

Системы, обеспечивающие работу генератора:

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

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 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).

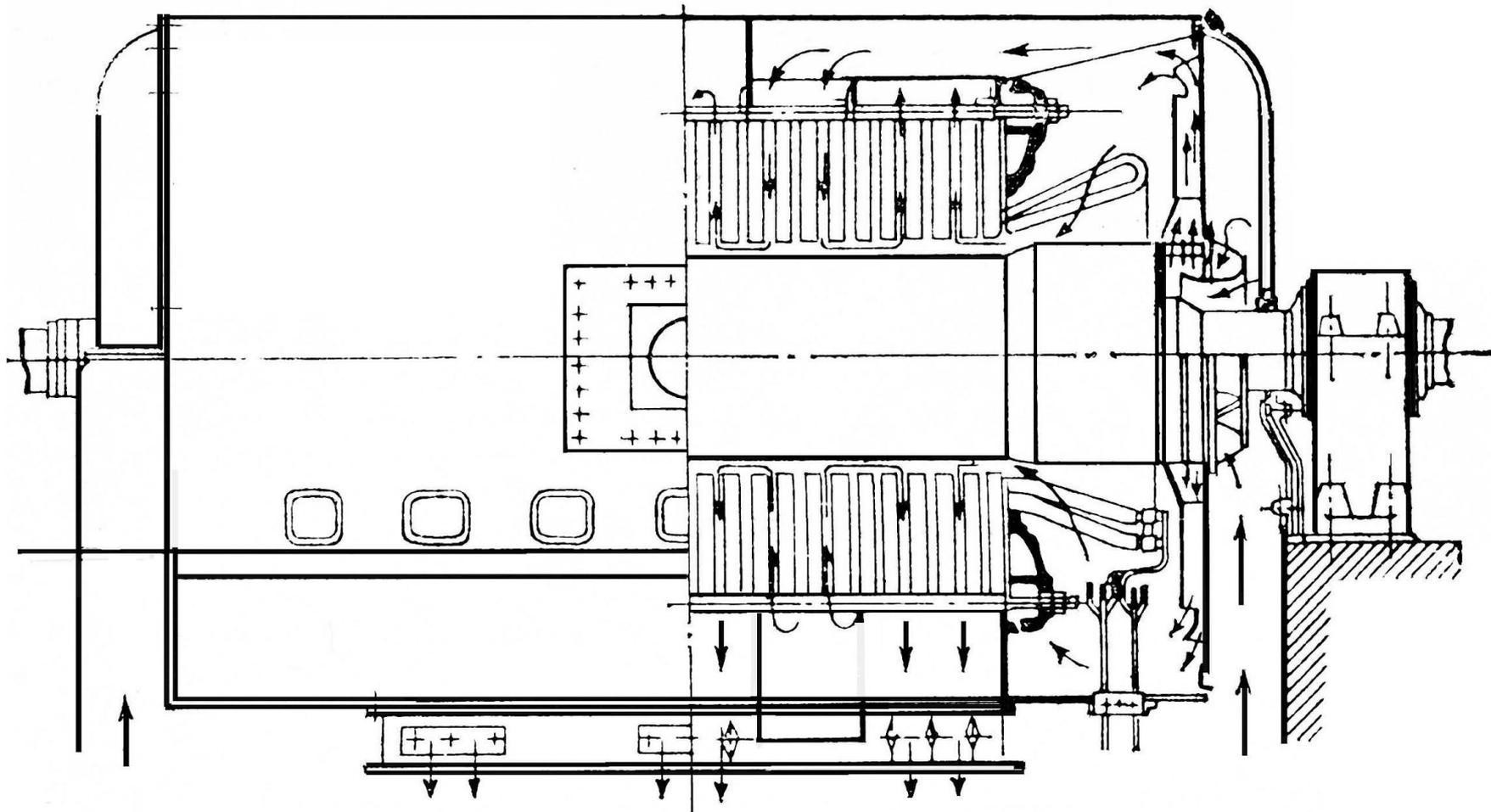
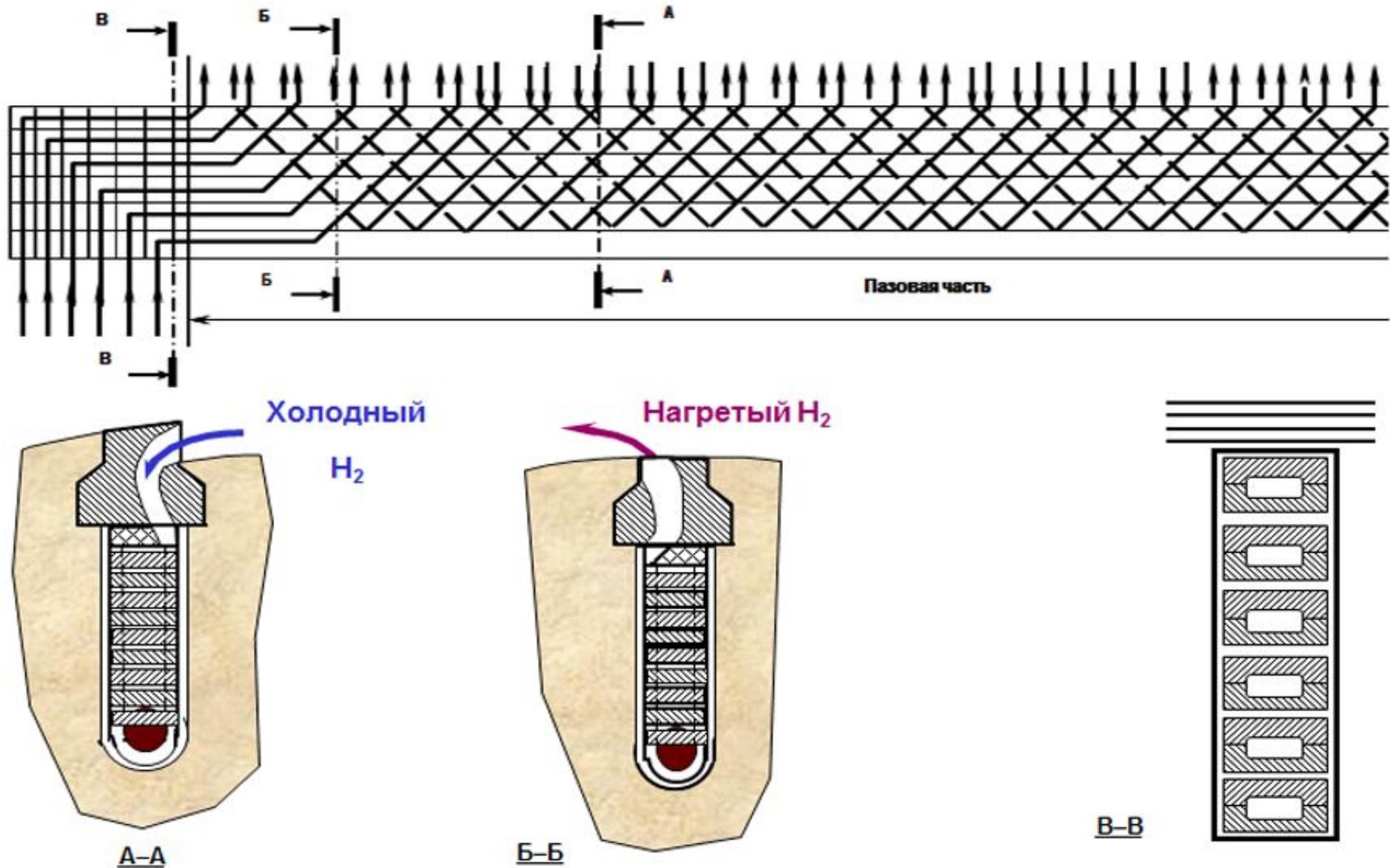


