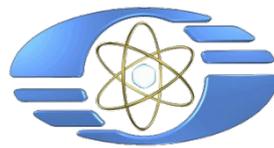




УТЦ



ЗАЭС



2017



ОП ЗАПОРОВЖСКАЯ АЭС



Модуль обучения в УТЦ
оперативного персонала ОП ЗАЭС

Курс:
Эксплуатация оборудования и систем ЭЦ

Тема:
Турбогенератор ТВВ-1000-4УЗ

Категория персонала - НСБ, ВИУБ, НСТО,
ВИУТ, НСЭЦ, ДЭМ

Продолжительность - 2 часа

Конечная цель обучения

По окончании обучения обучаемые будут способны продемонстрировать теоретические знания по вопросам эксплуатации турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ, необходимые для безопасного и эффективного выполнения своих должностных обязанностей

Промежуточные цели занятия

1. Объяснить назначение, устройство и принцип работы турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ
2. Перечислить номинальные данные генератора ТВВ-1000-4УЗ
3. Перечислить системы, обеспечивающие работу ТГ и параметры охлаждающих сред
4. Объяснить конструктивные особенности ТГ
5. Объяснить порядок отыскание мест утечек водорода из системы охлаждения генератора
6. Объяснить причины возникновения подшипниковых токов и перечислить меры по предотвращению их негативного воздействия

План занятия

1. Назначение, устройство и принцип работы турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ
2. Номинальные данные генератора ТВВ-1000-4УЗ
3. Системы, обеспечивающие работу ТГ, параметры охлаждающих сред
4. Конструктивные особенности ТГ
5. Отыскание мест утечек водорода из системы охлаждения генератора
6. Причины возникновения подшипниковых токов ТГ и меры по предотвращению их протекания
7. Выходной контроль знаний

Введение

Для обеспечения длительной, надёжной и экономичной работы ТГ, быстрого и точного определения возможных неисправностей агрегата и его вспомогательных систем, а также для устранения повреждений и локализации аварий, обслуживающему персоналу необходимы знания конструкции ТГ, режимов его работы и обслуживаемого оборудования, а также понимание причин и следствий происходящих технологических процессов во время отклонений от режимов нормальной эксплуатации.

ПЦ-1

Объяснить назначение,
устройство и принцип
работы турбогенератора
ТВВ-1000-4УЗ

Значимость ТГ и его системы возбуждения для АЭС

Главные агрегаты АЭС	Виды преобразовываемых энергий	Системы регулирования		Главные регуляторы систем	
Реактор	ядерная в тепловую	СУЗ	система управления и защит реактора	АРМ	автомати- ческий регулятор мощности
Турбина	тепловая в механическую	АСУТ	автоматизи- рованная система управления турбиной	ЭГСР	регулятор электроги- дравличес- кой системы
Генератор	механическая в электрическую	СВГ	система возбуждения генератора	АРВ	автомати- ческий регулятор возбужде- ния

Турбогенераторы ЗАЭС

Блок	Выпуск	Ввод	Замена
ТГ-1	1982	1984 (30.12)	
ТГ-2	1984	1985 (13.11)	
ТГ-3	1986	1986 (30.06)	1997 статор
ТГ-4	1986	1987 (17.12)	1997 ротор
ТГ-5	1988	1989 (05.09)	
ТГ-6	1988	1995	2008 якорь возб.

Назначение генератора ТВВ-1000-4УЗ

Турбогенератор синхронный трехфазный типа **ТВВ-1000-4УЗ** предназначен для преобразования механической энергии вращения вала турбины в электрическую с целью выработки электроэнергии в продолжительном режиме работы при непосредственном соединении с конденсационной паровой турбиной типа **К-1000-60/1500-2**, являющейся приводом генератора.

Назначение возбудителя и системы возбуждения

Бесщеточный возбудитель БВД-4600-1500-УЗ

предназначен для работы в системе возбуждения генератора ТВВ-1000-4УЗ и представляет собой агрегат, состоящий из явнополюсного синхронного обращенного генератора и вращающегося выпрямителя, конструктивно выполненных на одном валу.

Система возбуждения СБД-470-7000-2 УХЛ4

синхронного генератора, в состав которой входит возбудитель - это комплекс оборудования, устройств, аппаратов и сборочных единиц, предназначенных для возбуждения автоматически регулируемым постоянным током обмотки ротора генератора в нормальных и аварийных режимах с целью выработки электроэнергии.

Вал ротора возбудителя механически соединен с валом ротора ТГ. В этом же узле выполнено электрическое соединение выходных цепей возбудителя и входных цепей обмотки ротора ТГ с помощью посеребренных медных контактных клиньев.

Турбогенератор ТВВ-1000-4УЗ

- Т** – турбогенератор;
- В** – водородное охлаждение обмотки ротора и магнитной системы генератора (железа ротора и статора)
- В** – водяное охлаждение обмотки статора
- 1000** – номинальная активная мощность, отдаваемая генератором в сеть, МВт
- 4** – количество полюсов (для $f = 50$ Гц, $n = 1500$ об/мин)
- У** – климатическое исполнение генератора для умеренного климата
- З** – для размещения в закрытых помещениях, где колебания t и влажности, а также воздействие песка и пыли меньше, чем на открытом воздухе, и t окружающей среды в пределах от $+5$ до $+40$ °С. Среда не взрывоопасная, пылесодержание в воздухе МЗ не должно превышать $0,1$ мг / м³.

Завод-изготовитель – ЛЭО «Электросила»

Средний срок службы ТГ - 30 лет

Возбудитель БВД-4600-1500-УЗ

БВД – бесщеточный возбудитель диодный

4600 – мощность полная, кВА

1500 – частота вращения, об/мин

УЗ – климатическое исполнение (для умеренного климата и закрытых помещений)

Конструктивно выполнен на одном валу, соединенном с ротором ТГ и состоит из двух частей:

- 3-х фазного обращенного синхронного генератора с обмоткой переменного тока на «якоре», выполненной по схеме двойной звезды, и обмотки возбуждения возбудителя, выполненной на 12 полюсной магнитной системе;
- вращающегося выпрямителя, собранного по 3-х фазной мостовой схеме.

Частота тока, индуктируемого в обмотках якоря возбудителя - 150 Гц.

Общий вид ТГ ТВВ-1000-4УЗ совместно с возбудителем БВД-4600-1500-УЗ



Возбудитель БВД 4600-1500-УЗ



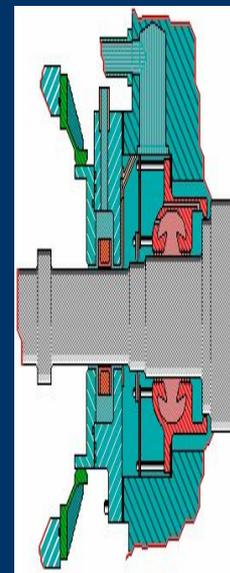
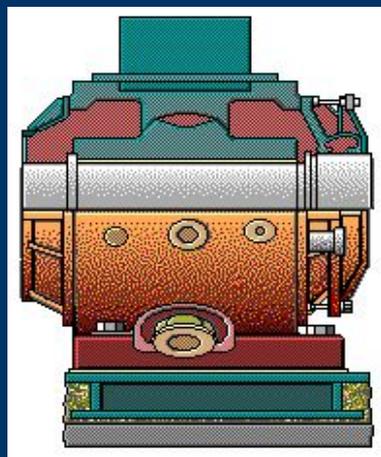
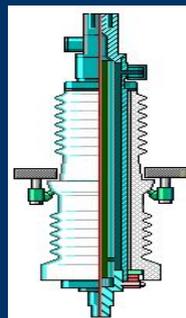
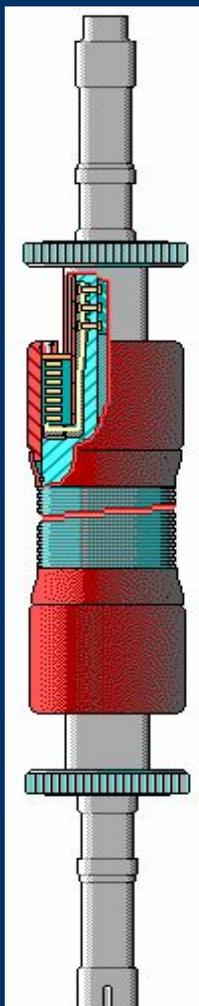
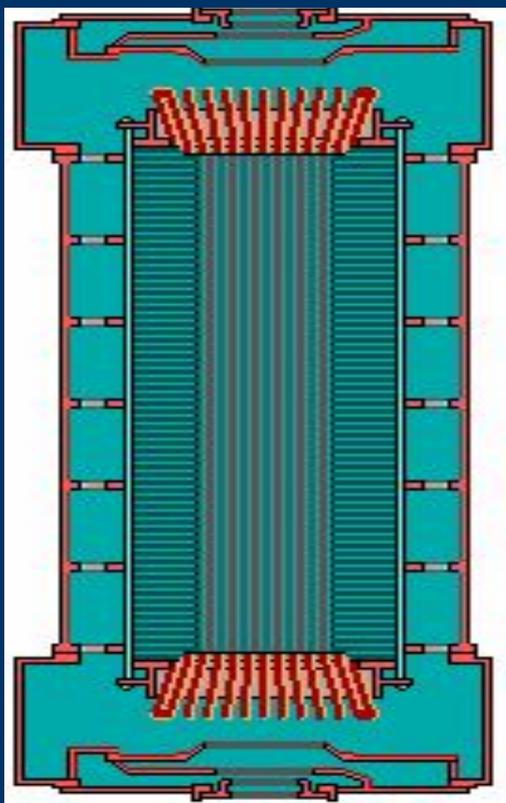
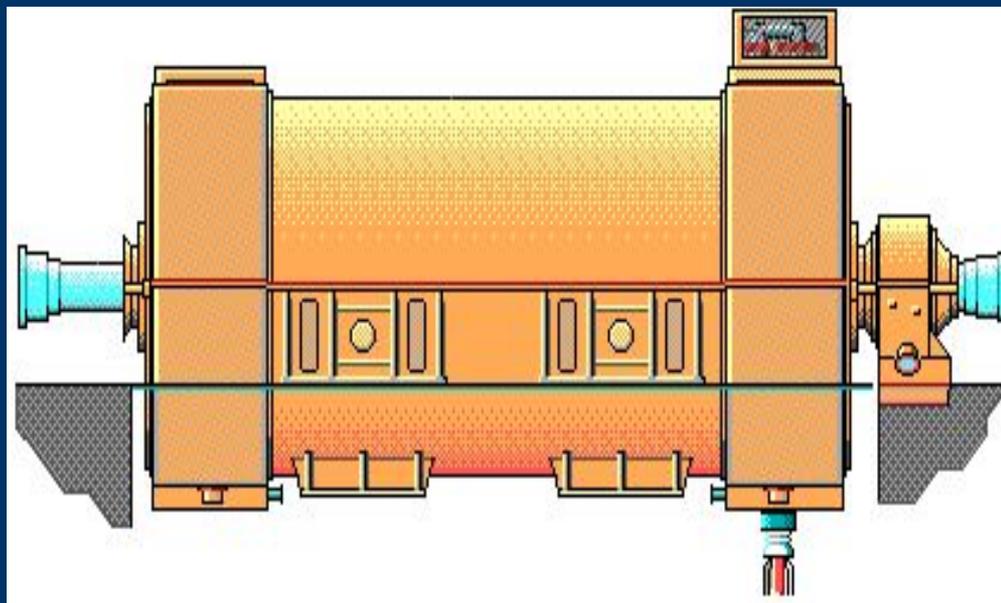
Турбогенератор ТВВ-1000 (комплектность)

