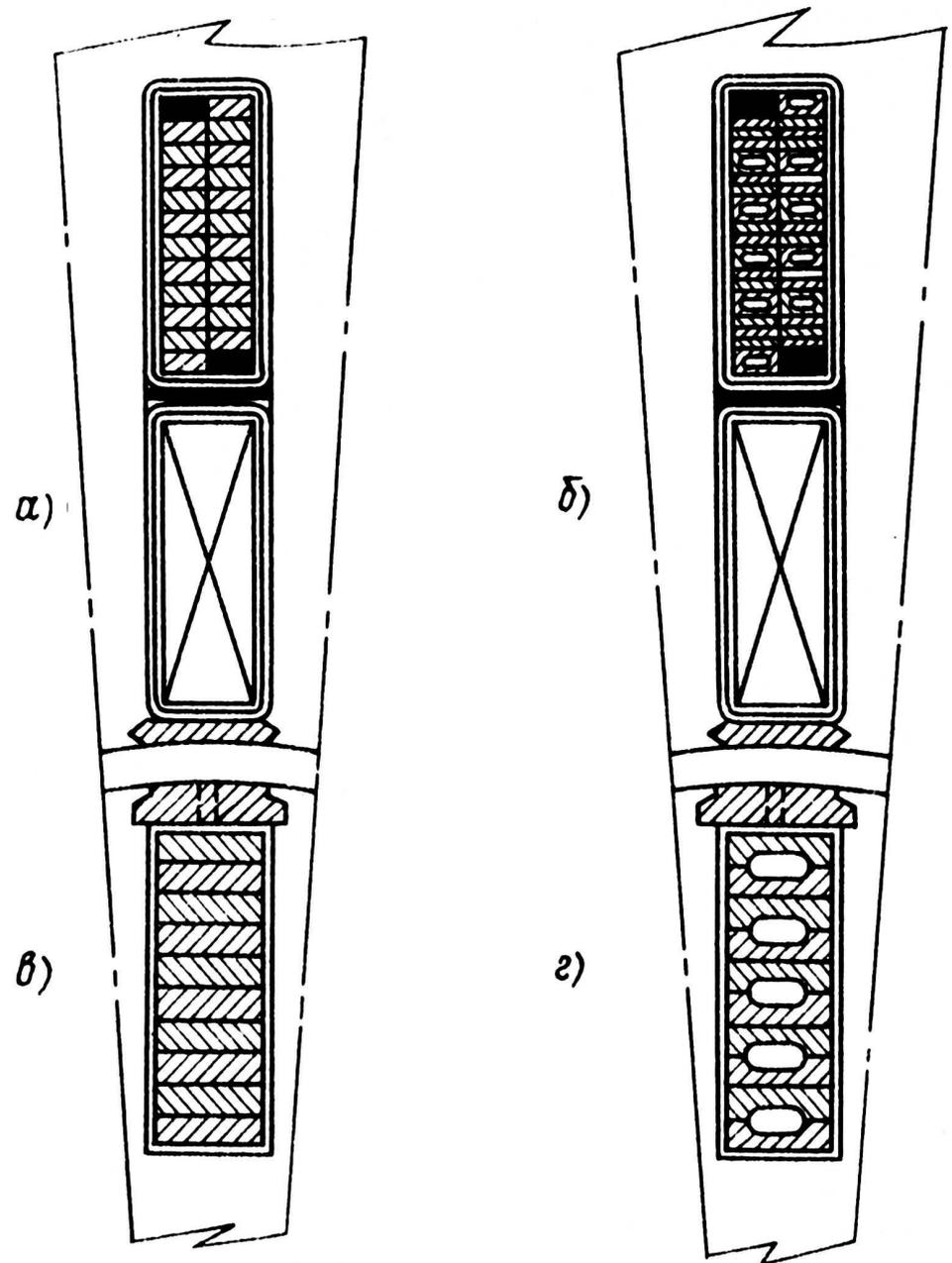


Рис. 20.3. Схематический разрез пазов турбо-

# Синхронные генераторы

