

# Синхронные генераторы

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

где  $n$  - скорость вращения

электромагнит-ного поля ротора;

$f$  - частота переменного тока;

$p$  - число пар полюсов генератора.

Соответственно и частота переменного тока определяется скоростью вращения СГ

$$f = n \cdot p / 60.$$

Скорость вращения турбо- и гидрогенераторов определяется возможностями пара и воды и существенно отличается.

По отношению к гидроагрегатам особенностью паровых или газовых турбин является их быстроходность, поскольку с повышением частоты вращения возрастает экономичность работы, уменьшаются габариты и повышается к.п.д., поэтому естественно стремление конструкторов увеличить быстроходность турбогенераторов.

Но как следует из выражения 1.1 предел, увеличения скорости вращения ротора ограничивается минимальным числом пар полюсов

$$p = 1$$

и принятой в РФ номинальной частотой сети

$$f_{\text{НОМ}} = 50 \text{ Гц},$$

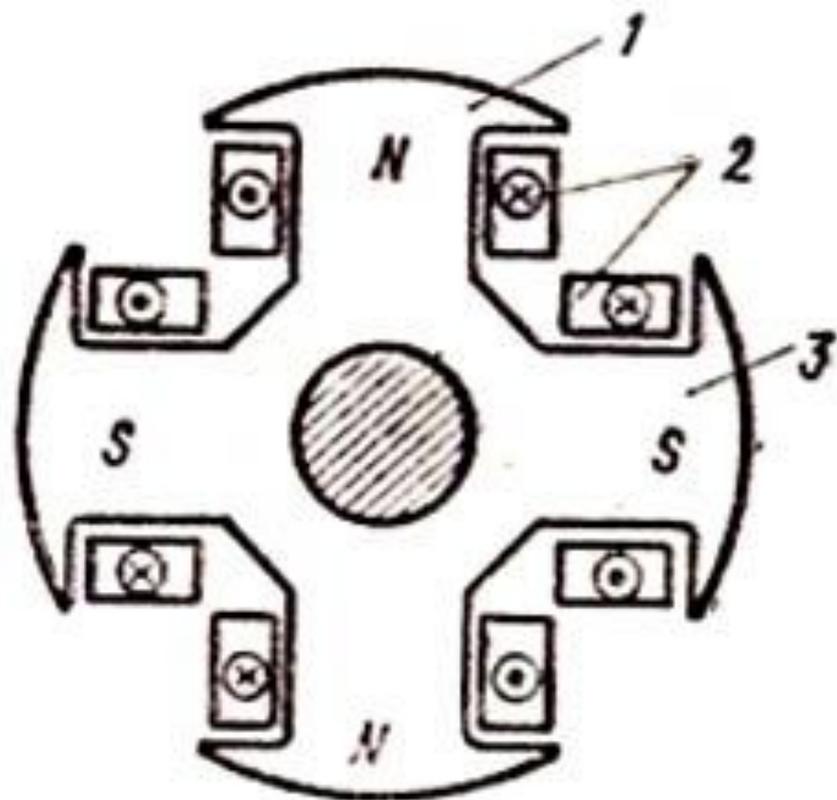
поэтому максимальная частота вращения турбогенераторов при такой частоте равна:

$$n = 60 \times 50 / 1 = 3000 \text{ об/мин.}$$

Число пар полюсов не может быть дробным, и поэтому следующая частота вращения - 1500 об/мин, соответствующая *четырёхполюсному* исполнению генератора, т.е. у него  $p = 2$ .

Применение СГ с явнополюсным ротором при таких скоростях вращения практически нереально, поэтому для обеспечения нужной механической прочности при столь высокой скорости вращения роторы синхронных генераторов выполняются с *неявновыраженными полюсами*.

а)



б)

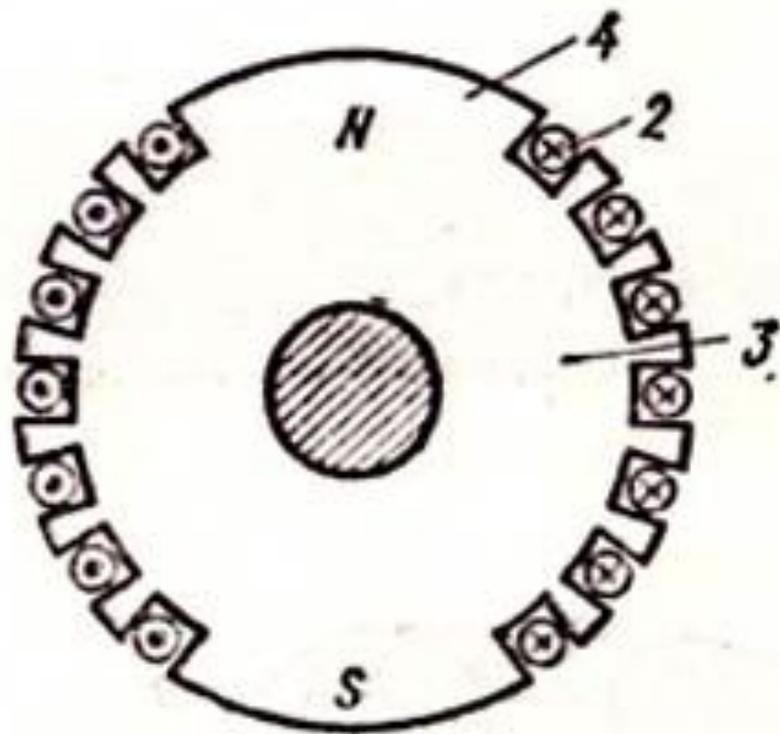


Рис.4. Явновыраженные и неявновыраженные полюса электромагнитов.

Обмотка возбуждения выполняется из медного провода прямоугольного сечения

Номинальная полная мощность

$$S_n = \sqrt{3} U_n I_n, \quad (1-2)$$

Номинальная активная мощность

$$P_n = \sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi. \quad (1-3)$$

Номинальные реактивные мощности турбогенераторов не нормируются ГОСТ, они определяются, как:

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

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

ГОСТ устанавливает следующий ряд номинальных мощностей турбогенераторов:

***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.

Под *номинальной мощностью* понимают полезную мощность, на которую рассчитан синхронный генератор и с которой он может длительно работать при нормальной работе системы охлаждения.