Рис. 1.10. Замкнутая система косвенного
воздушного охлаждения

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.

Рис. 1.14 Схема вентиляции ТГ серии ТВВ



Преимущества непосредственного охлаждения:
простота конструкции, отсутствие протечек, невозможно перекрытие изоляции по водороду, небольшая тепловая нагрузка изоляции, увеличение плотности тока в обмотках с позволяет при тех же размерах чем в более 3 раза повысить мощность турбогенератора.

Недостатки: полые проводники, по которым циркулирует водород, должны быть относительно большого сечения, что существенно снижает общее сечение меди обмотки.

Преимущества непосредственного масляного охлаждения обмотки статора в возможности использования более дешевой бумажной изоляции. Кроме того, хорошие изоляционные свойства масла облегчают подвод и отвод его из обмотки.

Недостатки:

- для требуемой скорости движения масла необходимо большое давление, что сопряжено с дополнительными затратами энергии;
- масло является горючей средой;
- по сравнению с водой имеет меньшую теплоотводящую способность.

Благодаря высокой теплоемкости и небольшой вязкости воды наиболее эффективно *непосредственное водяное охлаждение*.

На электрических станциях для охлаждения генераторов обычно используют отработанный конденсат турбин либо дистиллированную воду, они не только обладают достаточно высокими изолирующими свойствами, но и негорючи.

Обмотка статора и вся система охлаждения заполняются конденсатом с содержанием соли не более 1 мг/л и электрическим сопротивлением не ниже 200 кОм-см. При работе генератора допускается повышение содержания соли до 5 мг/л и снижение электрического сопротивления до 75 кОм-см.

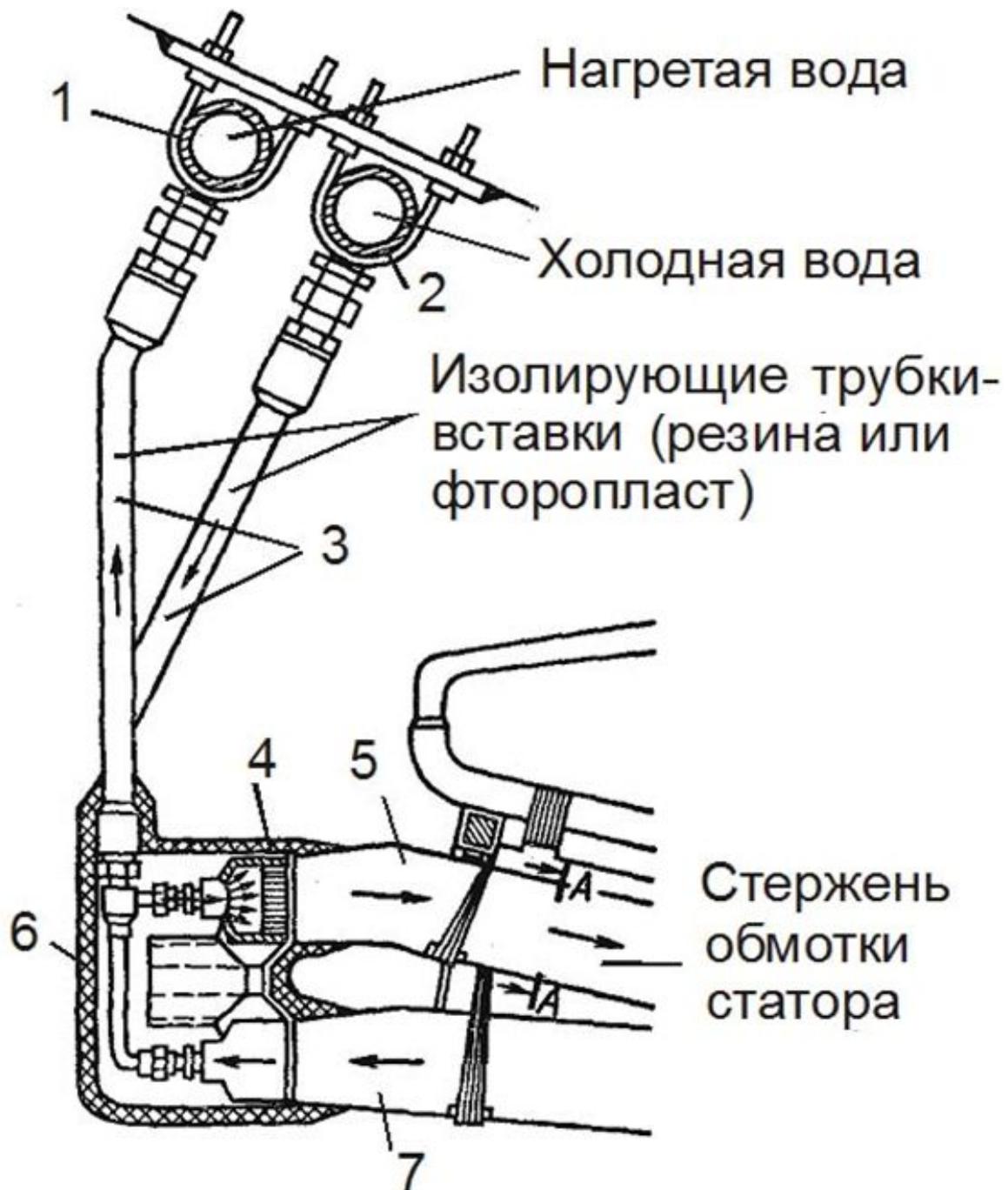
Подвод охлаждающего конденсата к обмотке статора и его отвод осуществляют со стороны турбины в зоне головок лобовых частей с помощью фторопластовых шлангов, обладающих хорошей механической и электрической прочностью и необходимой эластичностью (рис. 1.16).