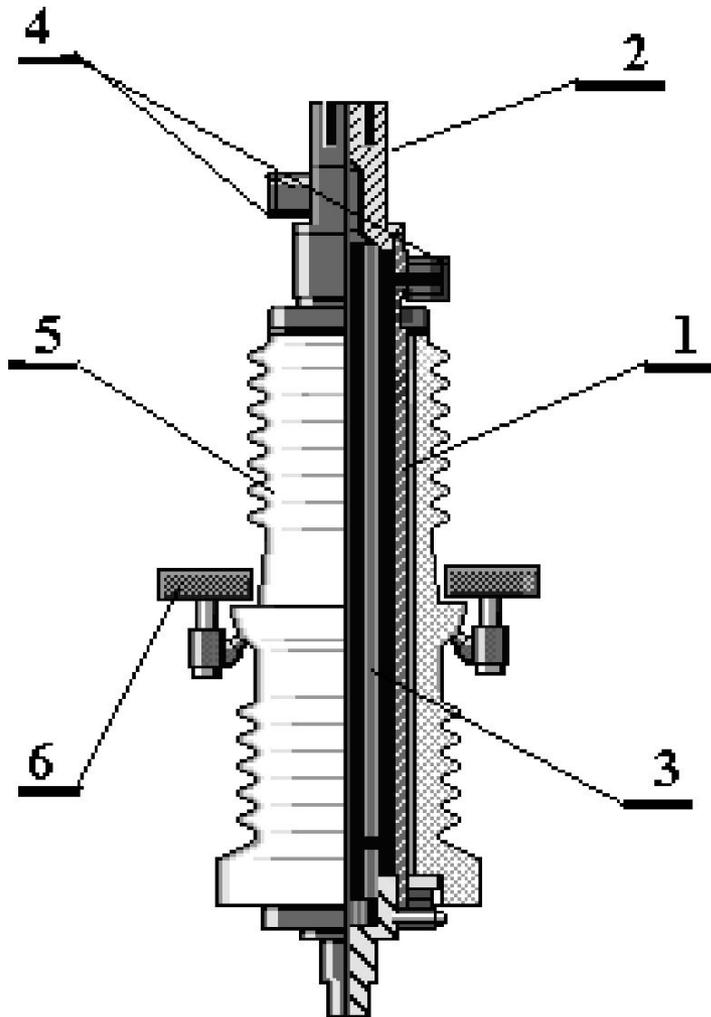
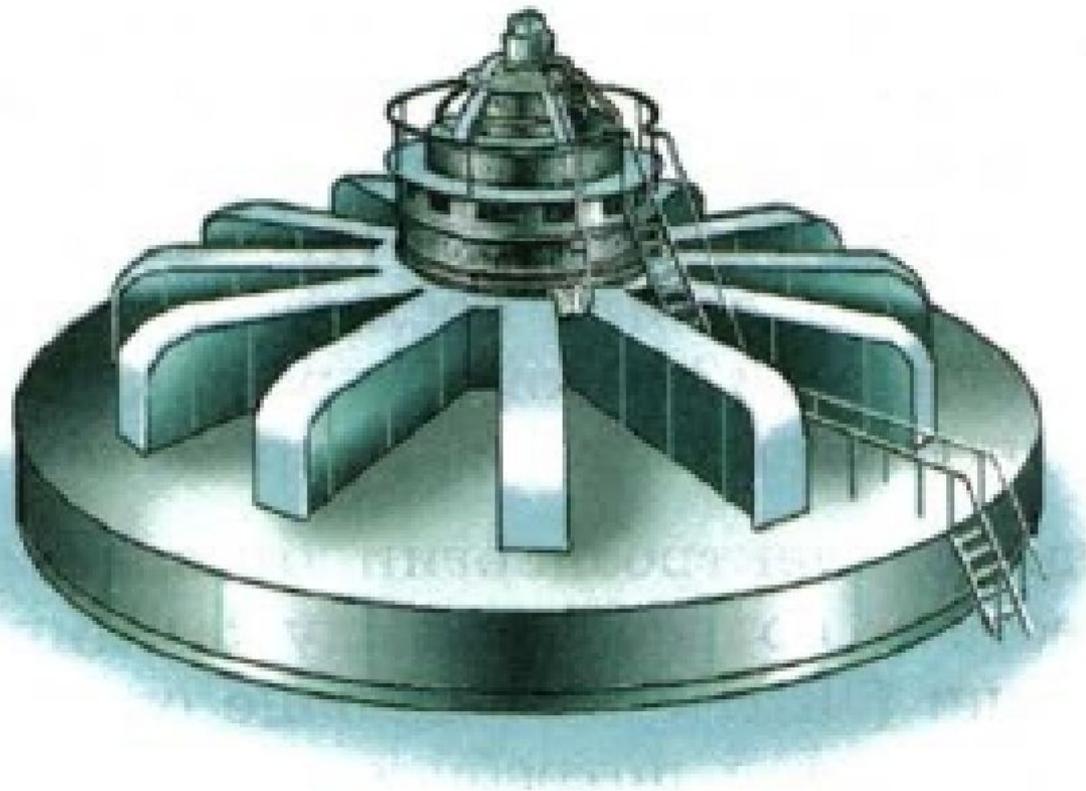


Рис. 1.5.

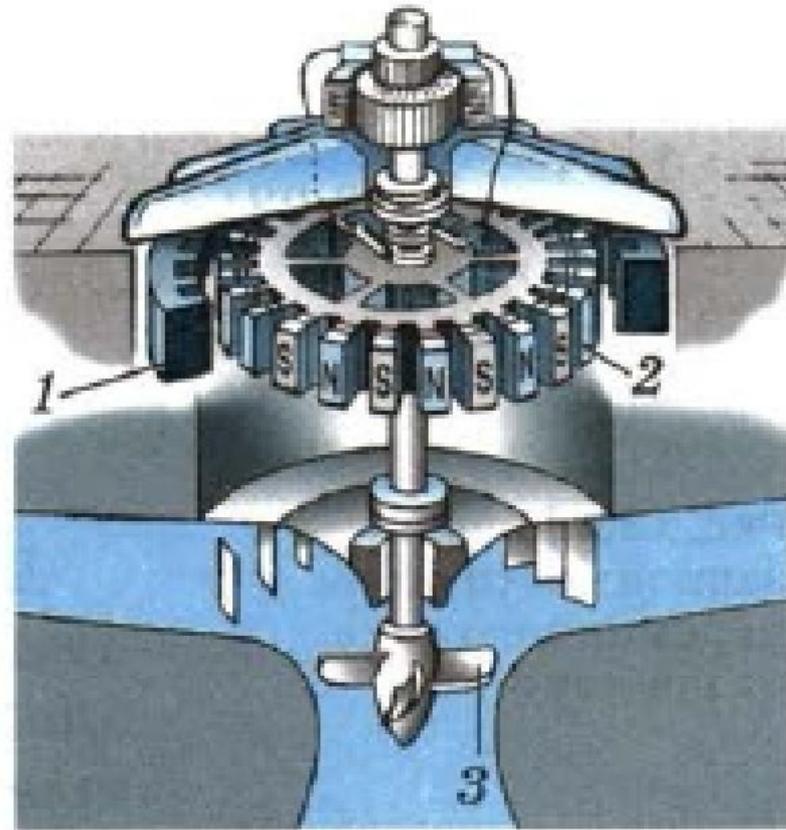
Вывод проходной:

- 1 – наружная труба;
- 2 – контактные пластины;
- 3 – внутренняя труба;
- 4 – штуцеры;
- 5 – фарфоровый изолятор;

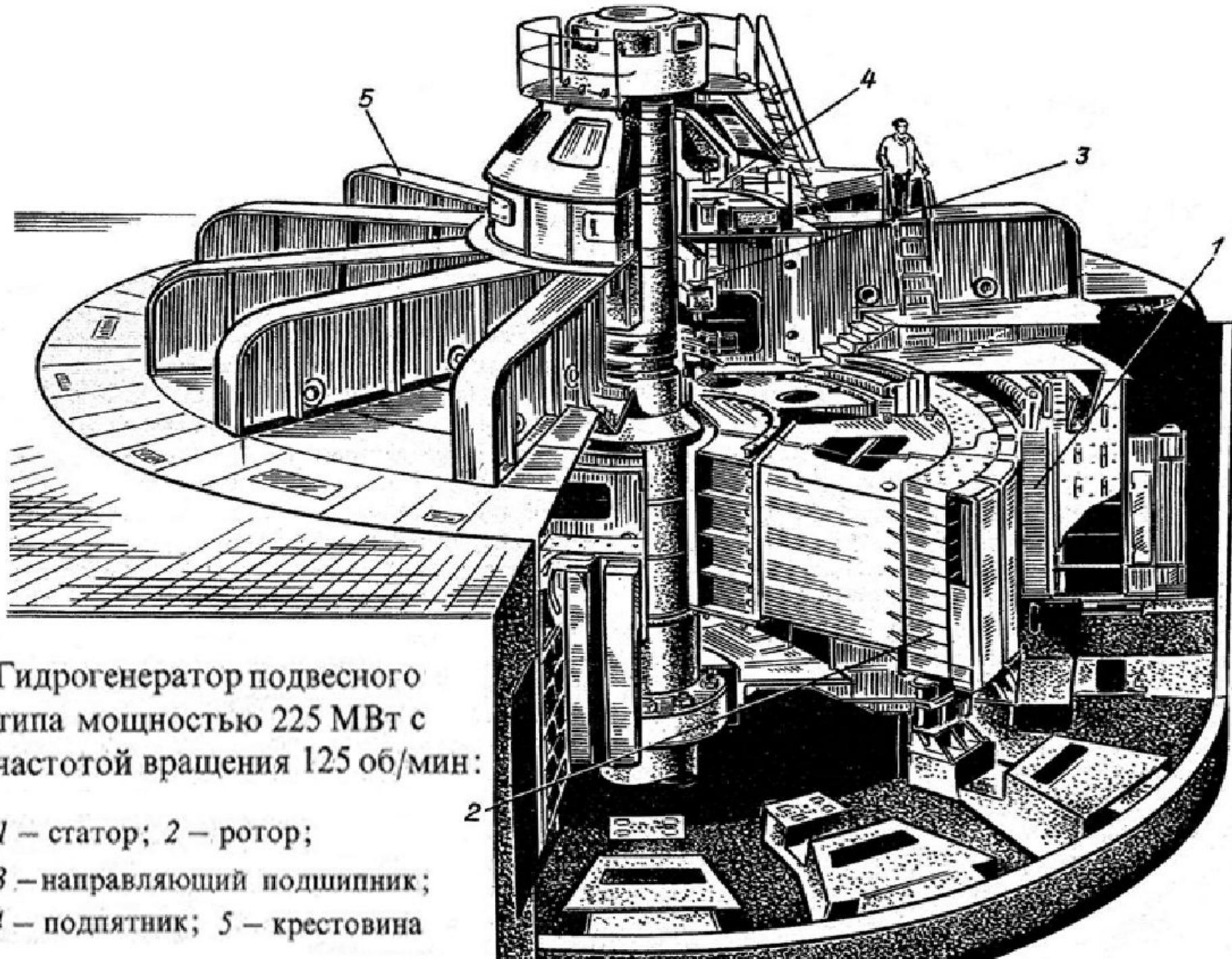
# Синхронный гидрогенератор



a)



б)



Гидрогенератор подвесного типа мощностью 225 МВт с частотой вращения 125 об/мин:

- 1 — статор; 2 — ротор;
- 3 — направляющий подшипник;
- 4 — подпятник; 5 — крестовина

# гидравлическими характеристиками турбины

$$n_{турб.} = n_{\bar{6}} H^{5/4} / \sqrt{P} \quad (1-6)$$

где  $n_{\bar{6}}$  - коэффициент быстроходности, зависящий от типа турбины, об/мин;

$H$  - напор, м;

$P$  - мощность турбины, МВт.

Как следует из формулы (1-6), частота вращения тем меньше, чем ниже напор и выше мощность гидроагрегата.

Так как на различных гидроэлектростанциях напоры и расходы воды отличаются большим разнообразием, то и гидрогенераторы имеют индивидуальное (для данного гидроствора!) исполнение на частоту вращения от 50 до 750 об/мин.

Большая часть исполненных сегодня гидромашин имеет частоту вращения в пределах от 50 до 125 об/мин, т.е. относится к ТИХОХОДНЫМ машинам.