Все другие параметры, характеризующие работу машины при номинальной мощности, также называются *номинальными*.

К ним относятся напряжение  $U_n$  и ток  $I_n$  статора, напряжение  $U_v$  и ток  $I_v$  возбуждения ротора, реактивная мощность генератора  $Q_p$ , коэффициент мощности  $\cos \varphi$ , к.п.д.

***Номинальным напряжением*** трехфазного синхронного генератора является линейное напряжение статорной обмотки  $U_n$ , значение которого выбирается по шкале, установленной государственным стандартом:

**3,15; 6,3; 10,5; (13,8); (15,75); 18,0; 20,0; 21,0; 24,0 кВ.**

Эти напряжения согласованы с напряжениями электрических сетей.

# Синхронные генераторы

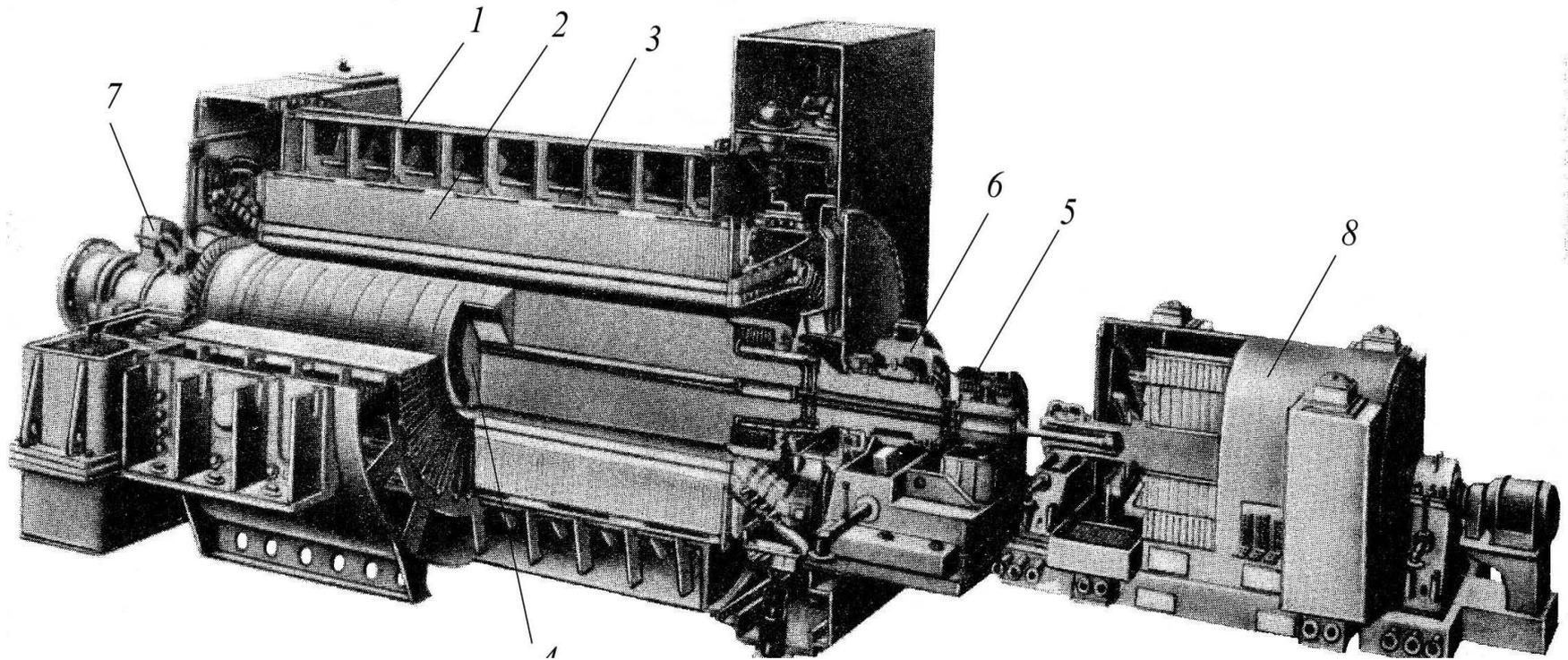


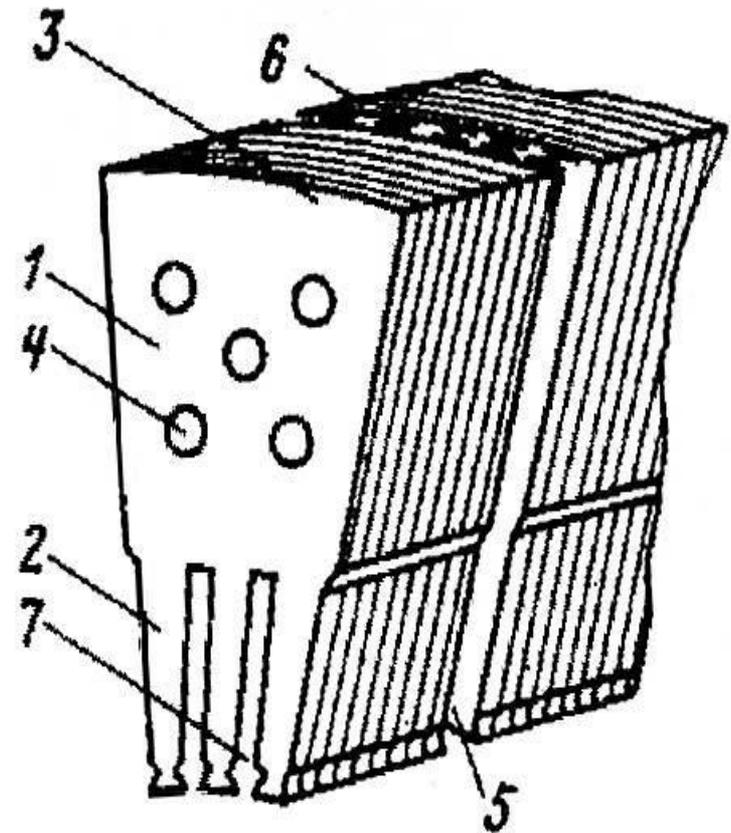
Рис. 1.1. Общий вид синхронного турбогенератора