Для предотвращения скапливания в водяной системе воздуха или иных газов производится их контроль с помощью газовой ловушки (рис.1.17) , подключенной к сливному коллектору.

Через газовую ловушку постоянно течет вода, выходящая из системы охлаждения генератора.

Рис. 1.16. Подвод охлаждающей воды к стержню обмотки статора генератора:

- 1 – коллектор нагретой воды;
- 2 – коллектор холодной воды;
- 3 – изолирующие трубки-вставки;
- 4 – переходники;
- 5 и 7 – стержни обмотки;
- 6 – спайка стержней



Из водяной системы

Выпуск газа для анализа

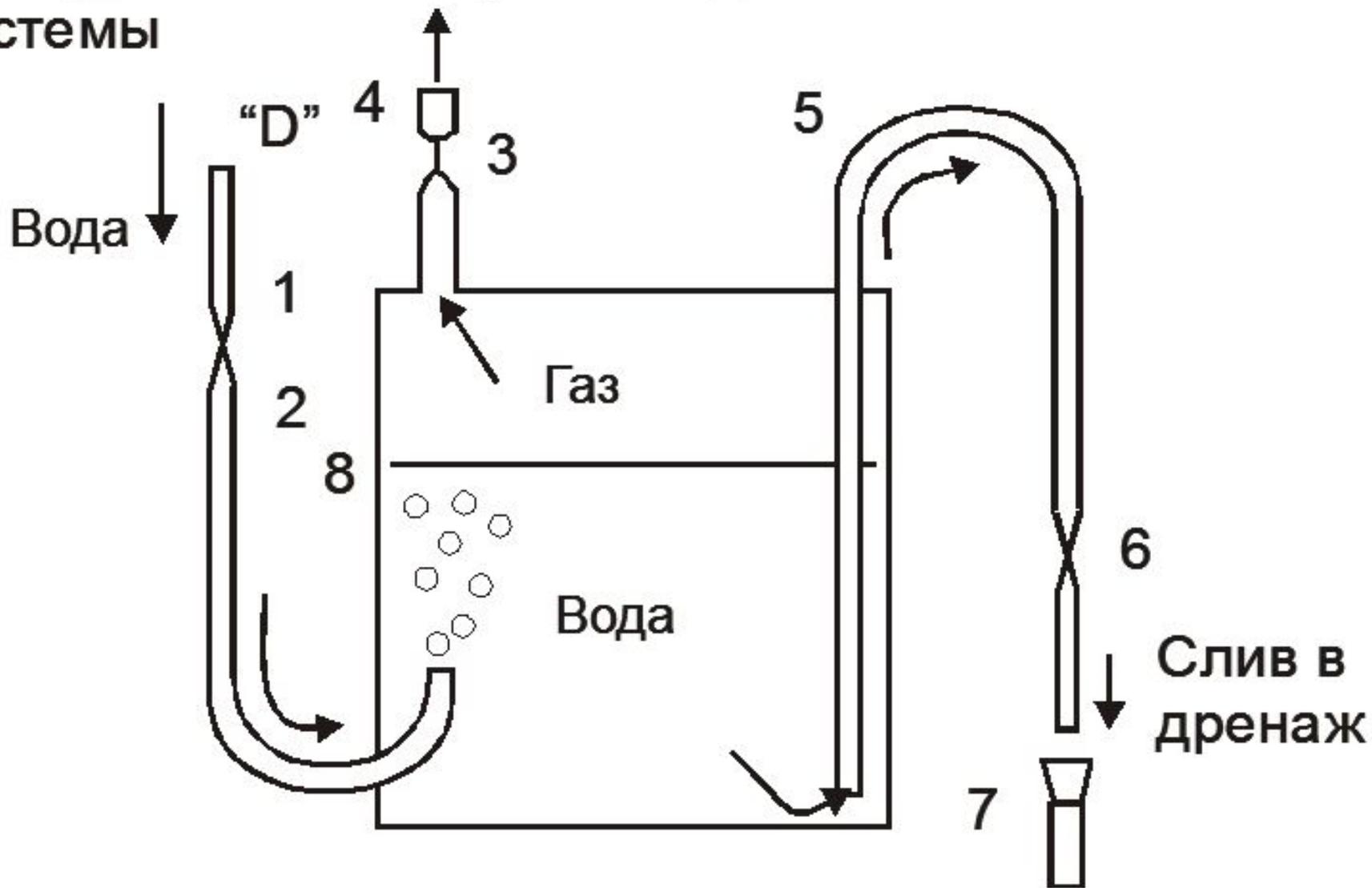


Рис.1.17 Контроль с помощью газовой ловушки

Наличие в корпусе ТГ воды вследствие некоторых неисправностей в системе охлаждения (протечки в трубках, напорном или сливном коллекторе), определяет **указатель жидкости - УЖИ**, подключенный к самой нижней точке корпуса генератора. Он состоит из сосуда с поплавком, который при накоплении жидкости всплывает и замыкает сигнальные контакты. Если вода скапливается вновь, следует отключая по очереди с интервалом в 2-3 часа проверить все газоохладители. При появлении в корпусе генератора воды в небольшом количестве - до 500 см^3 за смену нужно проверить, не было ли отпотевания газоохладителей и обмотки.