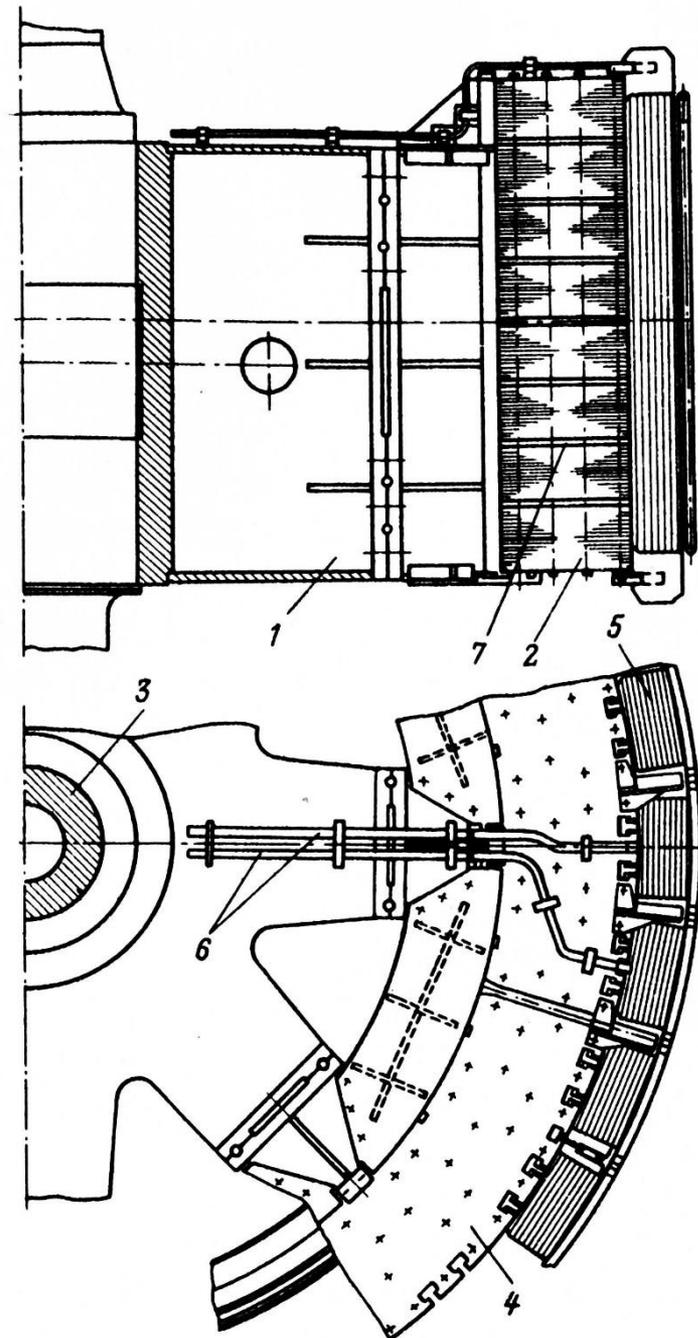
Ввиду большой разницы в частотах вращения ГГ и ТГ существует принципиальное различие и в конструкции их роторов. Гидрогенераторы имеют *явнополюсный ротор* (рис. 1.10), который представляет собой своеобразное колесо большого диаметра, состоящее из внутренней части - *остова*, насаживаемого с помощью втулки на вал, и наружной части - *обода*, собранного из штампованных сегментов.

На ободу ротора располагаются *полюсы с обмоткой возбуждения*.

# Синхронные генераторы

Рис. 1.9. Ротор гидрогенератора со спицевым остовом:

1 - остов; 2 - обод; 3 — вал; 4 - сегмент обода; 5 - полюс с катушкой обмотки возбуждения; 6 - токопровод, соединяющий обмотку возбуждения с контактными кольцами; 7 - вентиляционный радиальный канал