В комплект генератора входят:

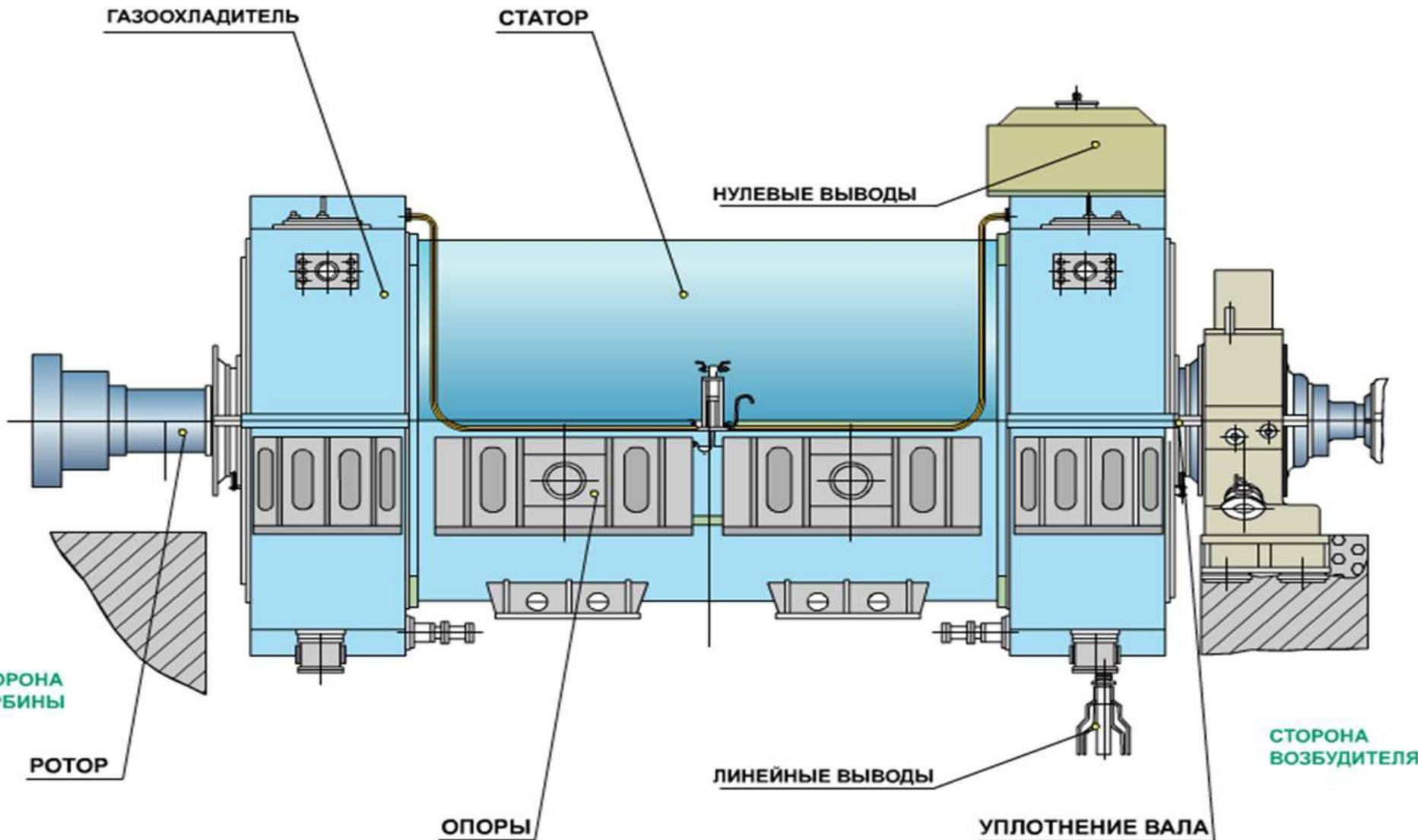
- возбудитель;
- аппаратура теплового контроля;
- оборудование и аппаратура системы водородного охлаждения генератора;
- оборудование и аппаратура системы водяного охлаждения обмотки статора генератора;
- оборудование и аппаратура системы маслоснабжения уплотнений вала генератора;
- оборудование и аппаратура системы возбуждения генератора.

Состав генератора ТВВ-1000-4УЗ

Статор
Ротор
Опорный подшипник
Линейные и нулевые
вывода
Уплотнение вала
Газоохладители



ТГ ТВВ-1000-4УЗ (сборочные единицы)