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. 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

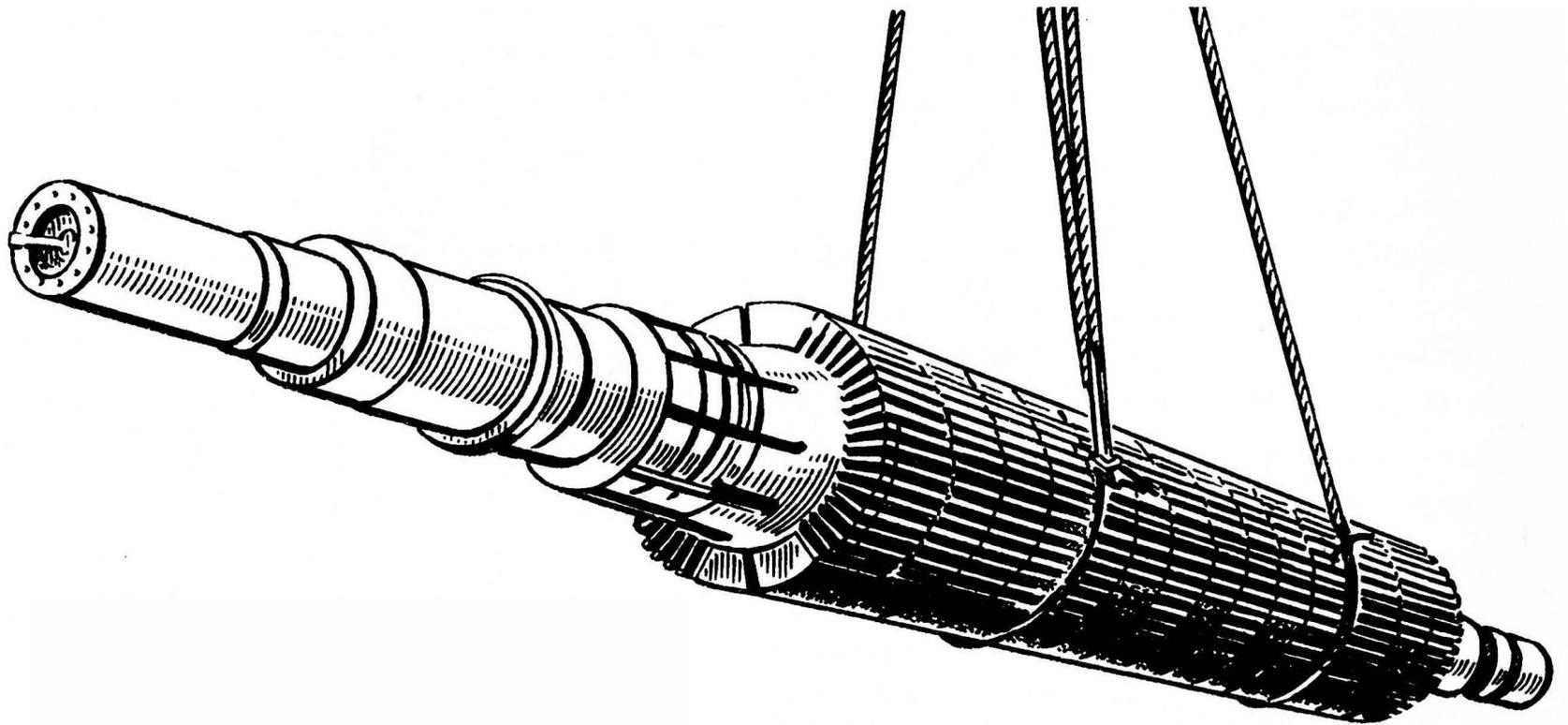


Рис. 2.3. Внешний вид ротора турбогенератора

# Синхронные генераторы

Рис. 1.4. 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