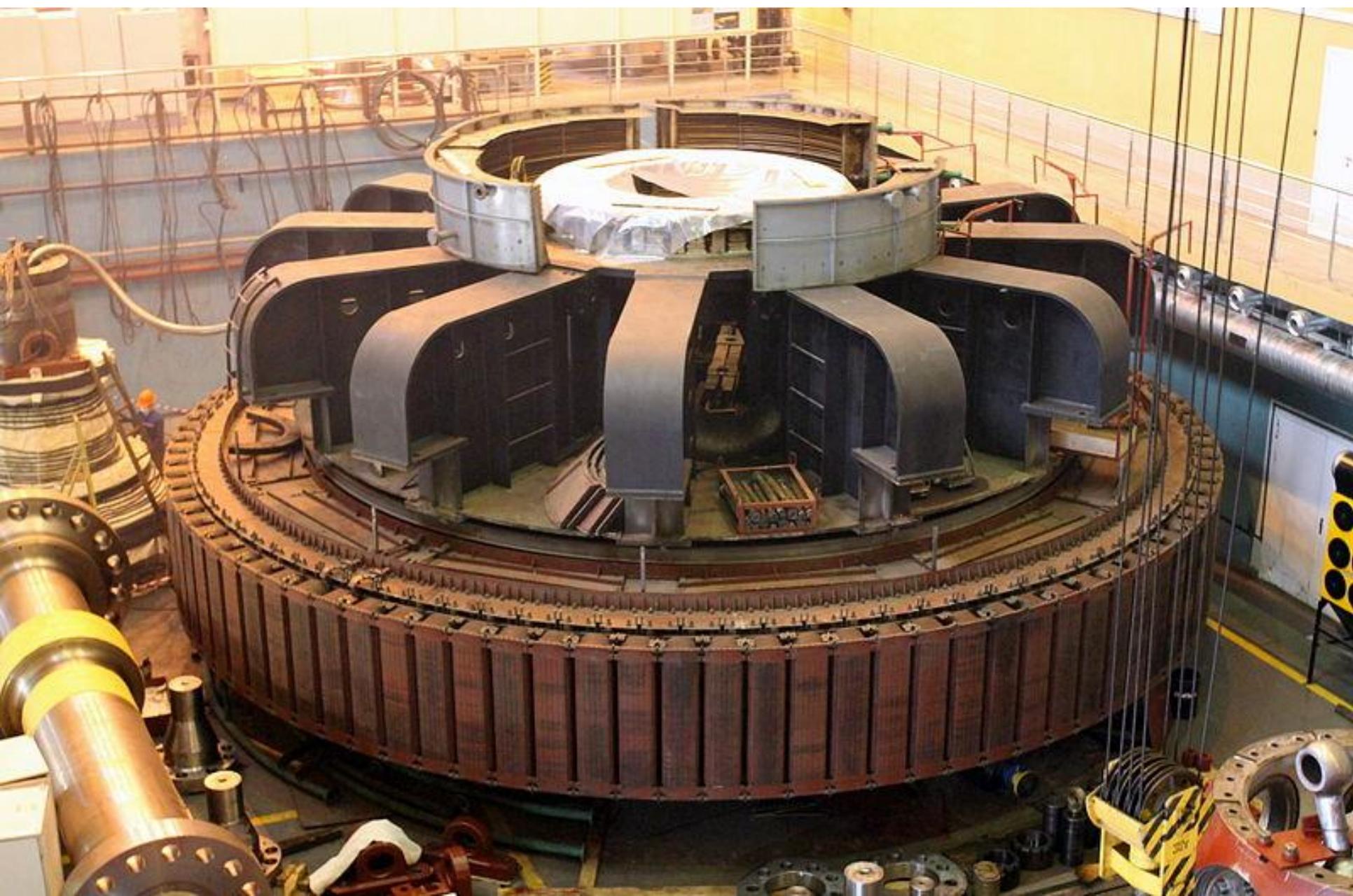
Чем меньше частота вращения ГГ, тем большее число полюсов и катушек необходимо разместить на обode. Поэтому у тихоходных гидрогенераторов диаметры роторов значительно больше, чем у быстроходных.

Диаметры роторов мощных гидроагрегатов достигают 14÷16 м, а статоров - 20÷22 м.

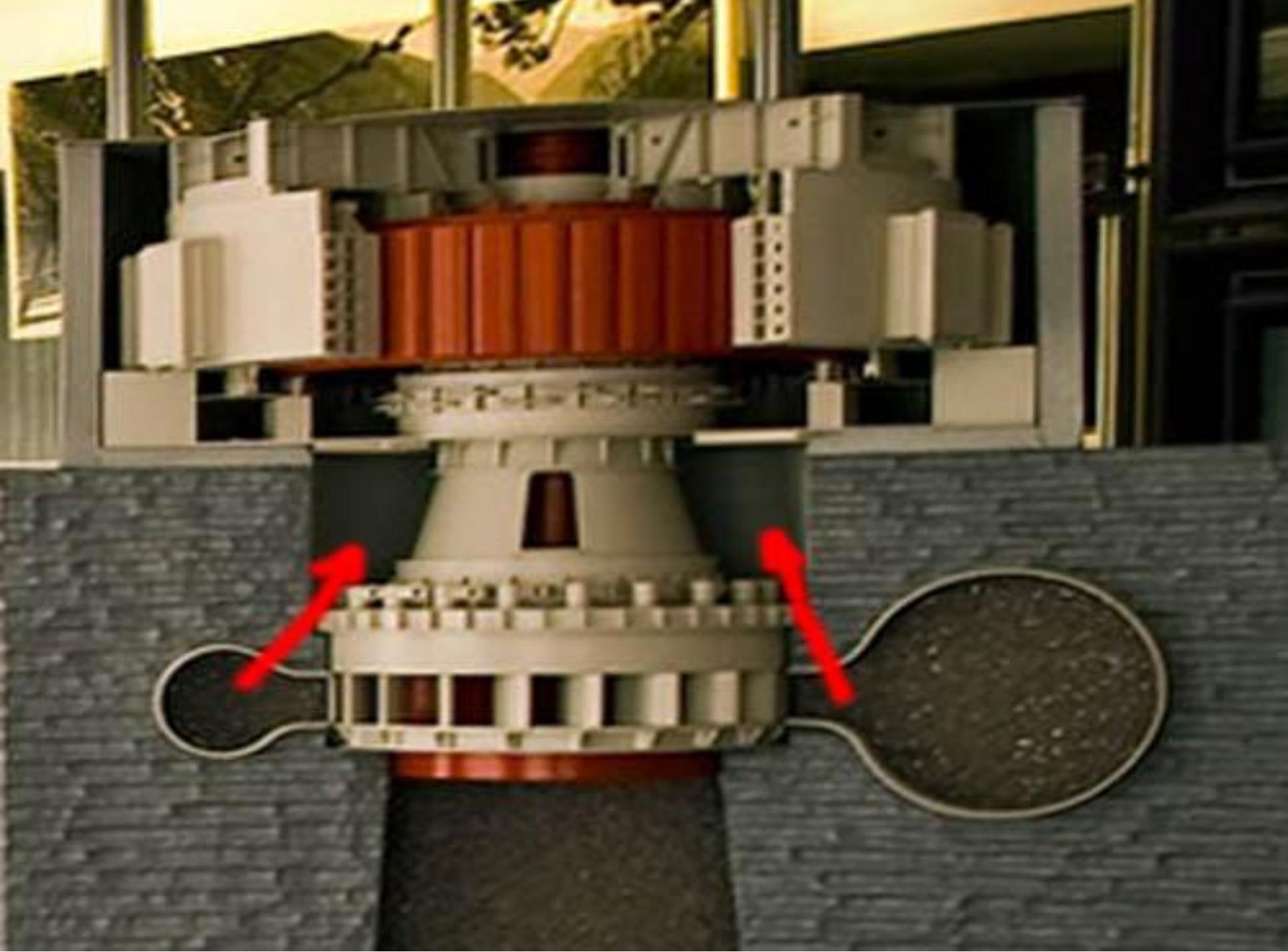
Поскольку число пар полюсов ГГ всегда целое число, то частота вращения иногда оказывается дробной, так, ГГ Иркутской ГЭС имеют  $n=83,3$  об/мин ( $p=36$ ), Красноярской ГЭС  $n=93,8$  об/мин ( $p=32$ ) и т.п.