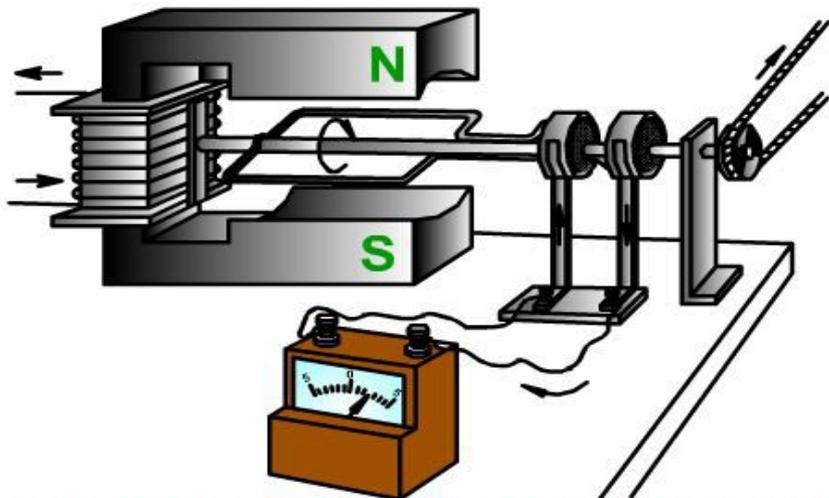


Закон электромагнитной ИНДУКЦИИ

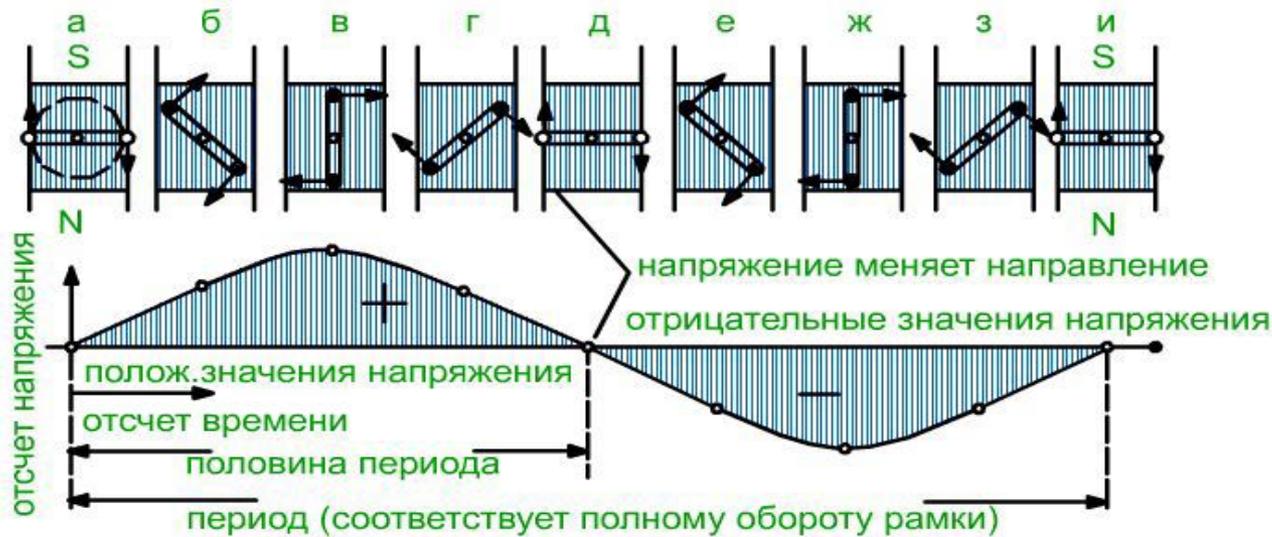
Если магнитный поток Φ , проходящий
сквозь поверхность, ограниченную
некоторым контуром, изменяется во
времени то в контуре индуцируется
ЭДС, равная скорости изменения
магнитного потока

$$E = -d\Phi/dt$$

Модель генератора переменного тока

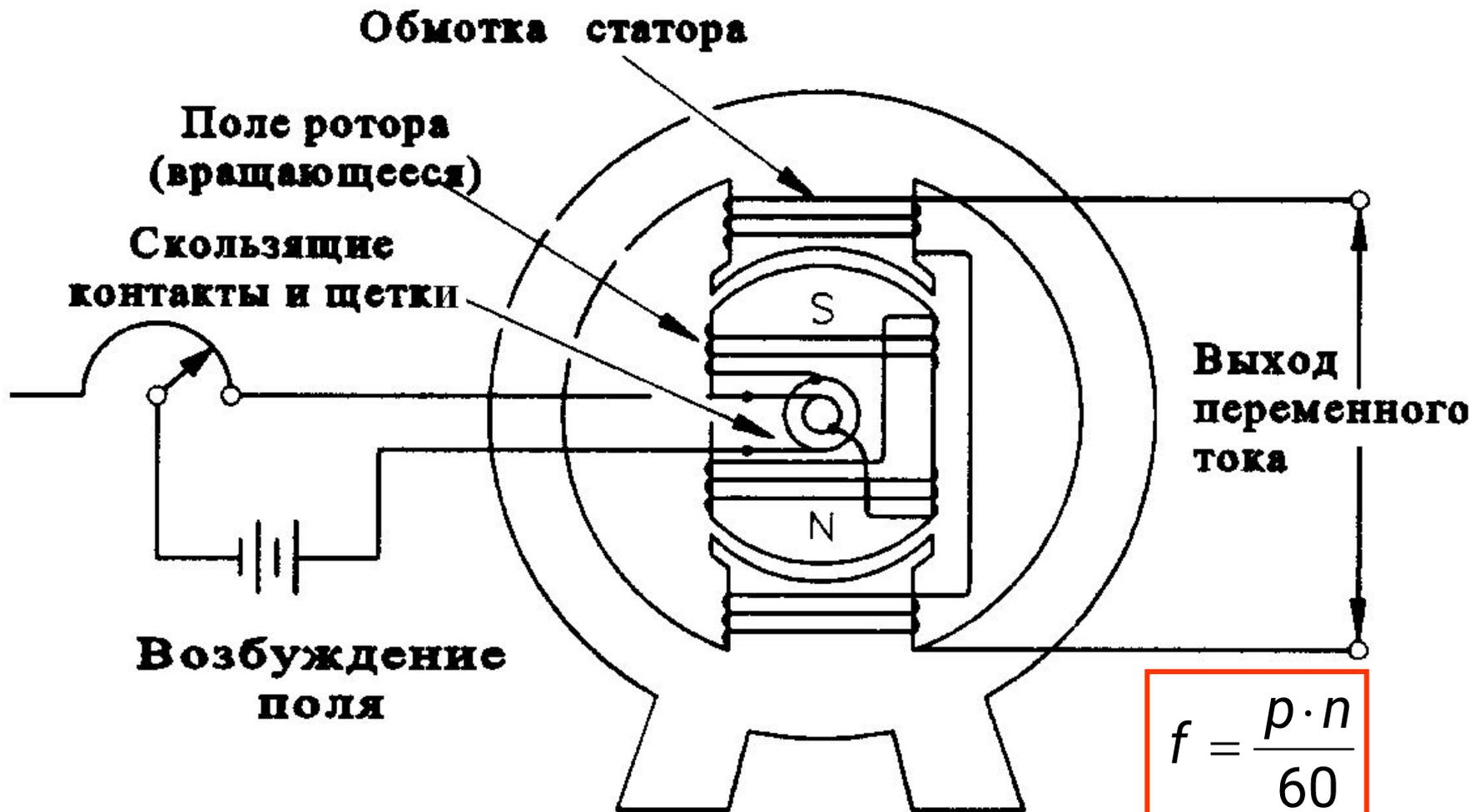


а) Стрелка вольтметра попеременно отклоняется вправо и влево от нулевого положения