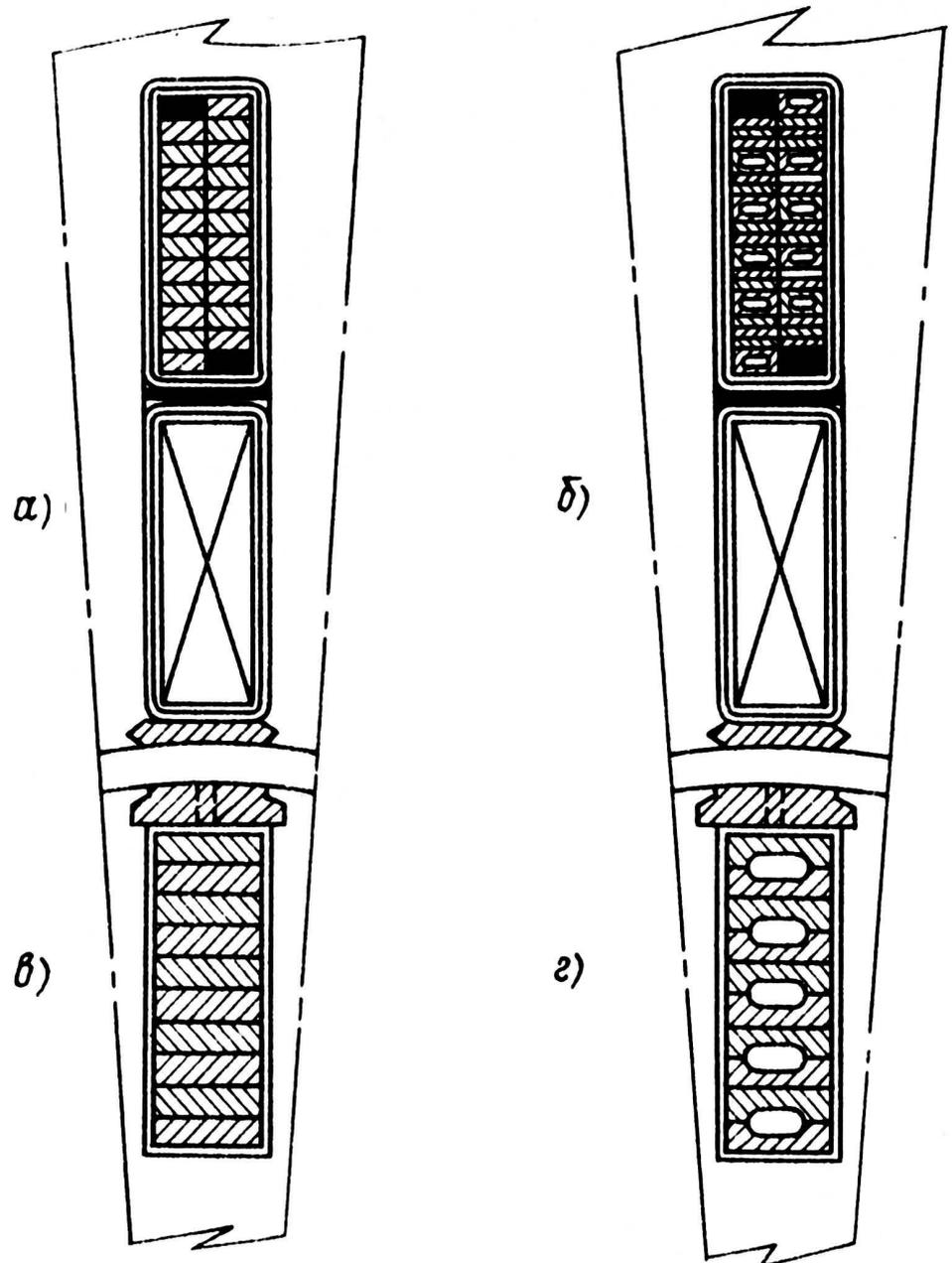


Рис. 20.3. Схематический разрез пазов турбо-

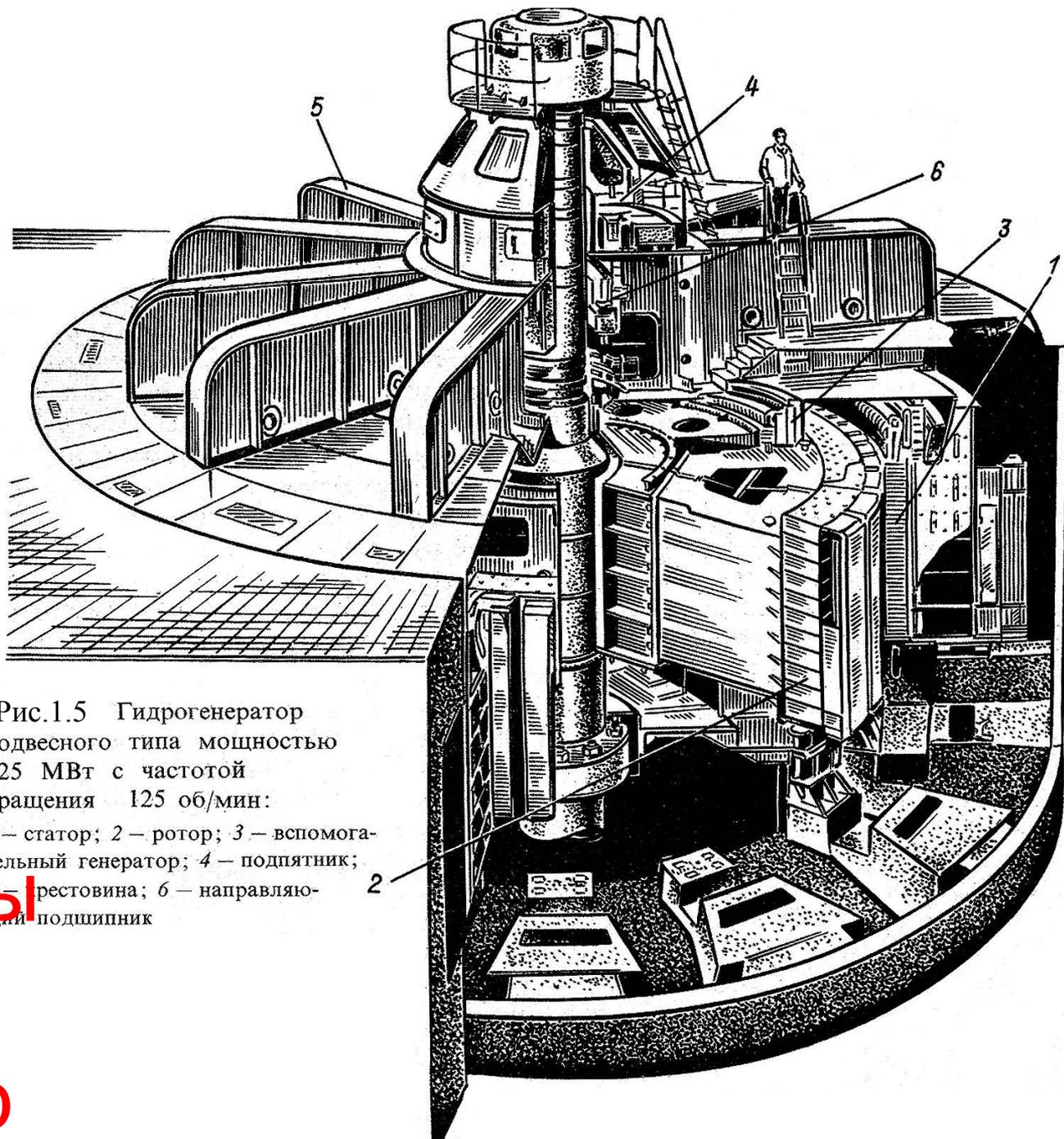


Рис.1.5 Гидрогенератор  
подвешного типа мощностью  
225 МВт с частотой  
вращения 125 об/мин:

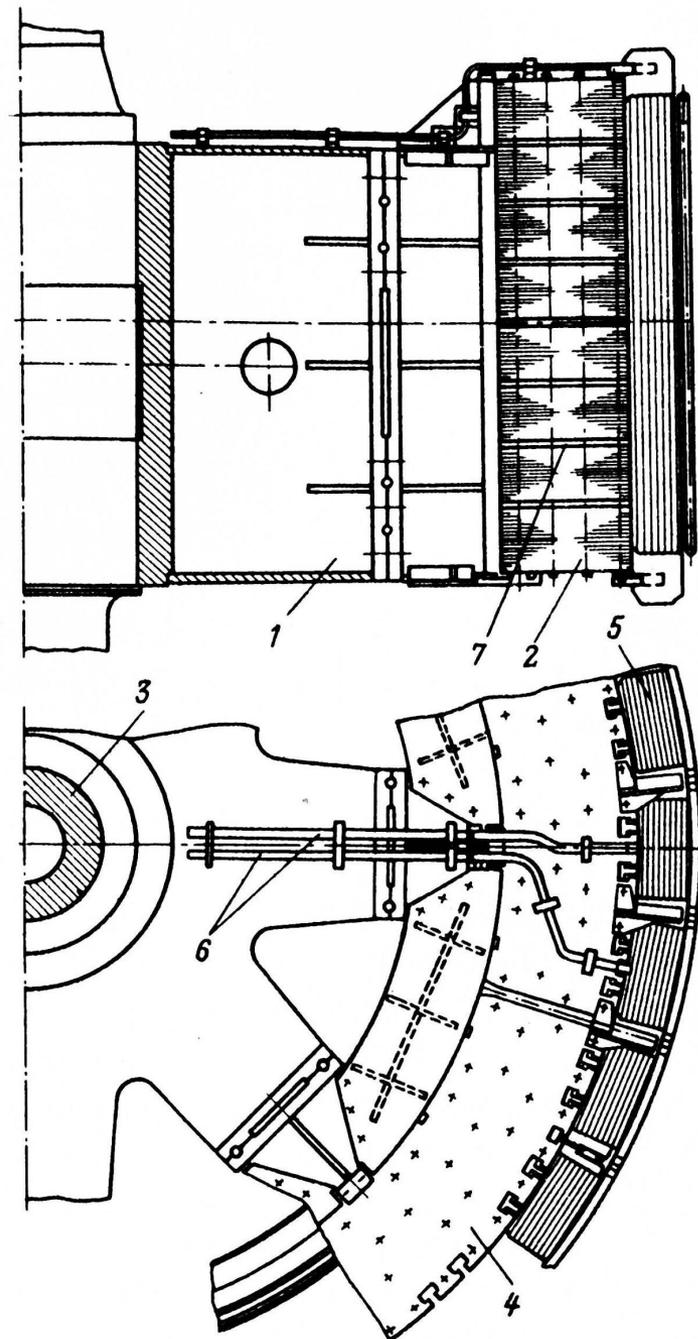
1 – статор; 2 – ротор; 3 – вспомога-  
тельный генератор; 4 – подпятник;  
5 – рестовина; 6 – направляю-  
щий подшипник