Особенности систем масляных уплотнений генератора и их эксплуатация

Эффективность работы любой замкнутой системы охлаждения зависит от надежности систем масляных уплотнений. Так, турбогенератор с водородным охлаждением полностью герметизирован, кроме выходов вращающегося вала. Вал уплотнен специальными масляными уплотнениями, разделяющими водород и воздух потоком масла с давлением выше давления водорода, и не выпускающими водород из корпуса генератора.

При частоте вращения генератора 3000 об/мин окружная скорость в месте уплотнения

Различают *масляные уплотнения кольцевого* или *торцевого* типа

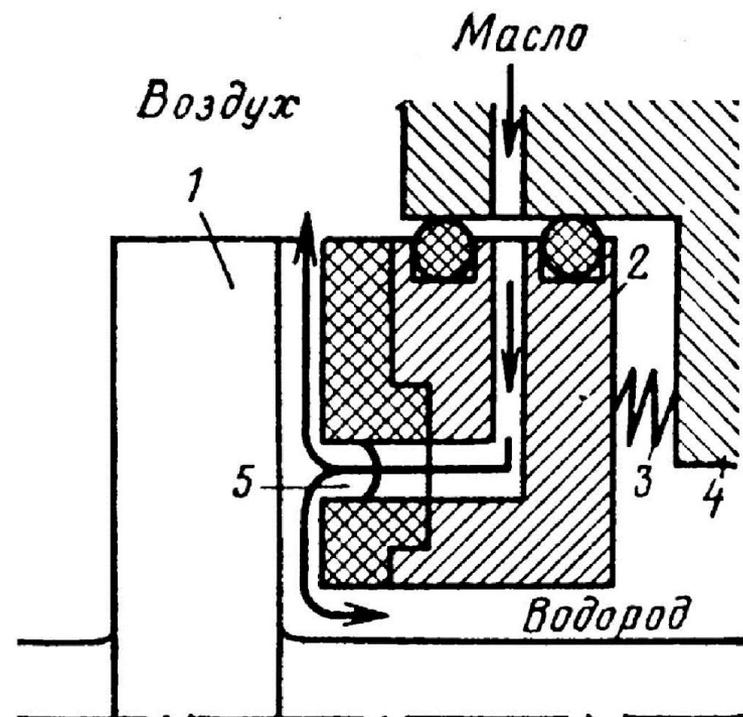
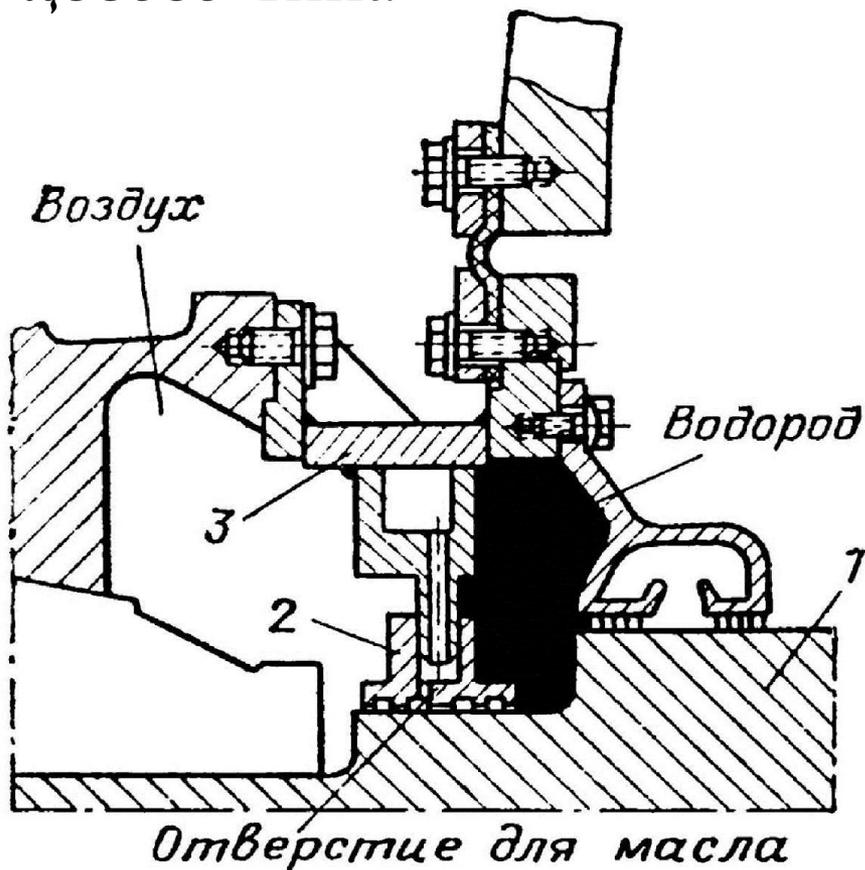


Рис. 1.18. Кольцевое уплотнение:

1 - вал ротора; 2 - вкладыш;
3 - корпус;

Рис. 1.19. Торцевое уплотнение:

1 - диск на валу ротора; 2 – вкладыш; 3 -пружина; 4 - корпус; 5 - кольцевая канавка

Основное достоинство кольцевых уплотнений заключается в том, что при кратковременном прекращении подачи масла они, как правило, не повреждаются. Если и случается подплавление их вкладышей, то, обычно оно не вызывает повреждения рабочей поверхности вала.

Основным преимуществом торцевого уплотнения по сравнению с кольцевым, является незначительный расход масла в сторону водорода (3÷5 л/мин) вследствие малого зазора между вкладышем и диском (он определяется только толщиной масляной пленки). Это позволяет отказаться от необходимости маслоочистительной установки.