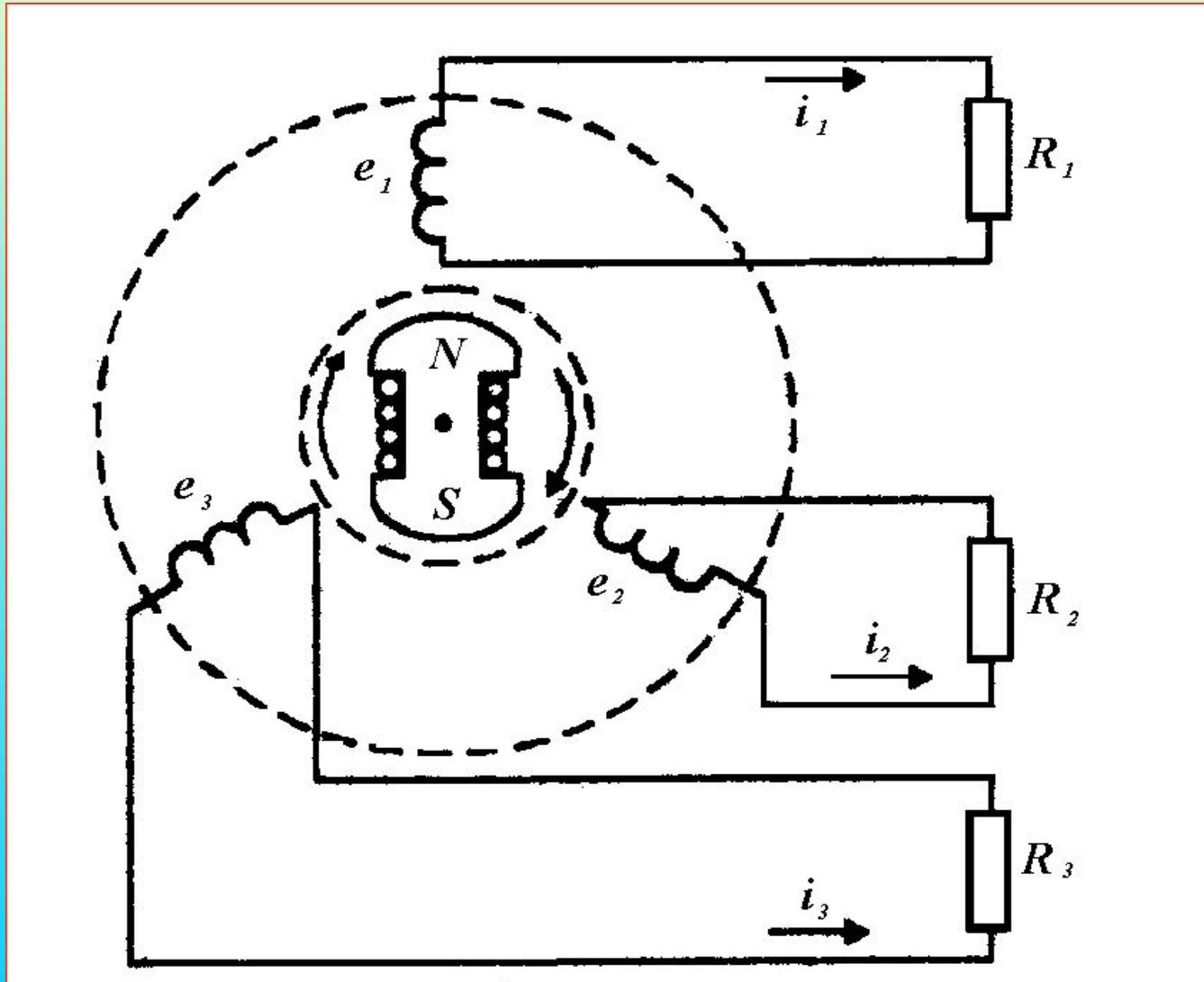


б) Изменения напряжения на концах вращающегося витка

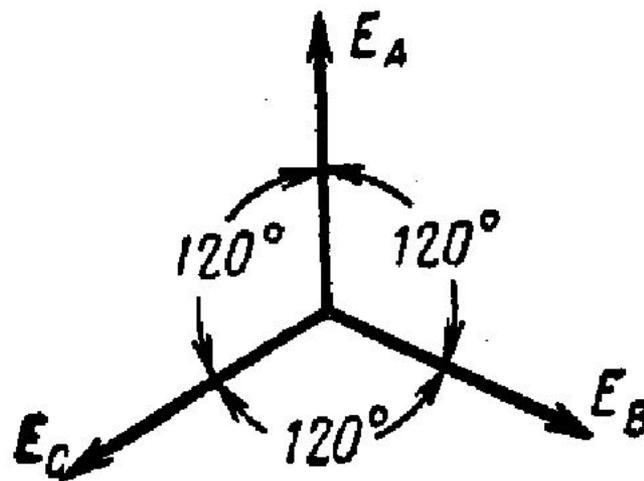
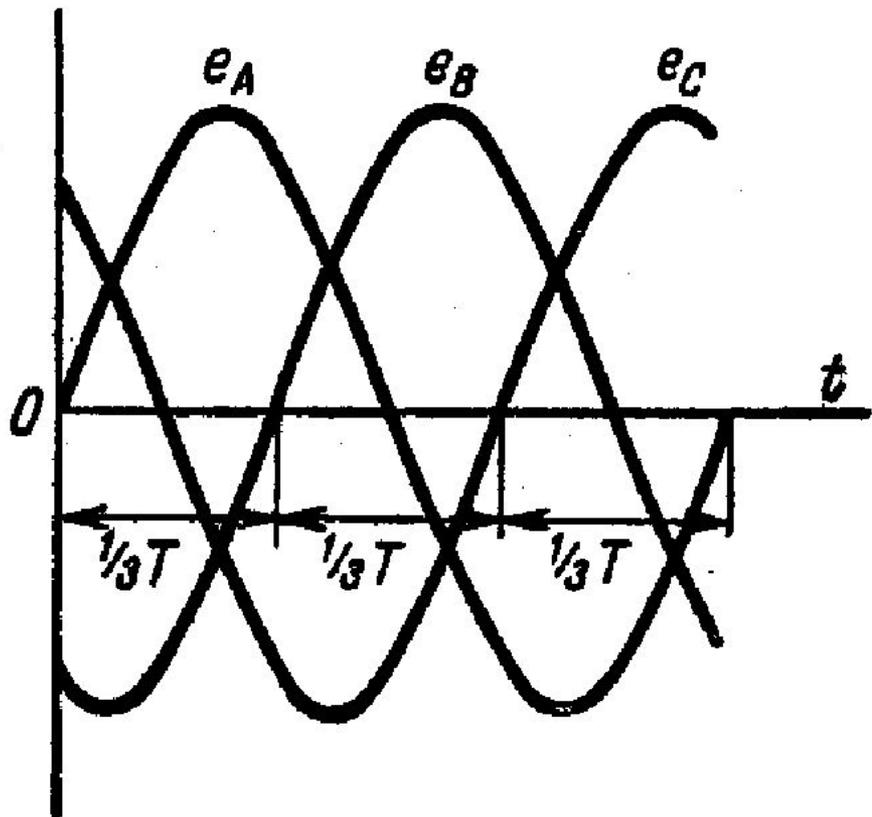
Простейший генератор переменного тока



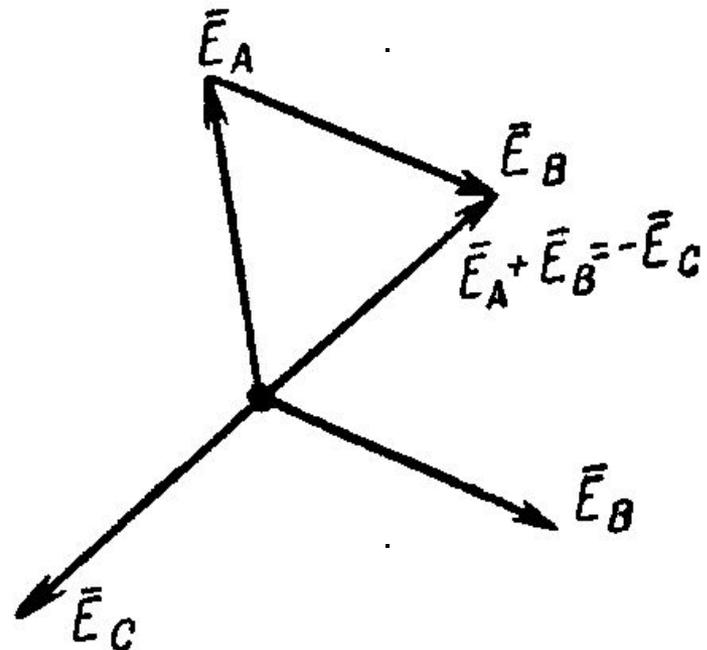
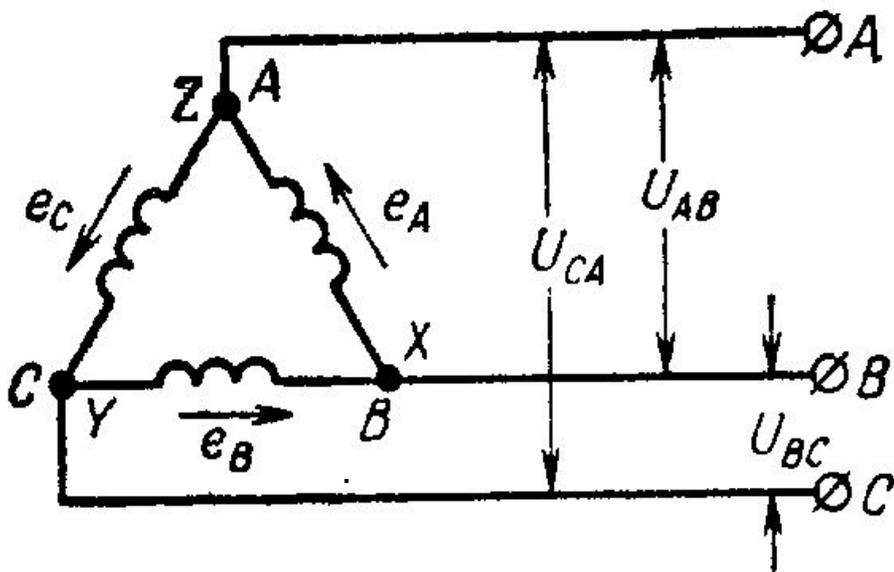
Модель 3-х фазного генератора



ЭДС 3-х фазного генератора



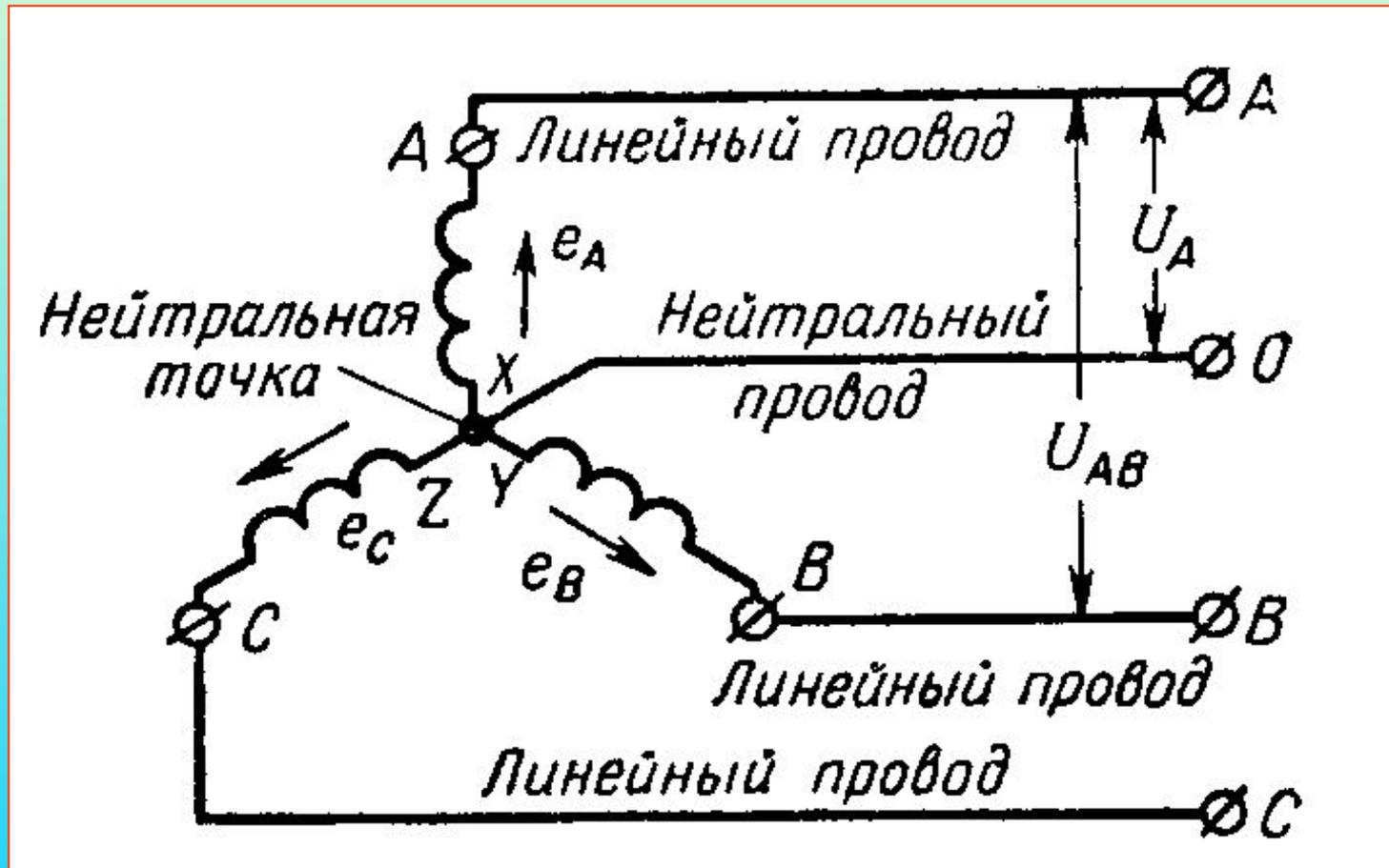
Соединение обмоток генератора в треугольник