Синхронны  
е  
генератор

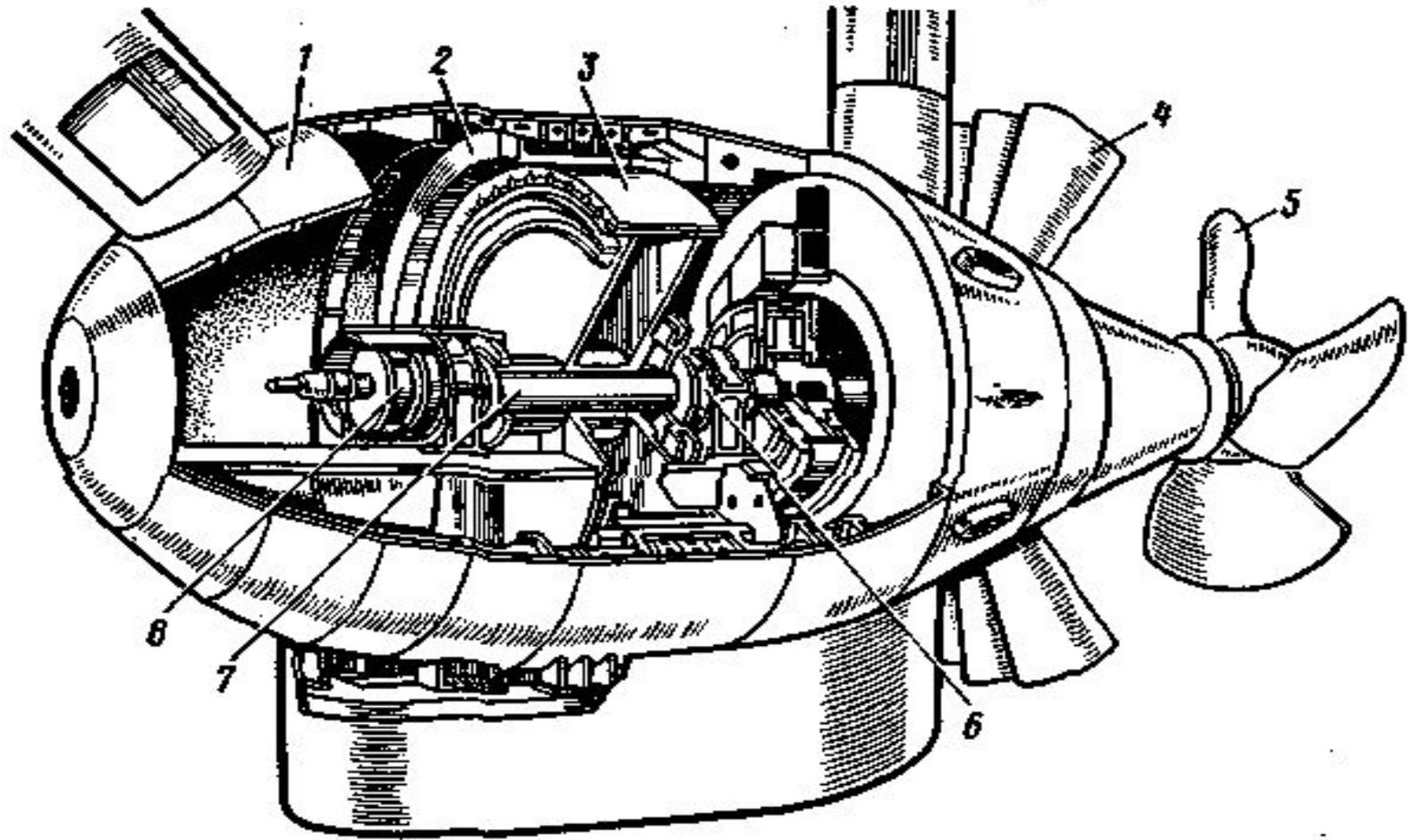
# Синхронные генераторы

Рис. 1.6. 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



# Синхронные генераторы



Общий вид гидрогенератора капсульного типа:  
1 — капсула; 2, 3 — статор и ротор генератора; 4 — направляющий аппарат турбины; 5 — ротор турбины; 6, 8 — подшипники; 7 — вал

## Синхронные компенсаторы.

Эти машины предназначены для генерирования или потребления реактивной мощности с целью улучшения коэффициента мощности сети и регулирования ее напряжения.

Их обычно выполняют явнополюсными с горизонтальным расположением вала; они работают при частоте вращения 750-1000 об/мин.

При мощности до 25 МВ•А синхронные компенсаторы имеют воздушное охлаждение, а при больших мощностях — водородное.

# Синхронный компенсатор

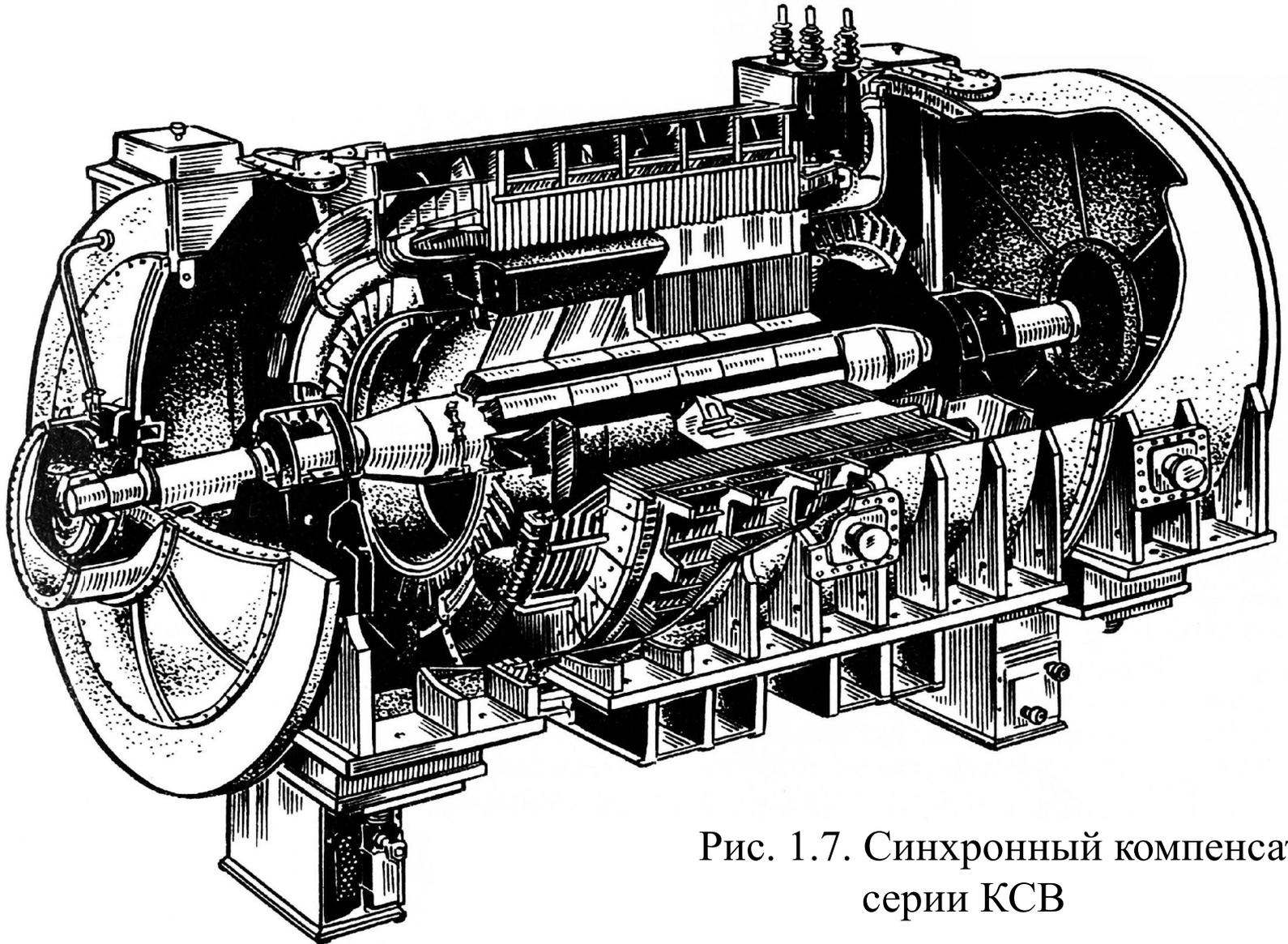


Рис. 1.7. Синхронный компенсатор  
серии КСВ

К.П.Д. современных генераторов очень высок и относительные потери составляют всего 1,5-2,5%, но абсолютные потери достаточно велики (до 10 МВт в машине 800 МВт), что приводит к значительному повышению температуры активной стали, меди и изоляции, ухудшению электроизоляционных свойств, снижению механической прочности и эластичности материалов

Все генераторы электростанций выполняются с искусственным охлаждением обмоток и активной стали. По способу отвода тепла от нагретых обмоток и стали статора и ротора различают *косвенное* и *непосредственное* охлаждение.