Особенности систем возбуждения и их эксплуатация

Система возбуждения синхронного генератора – это комплекс оборудования, устройств, аппаратов и сборочных единиц, предназначенных для создания автоматически регулируемым постоянным током электромагнитного поля в обмотке ротора генератора и поддержания заданного напряжения на выводах генератора в нормальном и аварийных режимах сети.

Системы возбуждения относятся к числу наиболее ответственных элементов генератора, хотя их относительная мощность невелика и составляет

В соответствии с ПТЭ системы возбуждения должны отвечать следующим общим требованиям:

- обеспечивать надежное питание обмотки возбуждения СГ в нормальных и аварийных режимах;
- обеспечивать регулирование напряжения возбуждения в заданных пределах во всех нормальных режимах;
- обеспечивать быстродействующее автоматическое регулирование возбуждения с высокой кратностью форсирования в аварийных режимах;
- осуществлять быстрое развозбуждение СГ и в случае необходимости – аварийное гашение поля

Быстродействие системы возбуждения определяется

$$\text{кратностью форсировки } k_{\phi} = U_{в\ max} / U_{в\ ном}$$

(отношение максимального напряжения возбуждения к его номинальному значению) и скоростью нарастания напряжения возбудителя (с^{-1}) при форсировании

$$du_v / d\tau = v_U = 0,632 (U_{в\ max} - U_{в\ ном}) / U_{в\ ном} \cdot \tau_1$$

где τ_1 - время нарастания напряжения возбудителя от номинального значения $U_{в\ н}$ до

$$U_{в\ ном} + 0,632 (U_{в\ max} - U_{в\ ном}).$$

Возбудители современных турбогенераторов имеют $k_{\phi} \geq 2$ и $v_{U \geq 2} U_{в ном}$ в секунду.

Допустимая длительность форсировочного режима с предельным током возбуждения зависит от системы охлаждения генератора и должна быть не меньше:

- **50с** при косвенной системе охлаждения,
- **30с** при непосредственном охлаждении ротора и косвенном охлаждении статора,
- **20с** - при непосредственном охлаждении ротора и статора.

Системы возбуждения подразделяются на ***электромашины*** и ***вентильные***.

В первой источник постоянного тока является вспомогательный генератор постоянного тока - *возбудитель*, непосредственно связанный с валом главного СГ или с приводом от независимого двигателя. Предельная мощность электромашинных возбудителей при частоте вращения 3000 об/мин составляет 500 кВт. Этого достаточно для возбуждения ТГ с косвенным охлаждением мощностью только до 150 МВт и ТГ с непосредственным охлаждением до 100 МВт.

Уменьшение частоты вращения до 750 об/мин позволяет повысить предельную мощность возбудителей до 3 МВт, но требуется редуктор, что снижает общую надежность и увеличивает габариты машинного зала.

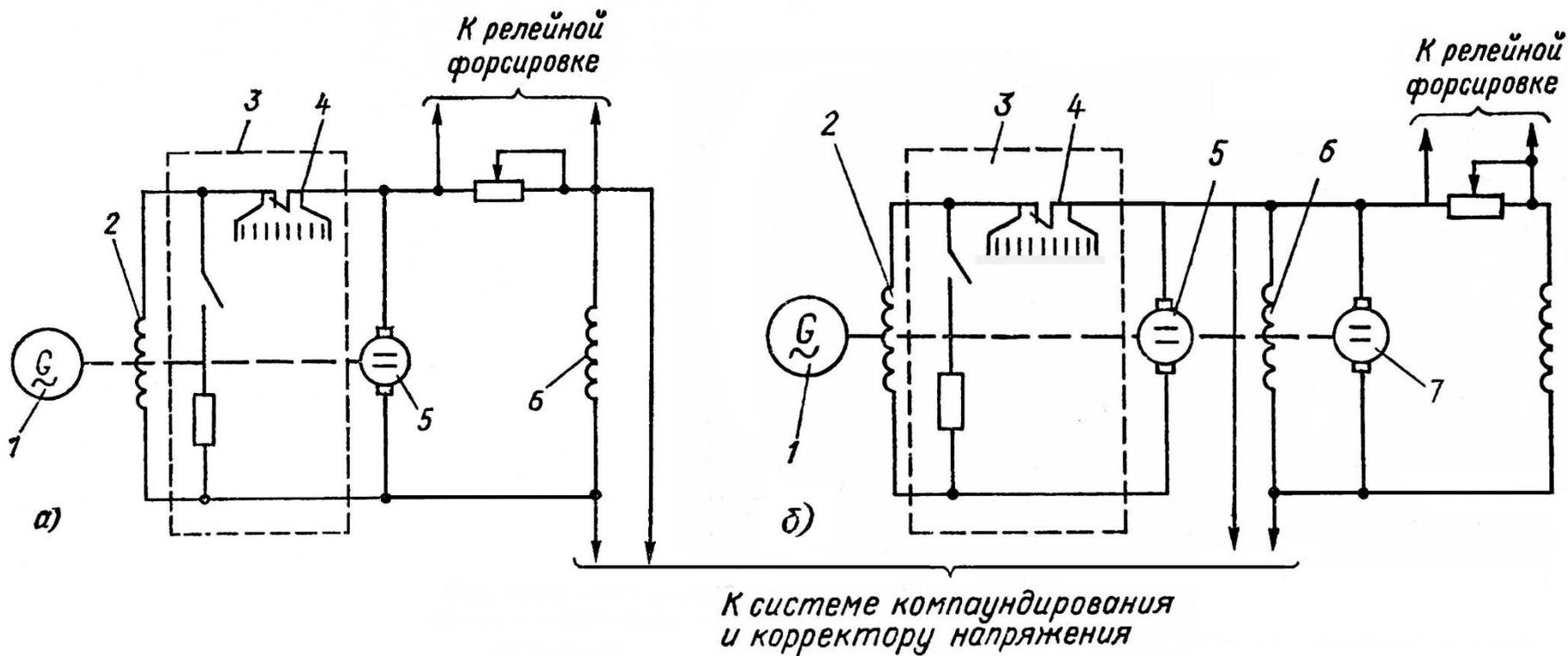


Рис. 1.21. Электромашинная система возбуждения с генератором постоянного тока: а - с самовозбуждением возбудителя; б - с подвозбудителем:

1 - синхронный генератор; *2* - обмотка возбуждения СГ; *3* - автомат гашения поля; *4* - дугогасительная решетка; *5* - возбудитель; *6* - обмотка возбуждения возбудителя; *7* - подвозбудитель.