$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ф}}$$

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$$

Соединение обмоток генератора в звезду



$$U_{л} = \sqrt{3} \cdot U_{ф}$$

Основные формулы

$$f(zu) = p \text{ (пар полюсов)} \cdot \Omega \text{ (об/с)}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

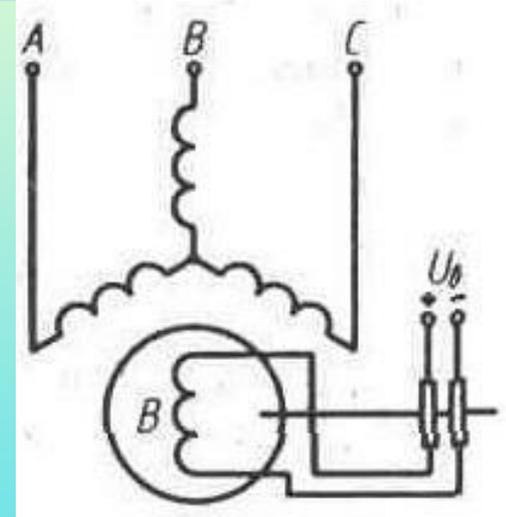
$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$S = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi}$$

Основные понятия

- Активная, реактивная, полная мощности, единицы измерения
- Зависимости мощностей СГ
- Входы, выходы электрических машин
- Статор, ротор, якорь, индуктор
- Синхронность полей ротора, статора
- Угол мощности
- Частота генерируемого СГ тока



Итог по ПЦ-1

**Назначение, устройство и
принцип работы
турбогенератора
ТВВ-1000-4УЗ**

ПЦ-2

Перечислить номинальные
данные генератора
ТВВ-1000-4УЗ

Номинальные данные генератора ТВВ-1000-4УЗ

(при номинальных параметрах давления и температуры окружающей среды)

■ мощность полная, кВА	1 111 000
■ мощность активная, кВт	1 000 000
■ напряжение статора, В	24 000
■ ток статора, А	26 730
■ ток ротора, А (расчетный)	7 000
■ напряжение ротора, В (расчетное при 75°C)	435
■ коэффициент мощности	0,9
■ коэффициент полезного действия, %	98,7
■ статическая перегружаемость	1,54
■ соединение фаз обмотки статора	двойная звезда
■ число выводов обмотки статора	9
■ частота, Гц	50
■ частота вращения, об/мин	1 500
■ критическая частота вращения, об/мин	1 170

Итог по ПЦ-2

**Номинальные данные
генератора ТВВ-1000-4УЗ**

ПЦ-3

**Перечислить системы,
обеспечивающие работу
ТГ и параметры
охлаждающих сред**

Работа генератора зависит от функционирования следующих основных систем:

- газовая система генератора;
- система замкнутого контура охлаждения обмотки статора генератора **SS**;
- система замкнутого контура газоохладителей циркуляционных **ST**;
- система охлаждающей воды пароэжекторных машин **UX**;
- система осушения водорода **GT10**;
- система уплотнения вала генератора **SU**;
- система смазки подшипников ТГ **SC**;
- система контроля вибрации подшипников **SB**;
- система возбуждения **GE**;
- система охлаждения токопроводов (фазных и нулевых) **QD**;
- система подачи азота в корпус, к картерам подшипников, в шинопроводы **SK**;
- система термоконтроля генератора;
- система электрического контроля, защит и измерений генератора.

Другие важные устройства, обеспечивающие работу ТГ

Большинство обеспечивающих систем ТГ прямо или косвенно связаны с **охлаждением**, так как при КПД = **98,7** и потерях **1,3%** приблизительно **13 МВт** тепловой энергии необходимо отвести от активных элементов генератора.

Подшипники ТГ оснащены **системой гидростатического подъёма** шейки вала с целью:

- облегчения сдвига валопровода при пуске турбины;
- уменьшения мощности привода ВПУ;
- предотвращения износа вкладышей подшипников при работе валоповорота;
- надёжной работы подшипников при пониженной частоте вращения вала ротора < 1000 об/мин.

Валоповоротное устройство (SN10D01) служит для проворота ротора турбины с целью равномерного нагрева либо остывания ротора в режимах пуска и останова турбоагрегата.

ТА оснащён также **устройством токосъёма статического заряда** с вала.

Основные данные охлаждающих сред

Водород в корпусе статора

Параметр	Значение
Избыточное давление номинальное, кгс/см ²	5,0
Допустимое отклонение, кгс/см ²	+/- 0,2
Наибольшее давление, кгс/см ²	6,0
Номинальная t охлаждающего газа, °C	+ 40
Минимальная t холодного газа, °C	+ 20
Чистота, % не менее	98
Содержание O ₂ , % не более	0,8
Относительная влажность при 40 °C, %	≤ 20

Вода в г/о и т/о системы охлаждения обмотки статора

Параметр	Значение
Температура поступающей воды, °C	15÷33
Давление, кгс/см ²	≤ 4,5
Расход на один газоохладитель, м ³ /ч	275
Гидравлическое сопротивление газоохладителя, кгс/см ²	2,0
Количество газоохладителей	4

Дистиллят в обмотке статора

Параметр	Значение
Давление на входе в обмотку, кгс/см ²	4,5÷4,8
Давление на выходе из обмотки, кгс/см ²	1,2÷1,4
Температура поступающего дистиллята, °С	+30÷40
Номинальный расход, м ³ /час	225±10
Водородный показатель РН при 25 °С	8÷9
Номин. удельное электр-е сопрот-е при 25 °С, кОм·см	200
Min допустимое удельное электр-е сопрот-е, кОм·см	100
Удельная электр-я проводимость при 25 °С, мкСм/см	< 5
Мах допустимое содержание меди, мкг/дм ³	100
Мах допустимое содержание кислорода, мкг/дм ³	400
Гидравлическое сопротивление обмотки, кгс/см ²	4

Допускаемые значения температуры отдельных элементов генератора и охлаждающих сред

Наименование элементов генератора	Допускаемые значения t , °C
Обмотка статора	≤ 75
Обмотка ротора (вычисленное по сопр. обм. рот.)	≤ 115
Активная сталь статора	≤ 105
Дистиллят на выходе из обмотки статора	≤ 85
Горячий газ в корпусе статора	≤ 75
Холодный газ в корпусе статора	≤ 55
Баббит вкладышей опорных подшипников	≤ 80
Баббит вкладышей уплотнений	≤ 90
Масло на входе в подшипники и уплотнения	$35 \div 45$
Масло на сливе из подшипников и уплотнений	≤ 65
Примечание:	
1. Разность между Max и Min t обмотки статора, измер. термопреобр. сопр. ≤ 25 °C	
2. Превышение t обмотки ротора над t вход. холодного H_2 ≤ 75 °C	

Дополнительные технические данные генератора

Параметр	Значение
Расход масла на подшипник Г (без уплотнения вала), л/мин	650
Давление масла в опорных подшипниках, кгс/см ²	0,5÷1,5
Расход масла на уплотнение вала с обеих сторон Г, л/мин	350
Перепад давления «уплотняющее масло-водород», кгс/см ²	0,5÷0,9
Газовый объем собранного генератора, м ³	120
Газовый объем статора (без ротора), м ³	140
Газовый объем Г совместно с водородной системой, м ³	125
Число ходов воды газоохладителя	2
Масса газоохладителя, кг	2 730
Гидравлический объем газоохладителя, м ³	0,393
Масса ротора, кг	156 000
Масса статора без концевых частей (Мах масса монтажа), кг	333 000