# Синхронные генераторы

## Сравнительные теплоотводящие свойства

Охлаждающая среда	Давление, МПа	Физические свойства в долях показателей воздуха		
		Теплопроводность	Плотность	Теплоотводящая способность
Воздух	0,100	1,0	1,0	1,0
Смесь Н <sub>2</sub> (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

При косвенном охлаждении (**оно применяется только при газах**) охлаждающий газ не соприкасается с проводником обмоток, а теплота, выделяемая в них, передается газу через изоляцию, которая таким образом оказывается перегруженной в тепловом отношении и значительно ухудшает теплопередачу.

При непосредственном охлаждении водород, вода или масло циркулируют по внутриводниковым каналам и, соприкасаясь непосредственно с нагретой медью, отводят от нее теплоту при максимальной эффективности теплопередачи.

# Синхронные генераторы

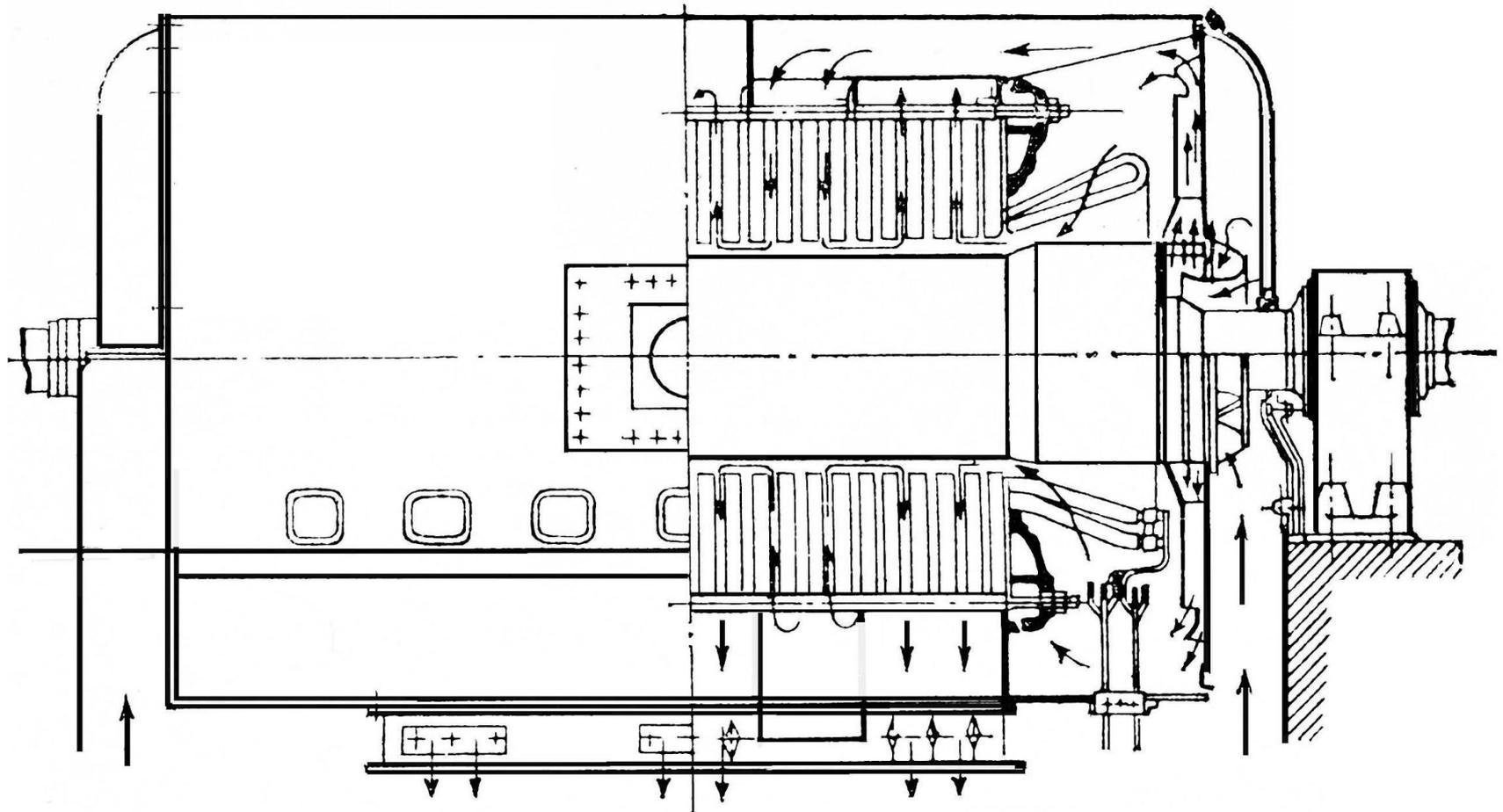