Для успокоения колебаний ротора, возникающих при резких изменениях нагрузки генератора служит демпферная обмотка из медных стержней, которая размещается на полюсах помимо обмотки возбуждения.

В крупных гидрогенераторах кроме проводников сплошного сечения используют *полые проводники* с целью обеспечения непосредственного охлаждения ротора водой или воздухом. В обмотках обычно используют изоляцию класса В (*асбест, микафолый, терморезистивную изоляцию*).



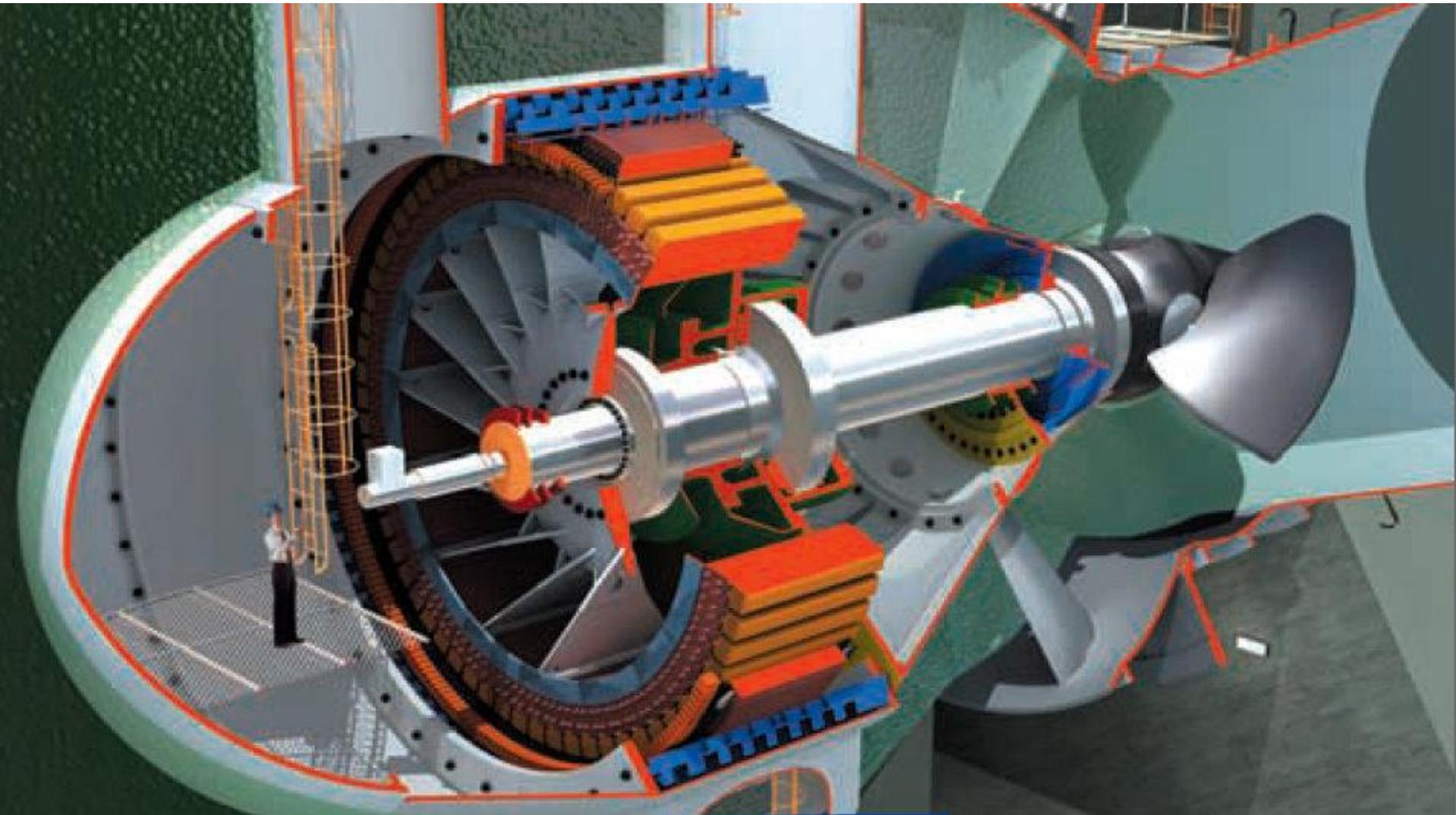






 **长春诚洋机械有限公司**  
[www.best-china.ru](http://www.best-china.ru)

# Гидрогенератор капсульного исполнения



Синхронный компенсатор (СК) представляет собой ненагруженный синхронный двигатель, который в зависимости от значения тока возбуждения и его направления способен вырабатывать (в *режиме перевозбуждения*), либо потреблять (в *режиме недо возбуждения*) реактивную мощность.

Возможность работы с положительным и отрицательным возбуждением является характерной особенностью синхронных компенсаторов.