Технические данные возбудителя и его систем

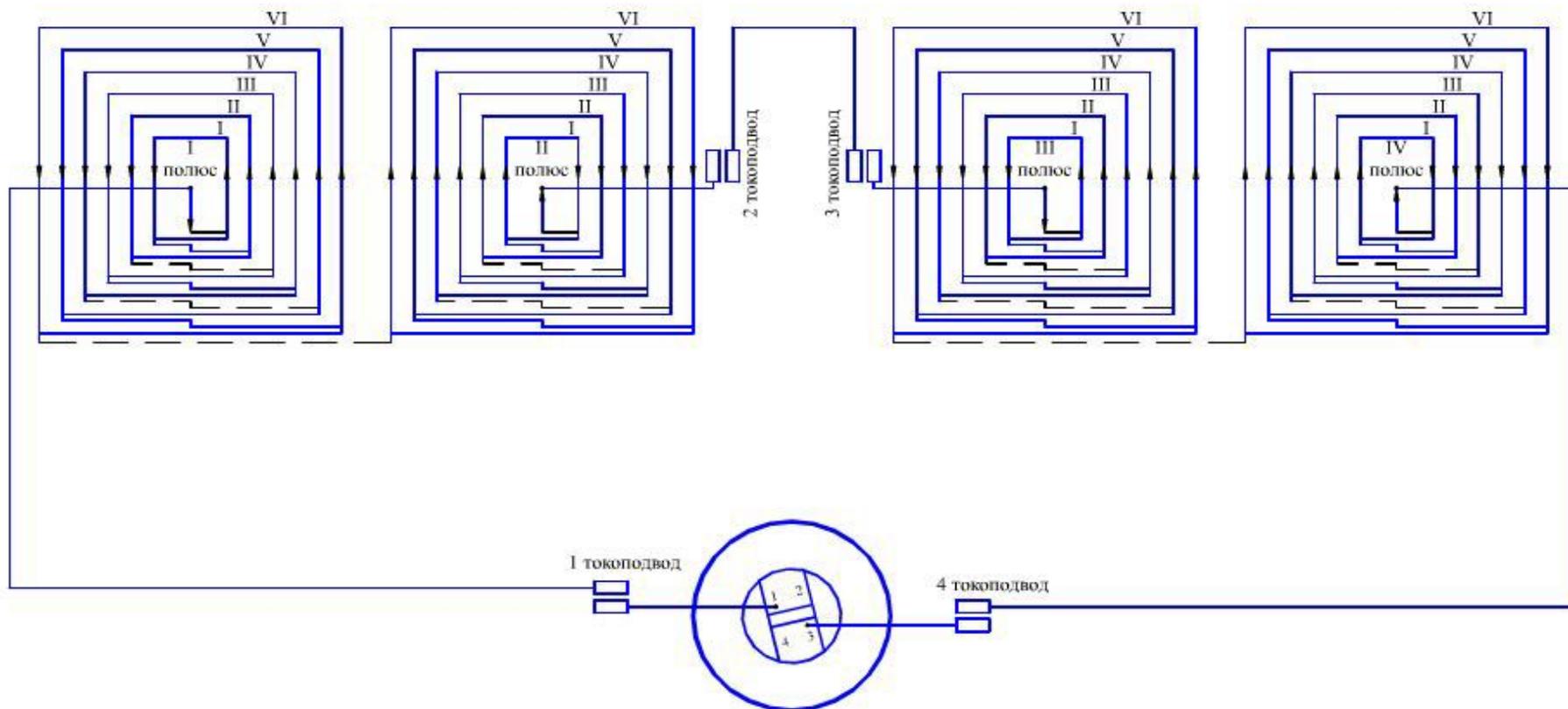
№	Наименование параметра	Значение
1	Мощность, кВт (постоянный ток)	4000
2	Напряжение, В (длительно)	518
3	Напряжение, В (форсировка 15 с)	940
4	Ток, А (длительно)	7750
5	Ток, А (форсировка 15 с)	14040
6	Ток возбуждения, А (длительно)	210
7	Ток возбуждения, А (форсировка 15 с)	425
8	Напряжение возбуждения, В	40
10	t охлаждающего воздуха, °С	+ 5 ÷ 40
11	t охлаждающей воды, °С	+ 15 ÷ 33
12	t входящего масла ПШ возбудителя, °С	+ 40 ÷ 45
13	Расход воды на 4 в/о обращенного генератора, м ³ /ч	100
14	Расход воды на 2 в/о вращающегося выпрямителя, м ³ /ч	50
15	Расход масла на ПШ №11 (со стороны Г), л/мин	75
16	Расход масла на ПШ №12 (со стороны колец ЩА), л/мин	55
17	Максимальное давление воды в в/о, кг/см ²	3

Итог по ПЦ-3
**Системы,
обеспечивающие работу ТГ,
параметры охлаждающих сред**

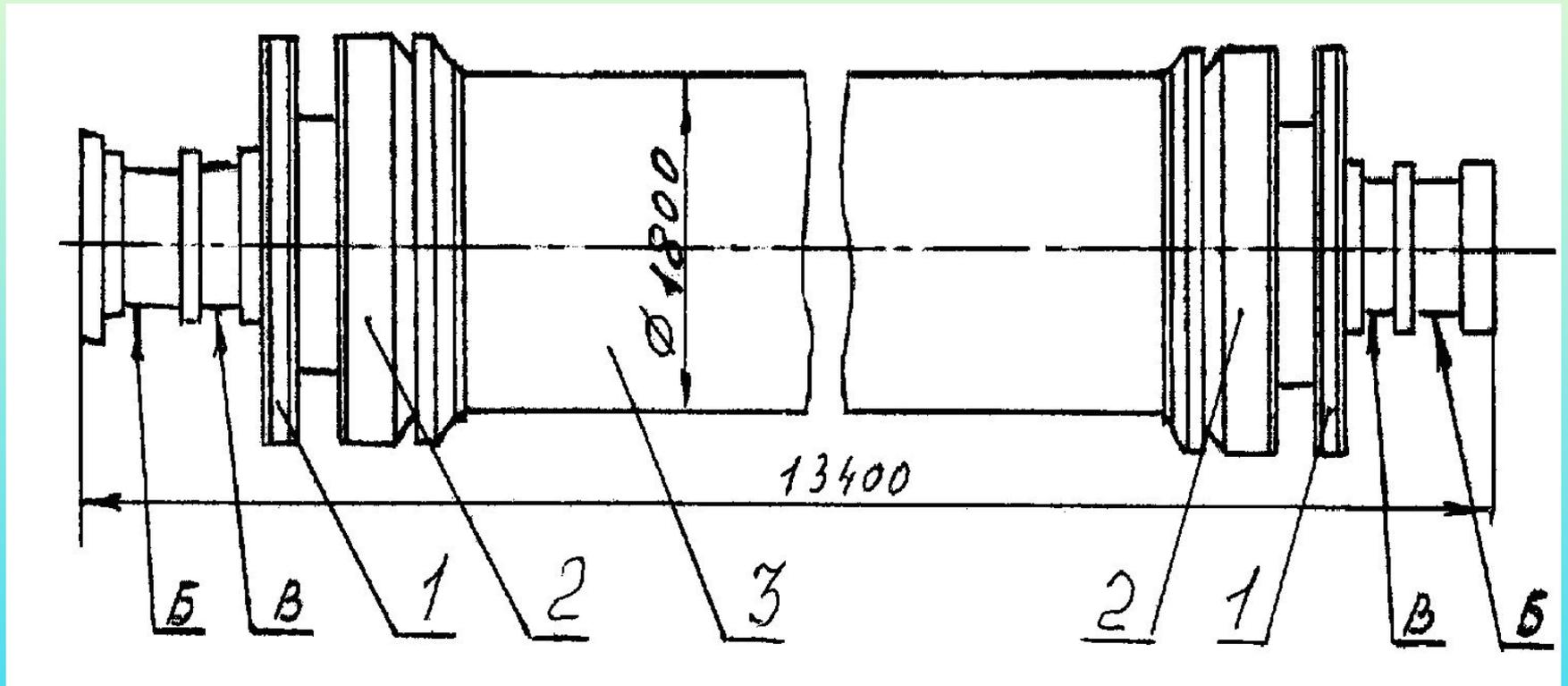
ПЦ-4

**Объяснить
конструктивные
особенности ТГ**

Схема соединения катушек обмотки ротора



Ротор (габариты)