Рис. 1.8. Замкнутая система косвенного воздушного охлаждения

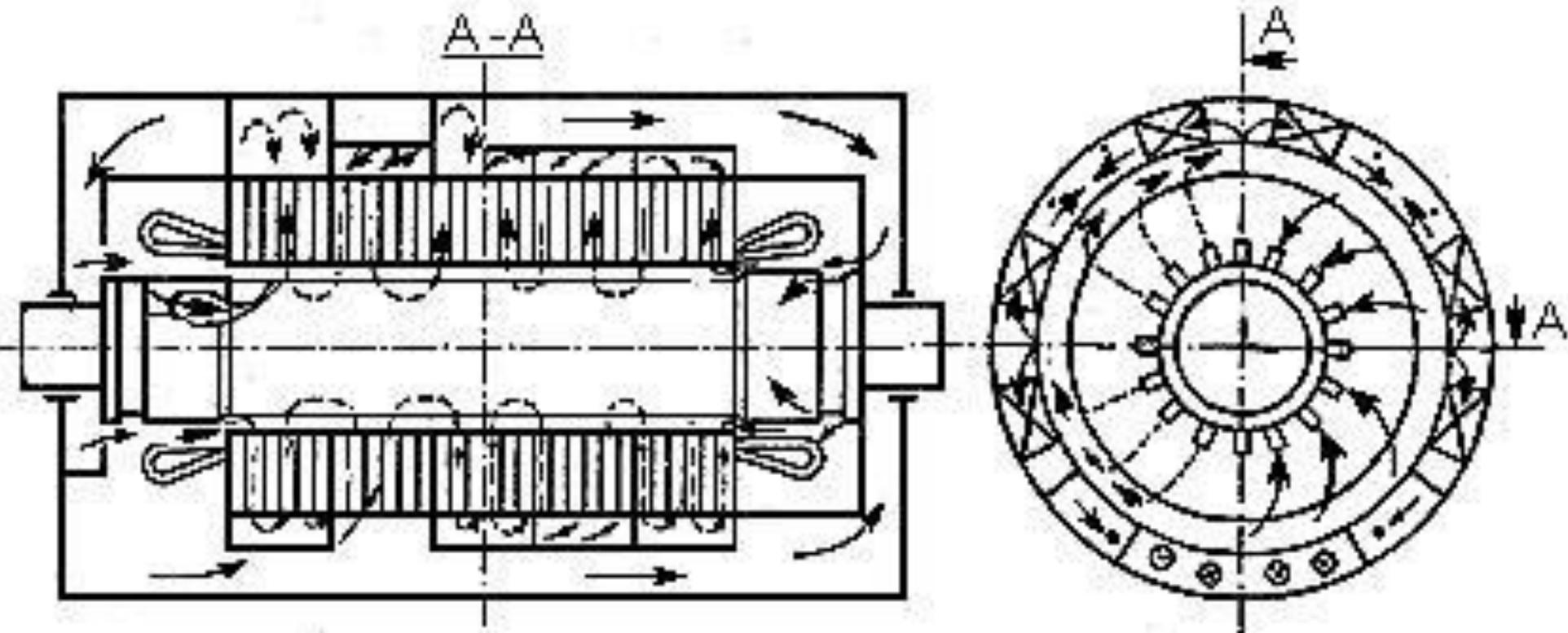
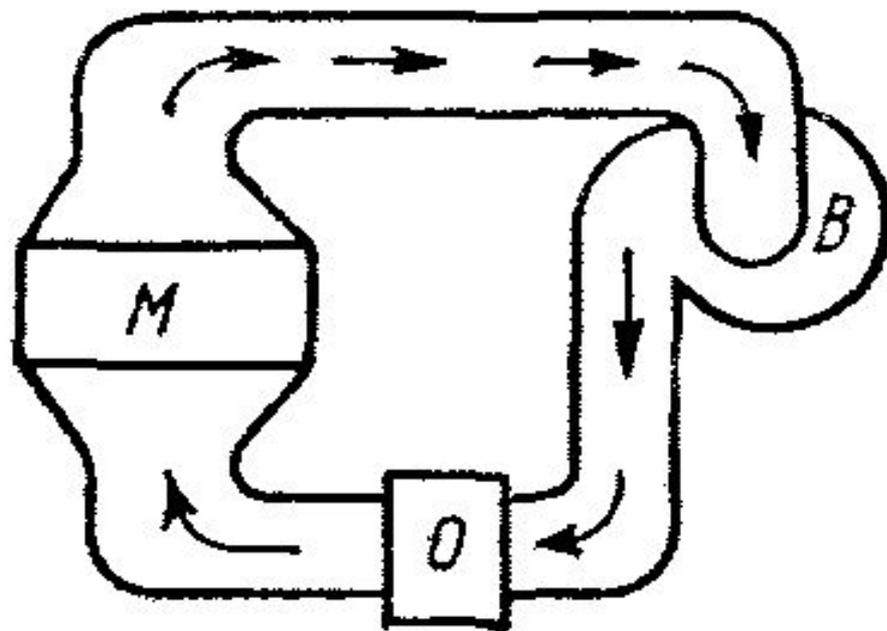
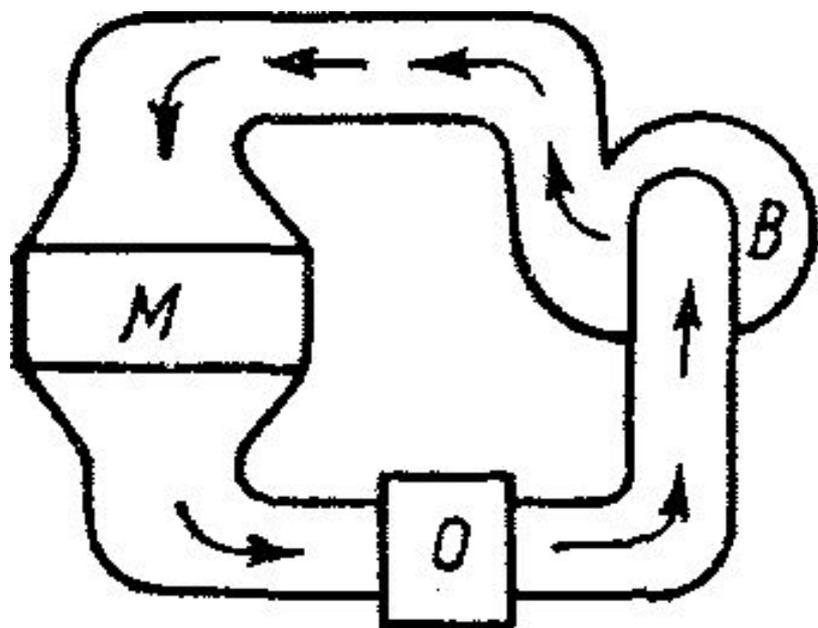


Схема водородного охлаждения  
турбогенератора серии ТВФ

# Замкнутые системы вентиляции:



**М** - машина; **В** - вентилятор; **О** - охладитель

Турбогенераторы с непосредственным охлаждением делятся на следующие четыре группы:

) с косвенным охлаждением статора и непосредственным охлаждением ротора водородом;

) с непосредственным охлаждением статора и ротора водородом;

) с непосредственным жидкостным охлаждением статора и непосредственным водородным охлаждением ротора;

) с непосредственным жидкостным охлаждением статора и ротора.

К первой группе принадлежат турбогенераторы серии ТВФ мощностью 60, 100, 120 и 200 МВт, предназначенные для соединения с теплофикационными турбинами.