Синхронные компенсаторы обычно выполняются с явнополюсным ротором, поэтому они конструктивно похожи на гидрогенераторы, только у всех синхронных компенсаторов вал ротора расположен горизонтально, что позволяет уменьшить массу, размеры и стоимость компенсатора; упрощаются его монтаж и ремонт; оказывается проще и дешевле фундамент. Для облегчения пуска явнополюсного СК его выполняют с *пусковой обмоткой* из сплавов с повышенным активным сопротивлением.

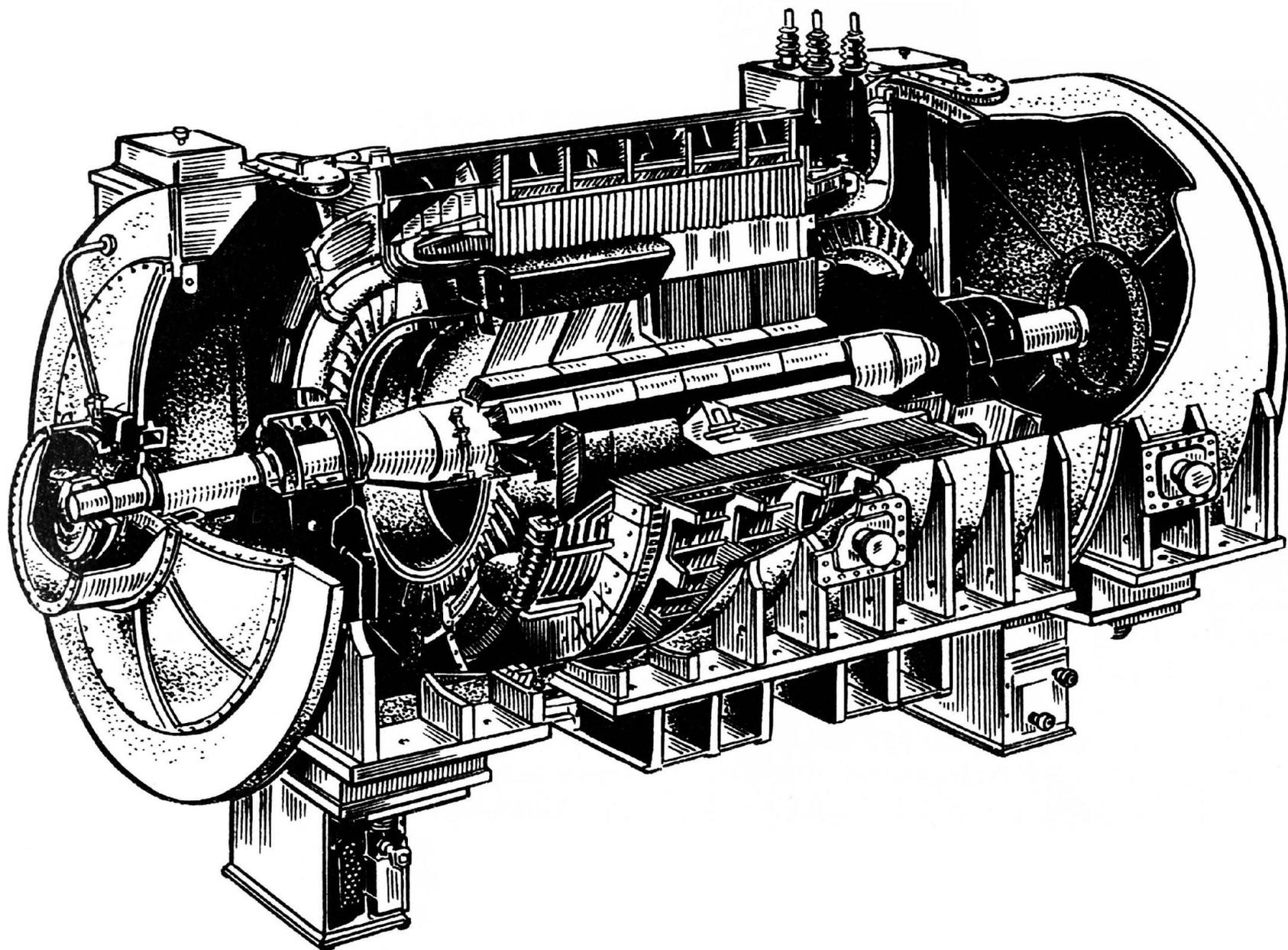


Рис. 1.10. Синхронный компенсатор серии КСВ

# Системы, обеспечивающие работу генератора:

- *системы охлаждения,*
- *системы возбуждения,*
- *системы маслоснабжения.*

*Системы охлаждения обеспечивают интенсивный отвод теплоты и поддержание температуры генераторов в допустимых пределах во время их работы.*

# Сравнительные теплоотводящие свойства

| Охлаждающая среда                     | Давление, МПа | Физические свойства<br>в долях показателей воздуха |           |                            |
|---------------------------------------|---------------|--|-----------|----------------------------|
|                                       |               | Теплопроводность                                   | Плотность | Теплоотводящая способность |
| Воздух                                | 0,100         | 1,0  | 1,0       | 1,0                        |
| Смесь водорода (97 %) и воздуха (3 %) | 0,103         | 5,9  | 0,098     | 1,33                       |
| Водород                               | 0,103         | 7,1  | 0,070     | 1,44                       |
|                                       | 0,200         | 7,1  | 0,140     | 2,75                       |
|                                       | 0,300         | 7,1  | 0,210     | 3,00                       |
|                                       | 0,400         | 7,1  | 0,280     | 4,00                       |
| Трансформаторное масло                | 0,100         | 5,3  | 848,0     | 21,0                       |
| Вода                                  | 0,100         | 23,0   | 1000,0    | 50,0                       |

Турбогенераторы выполняются с *воздушным, водородным, водородно-жидкостным* или *чисто жидкостным* охлаждением.