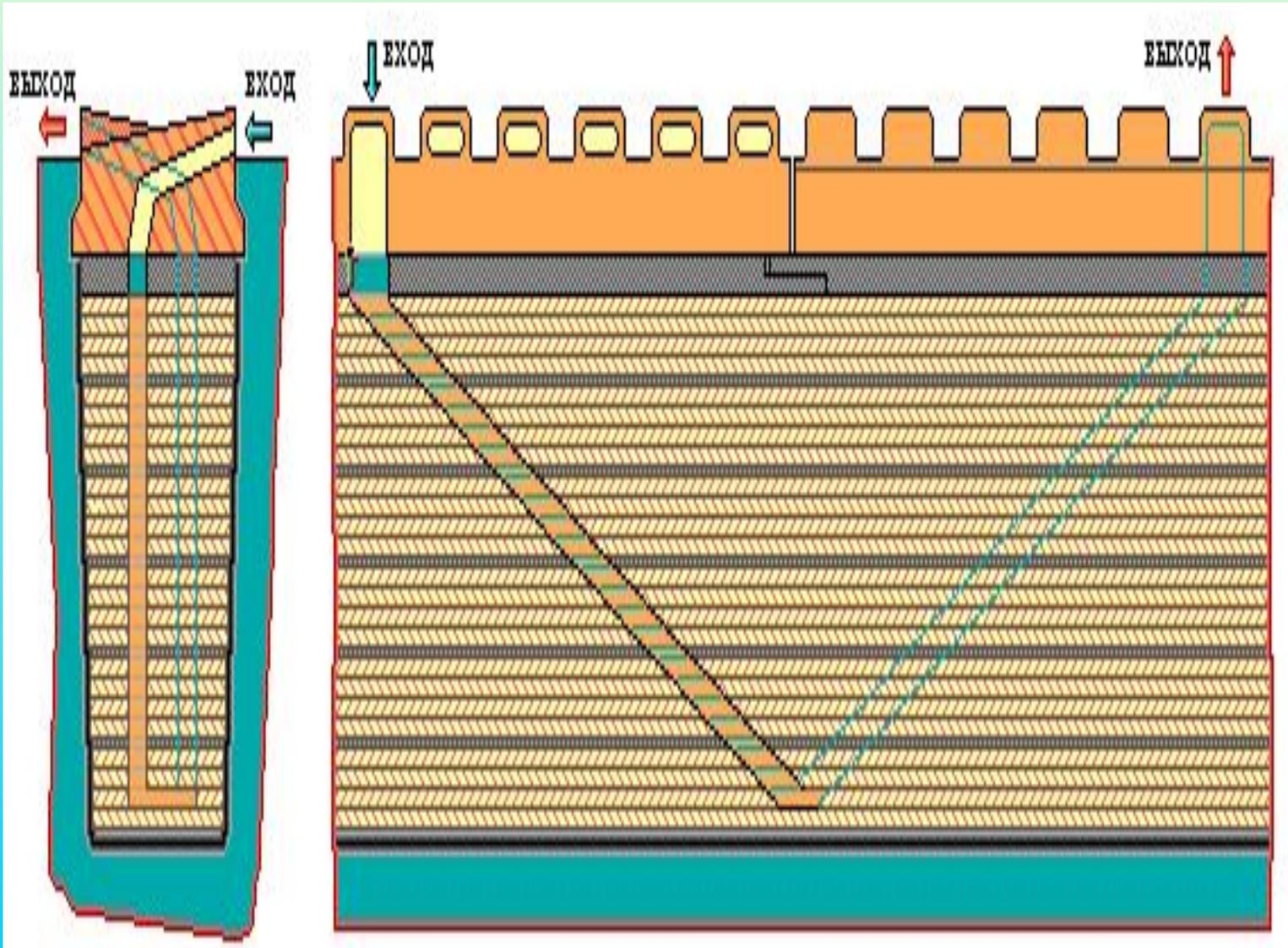


Б – шейка ротора под опорный подшипник;

В – шейка ротора под масляное уплотнение вала

1 – Вентилятор; 2 – Кольцо бандажное; 3- Бочка ротора

Принцип охлаждения обмотки ротора водородом



**Пазовые
клинья**

Полоса

**Пазовая
изоляция
катушек**

Клинья обмотки ротора ТГ

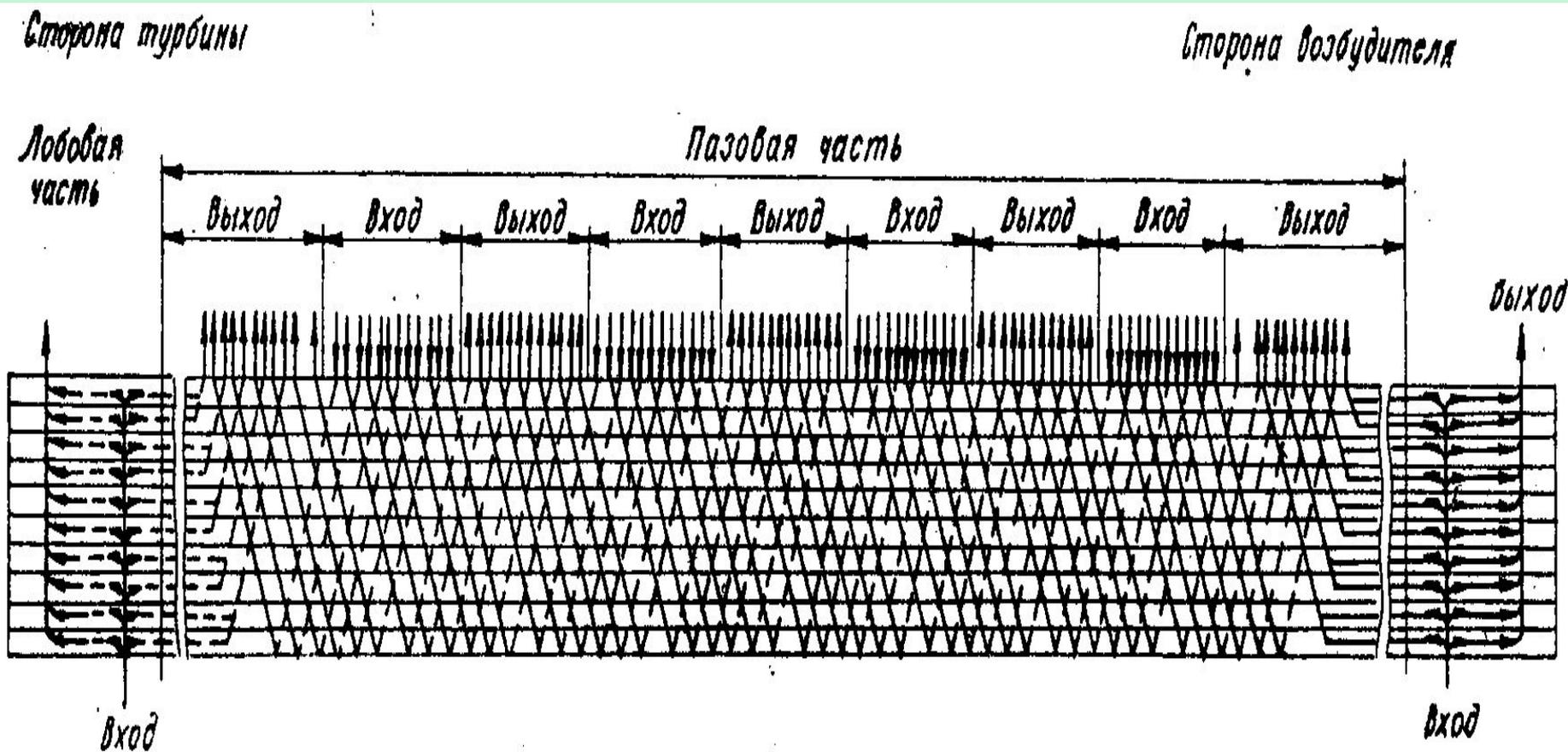


Охлаждение обмотки ротора водородом

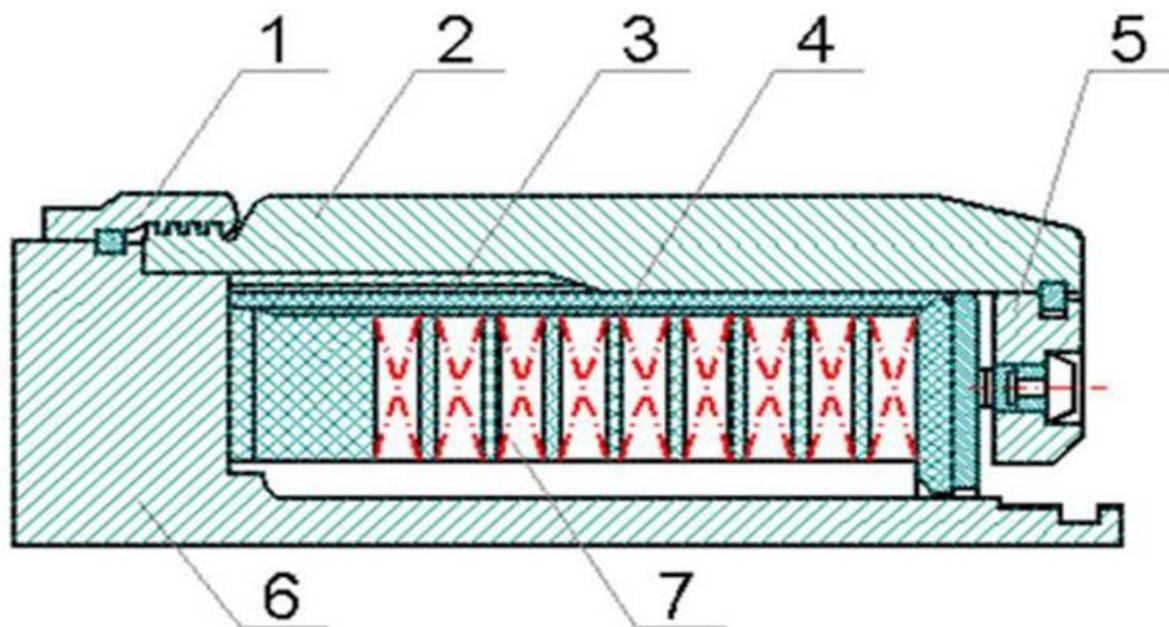
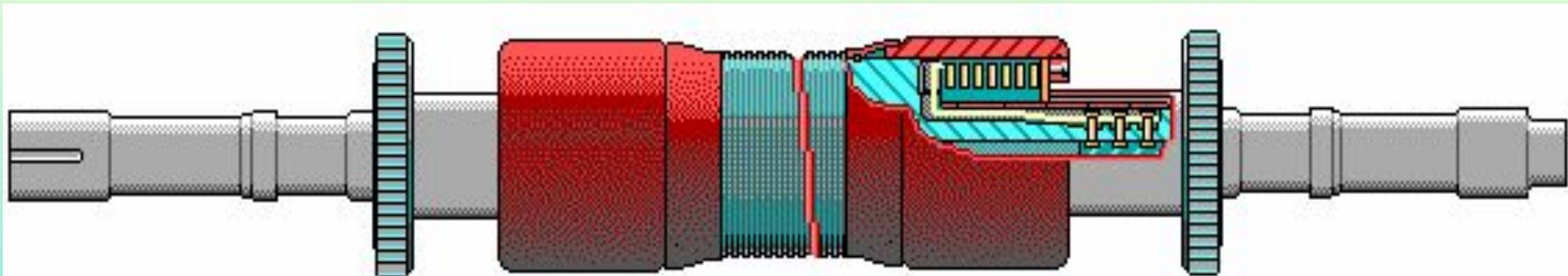


В пазу видна медная шина обмотки. Сверху (в руке) - стеклотекстолитовая подклиновная прокладка. Внизу пазовый клин с заборными отверстиями.