По этой причине электромашинная система возбуждения с редуктором нашла у нас применение лишь на нескольких турбогенераторах мощностью 300 МВт (ТГВ-300 и ТВМ-300).

Электромашинные системы возбуждения снабжаются автоматическим регулятором в виде *устройства компаундирования с корректором напряжения*, что позволяет получить приемлемую кратность форсировки, но быстродействие их по сравнению с другими системами является невысоким ($k_{\phi} \approx 2$, постоянная времени возбудителя $T_v = 0,3 \div 6,0$ с). Поэтому такие системы могут применяться лишь для возбуждения ТГ, к которым не предъявляют повышенных требований в отношении устойчивости.

В настоящее время электромашинные возбудители применяют только на турбогенераторах мощностью до 100 МВт, на гидрогенераторах небольшой мощности и в качестве резервных возбудителей, в том числе и для генераторов с вентильными системами возбуждения.

Для генераторов больших мощностей применяются только вентильные системы возбуждения с неуправляемыми или управляемыми вентилями (см. рис. 1.23). Первые, например, используются для турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165, 200, 300 и 500 МВт (рис. 1.22)

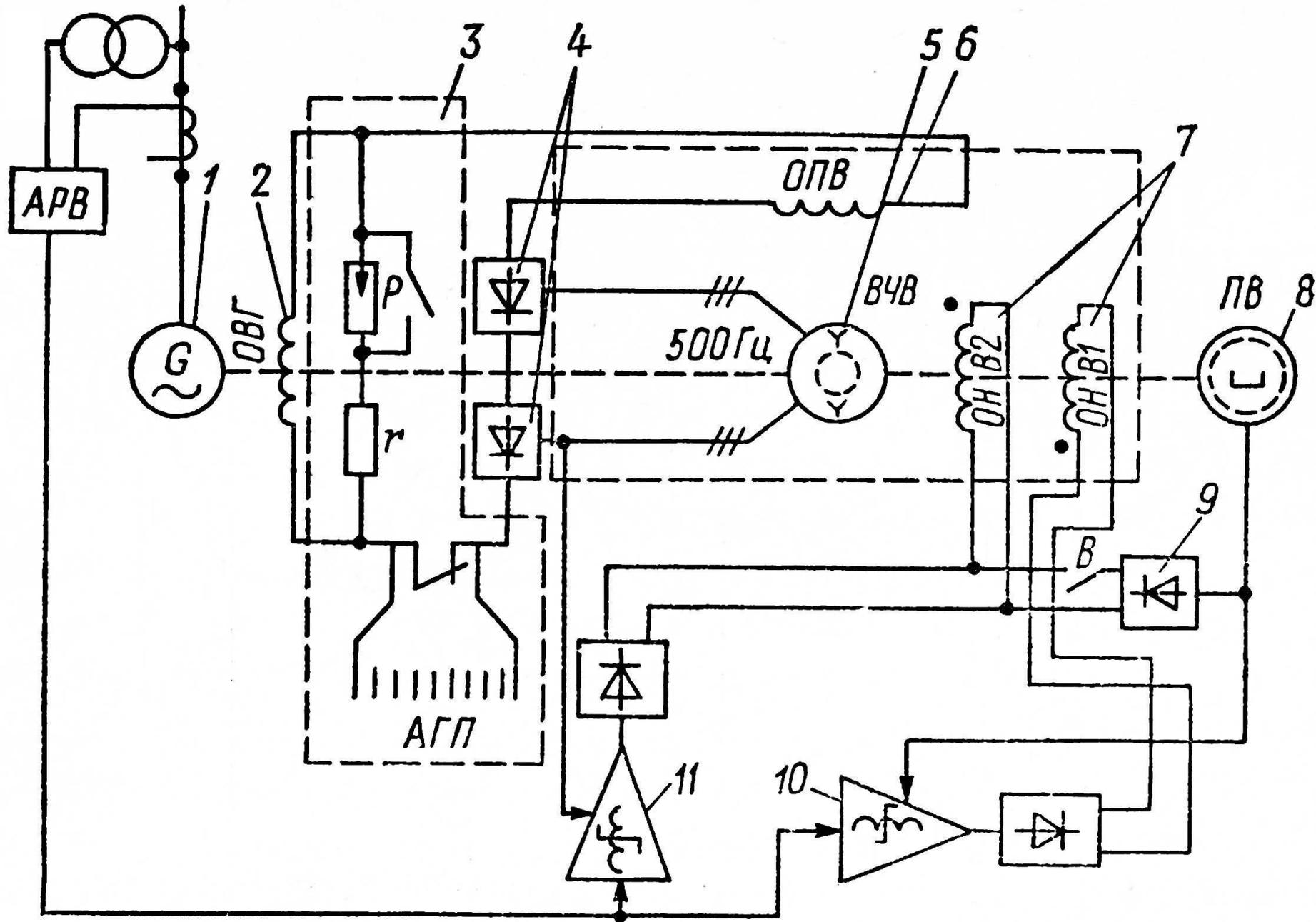


Рис. 1.22

Рис. 1.22. Высокочастотная система возбуждения с неуправляемыми полупроводниковыми выпрямителями:

1 - синхронный генератор; *2* - обмотка возбуждения генератора (ОВГ); *3* - автомат гашения поля (АГП); *4* - выпрямительное устройство; *5* – высокочастотный возбудитель; *6,7* – последовательная (ОПВ) и независимые (ОНВ) обмотки возбуждения высокочастотного возбудителя (ВЧВ); *8* – высокочастотный подвозбудитель (ПВ); *9* — выпрямитель (В); *10, 11* — магнитные усилители (МУ) бесконтактной форсировки и автоматического регулятора возбуждения (АРВ); *P* - разрядник.