Гидрогенераторы имеют *воздушное* или *воздушно-жидкостное* охлаждение.

По способу отвода теплоты от меди обмоток системы охлаждения подразделяются на *косвенные (поверхностные)* и *непосредственные*.

**Температура охлаждающей среды установлена стандартами и равна 40°C**

## **Косвенные системы охлаждения.**

Исторически первой системой охлаждения ТГ является *система косвенного воздушного охлаждения*, когда циркуляция воздуха в машине осуществляется вентиляторами, насаженными на вал с обоих ее торцов.

Нагретый в машине воздух выбрасывается через горячие камеры в воздухоохладитель, расположенный под генератором, а оттуда через общие камеры холодного воздуха поступает обратно в генератор (рис. 1.8).

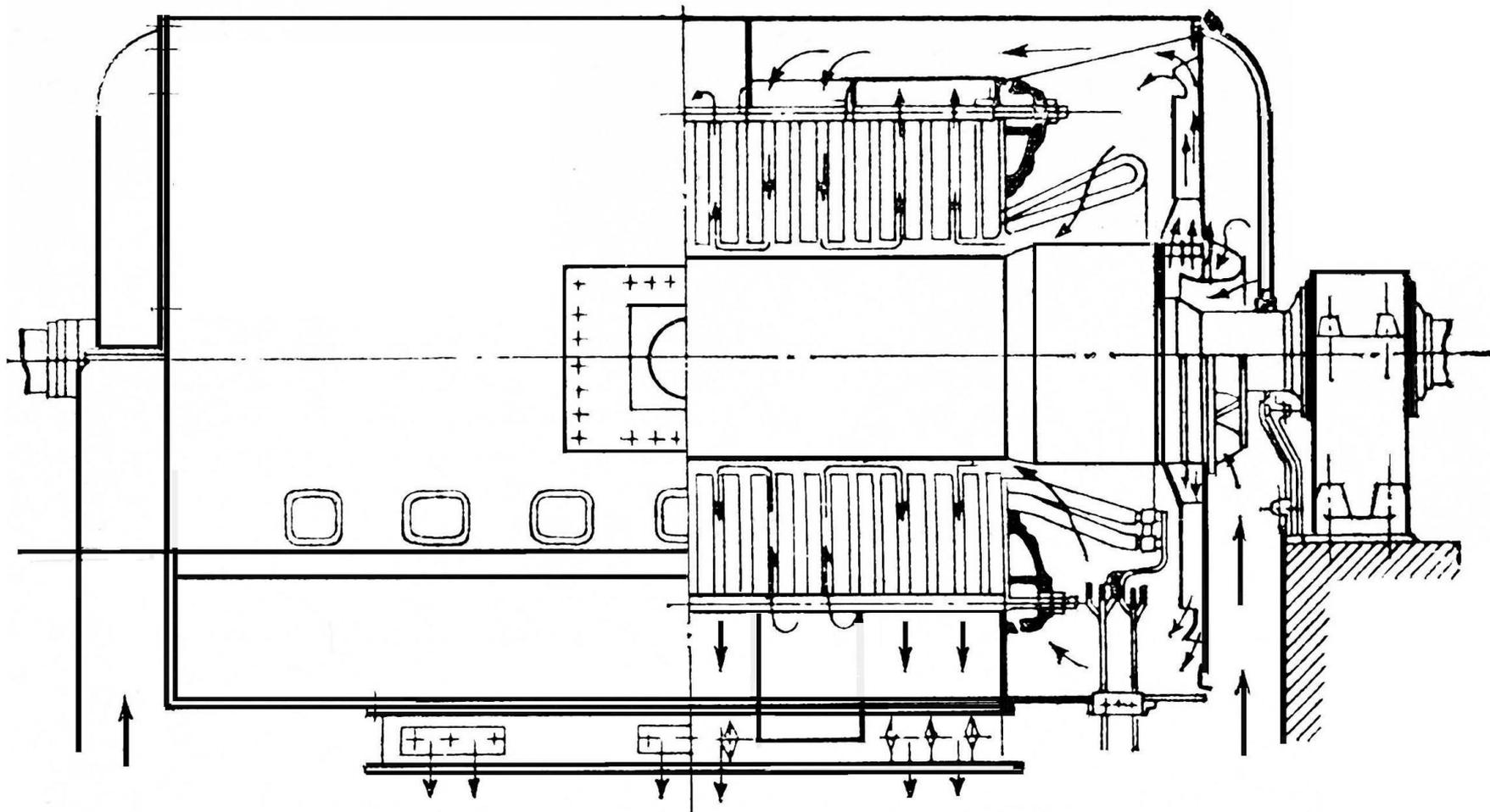


Рис. 1.10. Замкнутая система косвенного  
воздушного охлаждения

**Системы непосредственного охлаждения.**  
Наиболее перспективен *способ непосредственного охлаждения обмоток*, когда вода или масло циркулируют по внутрипроводниковым каналам и, соприкасаясь непосредственно с нагретой медью, отводят от нее теплоту при максимальной эффективности теплопередачи, так как нет никаких барьеровкаких барьеров.

На рис. 1.14 показана схема вентиляции ТГ серии ТВВ с непосредственное охлаждение сердечника статора и обмотки ротора водородом и непосредственное охлаждение обмотки статора водой.

# Синхронные генераторы