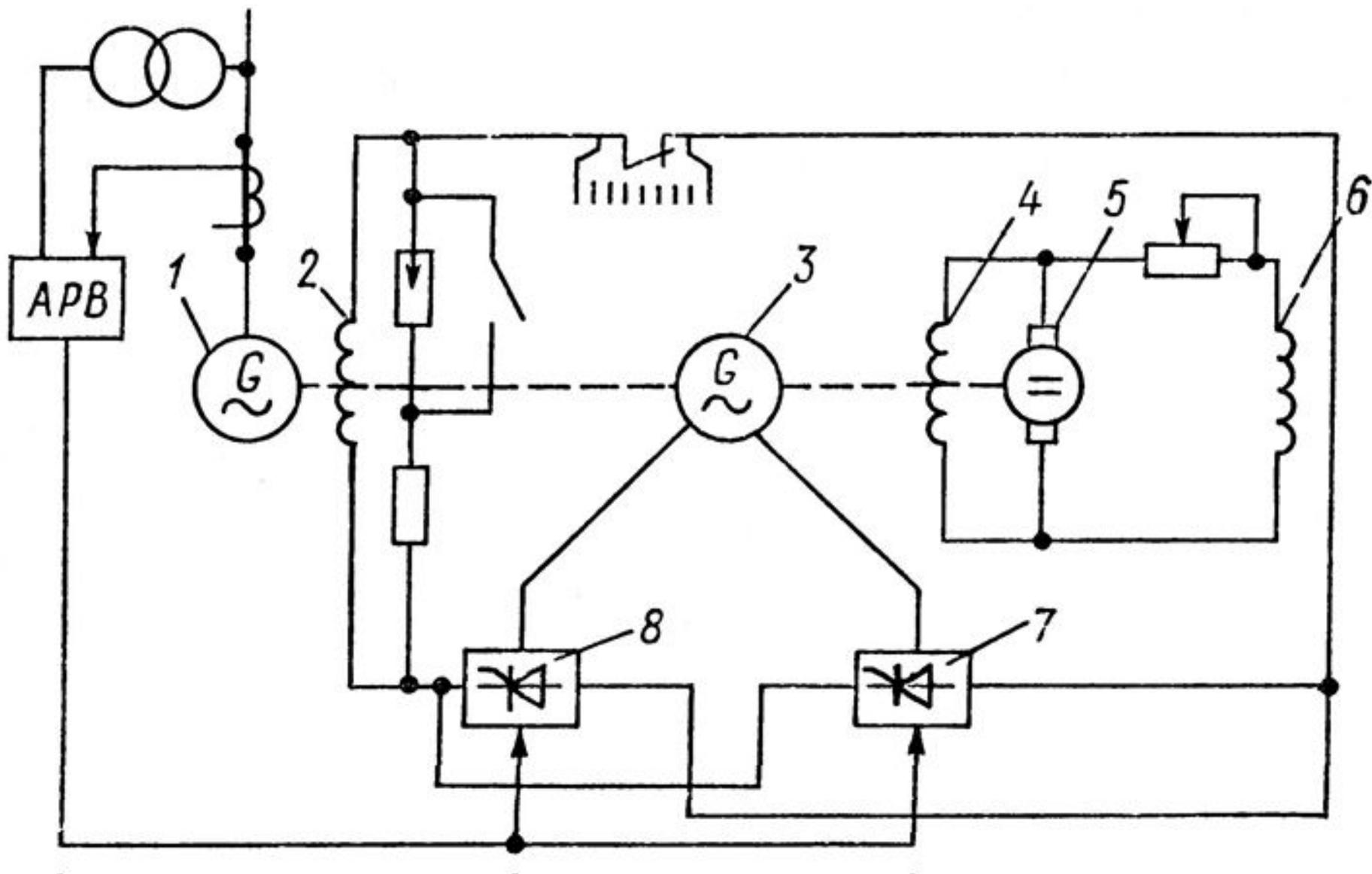


Рис. 1.23.

Рис. 1.23. Независимая система возбуждения с управляемыми вентилями

1 — синхронный генератор;

2 — обмотка возбуждения;

3 — возбудитель (вспомогательный генератор с двумя обмотками на статоре);

4 — обмотка возбуждения возбудителя;

5 — подвозбудитель;

6 — обмотка возбуждения подвозбудителя;

7, 8 — форсировочная и рабочая группы управляемых вентиляей

Источником тока вентильной системы возбуждения являются ртутные или полупроводниково-вые вентили, получающие питание от вспомогательного или главного синхронного генератора

Высокочастотный возбудитель представляет собой сильно компаундированную индукторную машину, возбуждение которой определяется в основном обмоткой самовозбуждения, **включенной последовательно с обмоткой ротора СГ.**

В зависимости от источника энергии, используемого для возбуждения, все системы разделяются на *системы независимого возбуждения* и *системы самовозбуждения*.

Преимущественное применение нашли схемы независимого возбуждения, в которых используется механическая энергия на валу возбуждаемой синхронной машины и возбудитель не связан с сетью системы, т.е. и возбуждение осуществляется независимо от режима ее работы.

Обычно это ГПТ (рис. 1.21) или СГ в сочетании с вентильными выпрямителями (рис. 1.22 - 1.23).

При самовозбуждении используется энергия, вырабатываемая самим возбуждаемым генератором или получаемая из связанной с ним сети.

В качестве возбудителя используется генератор постоянного тока или вентильные выпрямители (рис. 1-23).

Рассмотренные выше системы возбуждения называют *традиционными*, *щеточными* или *контактными*, так как обмотка возбуждения СГ соединяется с возбудителем посредством контактных колец и щеток. Мощные СГ требуют большой ток возбуждения, недопустимый для скользящего щеточного контакта.

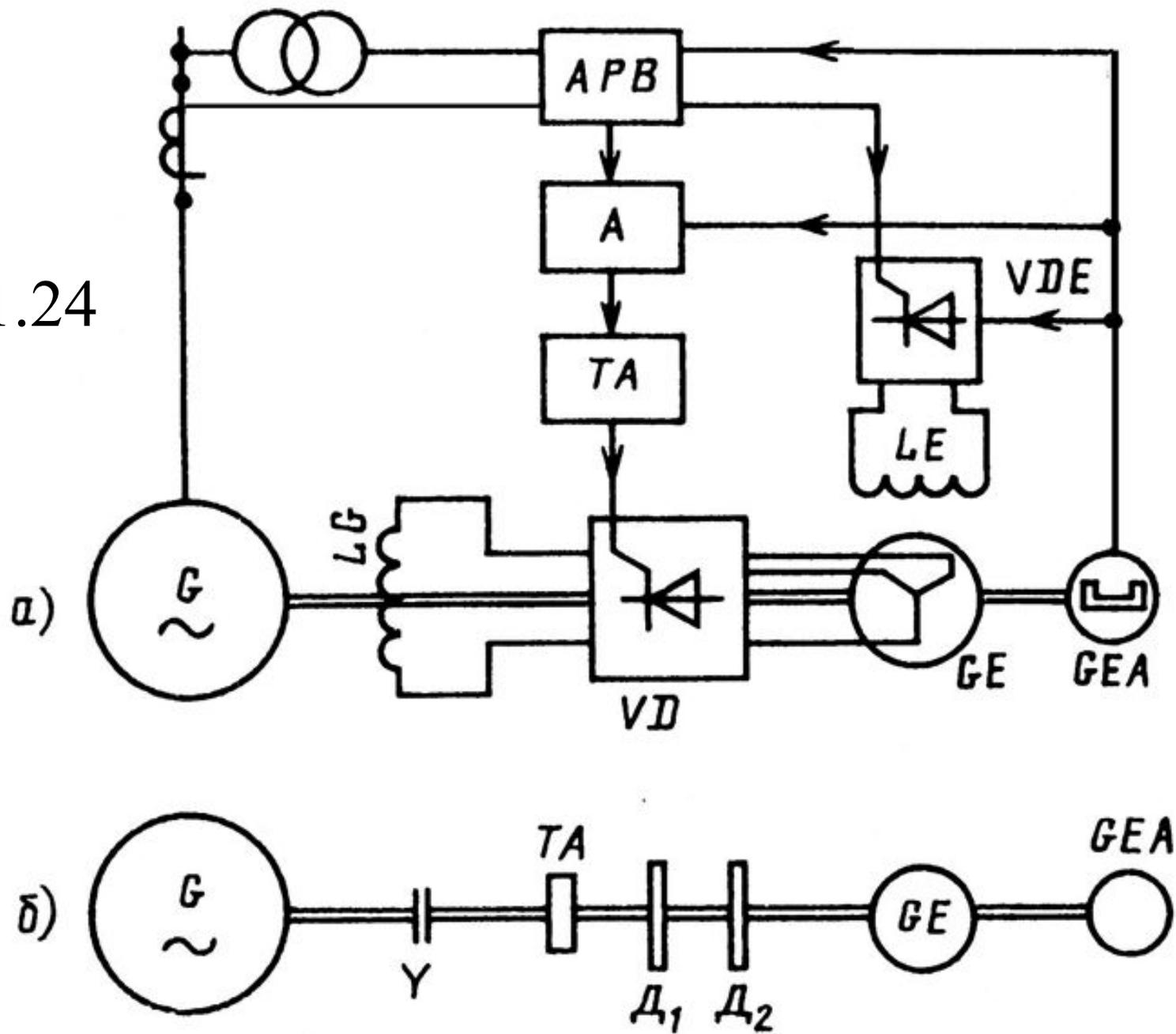
В настоящее время для турбогенераторов мощностью 300 МВт применяются *бесконтактные* или *бесщеточные* системы возбуждения с непосредственным соединением возбудителя и обмотки возбуждаемой машины.

Схема, поясняющая работу бесщеточной системы возбуждения приведена на рис. 1.24, где:

а — принципиальная схема;

б — схема взаимного расположения оборудования на валу генератора

Рис. 1.24



В этой системе в качестве возбудителя GE используется синхронный генератор с частотой 50 Гц особой конструкции - его обмотка возбуждения LE расположена неподвижно на статоре, а трехфазная обмотка переменного тока вращается с ротором.

Обмотка LE получает питание через выпрямители VDE от подвозбудителя GEA индукторного типа с постоянными магнитами. Переменный ток трехфазной обмотки якоря возбудителя выпрямляется с помощью вращающихся вместе с валом выпрямителей, в качестве которых используют неуправляемые полупроводниковые (кремниевые) выпрямители - диоды и управляемые - тиристоры.

На рис. 1.24,б видно, что тиристоры VD , смонтированные на дисках $D1$, расположены на валу между возбудителем и соединительной муфтой Y . В том же месте на других дисках $D2$ расположены делители напряжения, выравнивающие распределение напряжения на тиристорах, и плавкие предохранители, отключающие пробитые тиристоры.

Количество тиристоров выбирается с таким расчетом, чтобы при выходе из работы некоторых из них (до 20%) оставшиеся в работе могли обеспечить возбуждение в режиме форсировки. Регулирование тока возбуждения возбуждаемой машины осуществляется путем воздействия АРВ на тиристоры через импульсное устройство A и вращающийся трансформатор TA .

Автоматическое регулирование возбуждения СГ способствует прекращению качаний электрических параметров и сохранению устойчивости параллельной работы генераторов с сетью.

Быстродействующее регулирование и форсировка возбуждения (быстрое увеличение тока и напряжения возбуждения генератора при глубоких снижениях напряжения) повышают надежность работы релейной защиты и облегчают условия самозапуска электродвигателей с.н.

Жесткое соединение элементов между собой без применения контактных колец и щеток, значительно повышает надежность работы и облегчает эксплуатацию СГ.

Сегодня бесщеточная система используется повсеместно для возбуждения ТГ и СК мощностью от 50 МВ А и более 1200 МВт. Особенно она перспективна для генераторов большой мощности с токами возбуждения 3 кА и выше. Так, бесщеточная система установлена на крупнейшем в стране генераторе 1200 МВт, имеющем ток возбуждения более 7,5 кА (Костромская ГРЭС).

Недостатки: из-за отсутствия размыкающих контактов в цепи обмотки возбуждения гашение поля происходит сравнительно медленно через АГП возбuditеля, кроме того, необходим останов машины для ввода резервного возбуждения и замены вышедших из строя выпрямителей и перегоревших предохранителей.