Схема вентиляции обмотки ротора

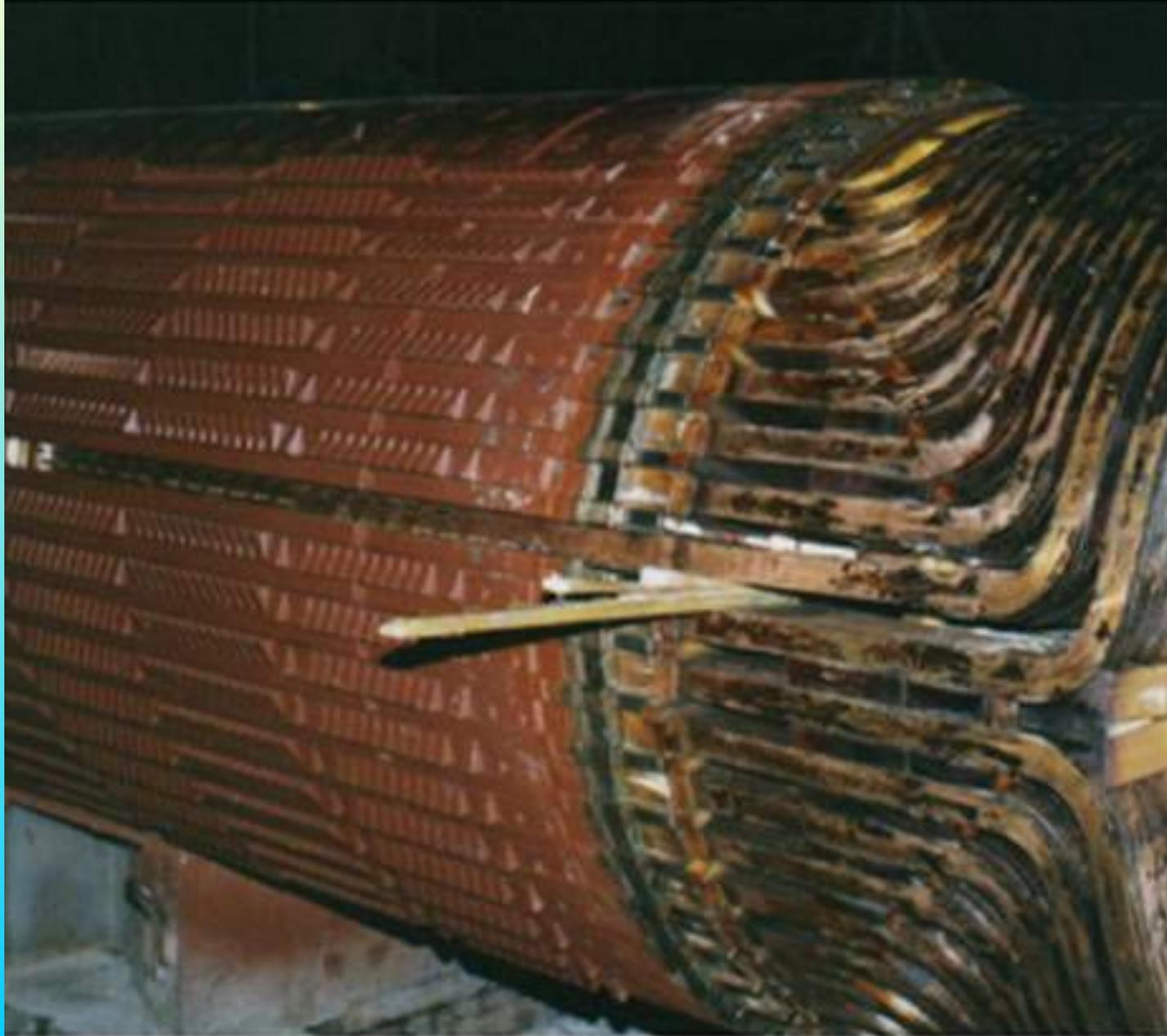


Лобовая часть обмотки ротора

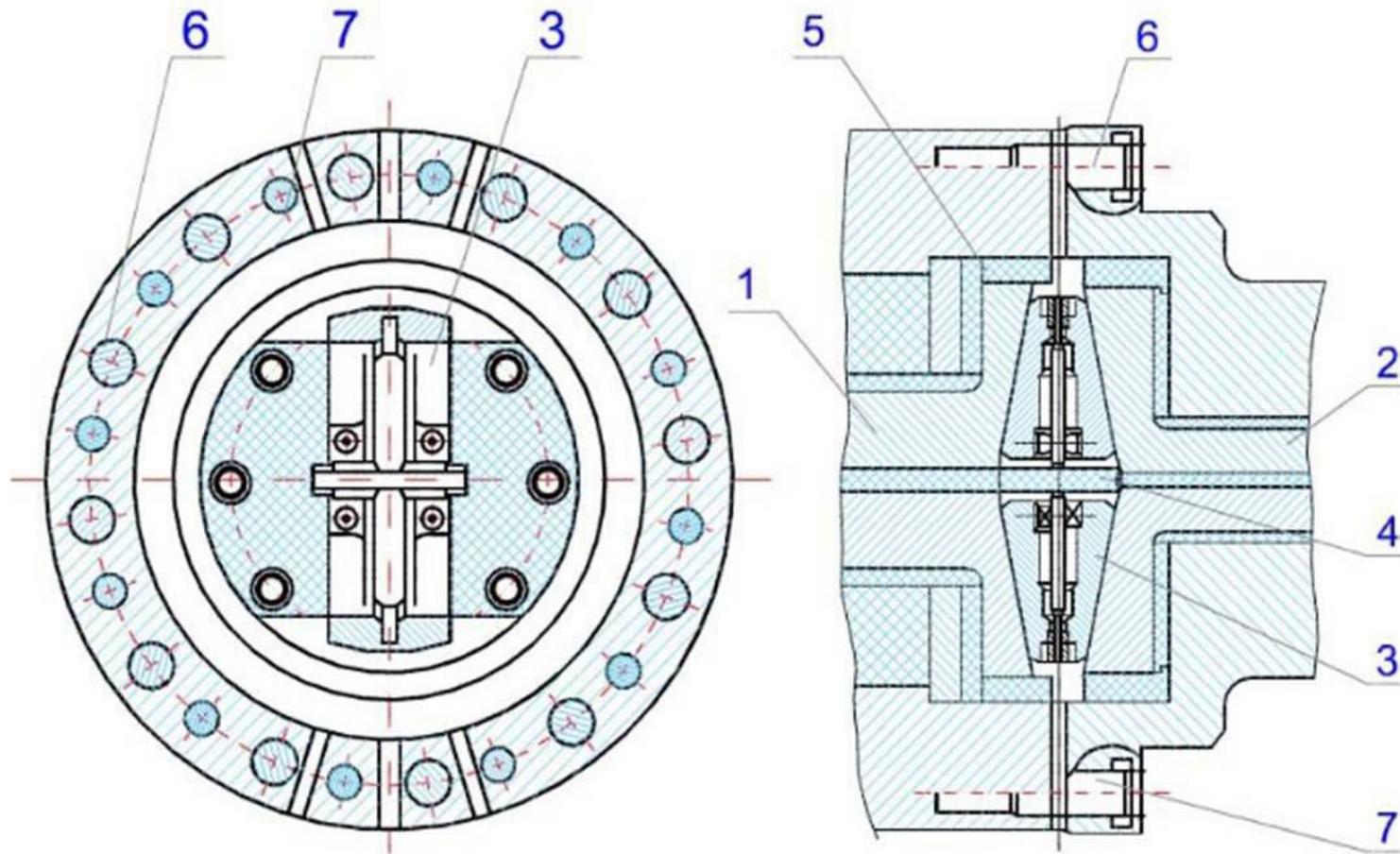


- 1- гайка бандажная ;
- 2- кольцо бандажное;
- 3-медные кольца
- 4- подбандажная изоляция;
- 5- кольцо центрирующее;
- 6- корпус ротора;
- 7- обмотка ротора.

Обмотка ротора генератора

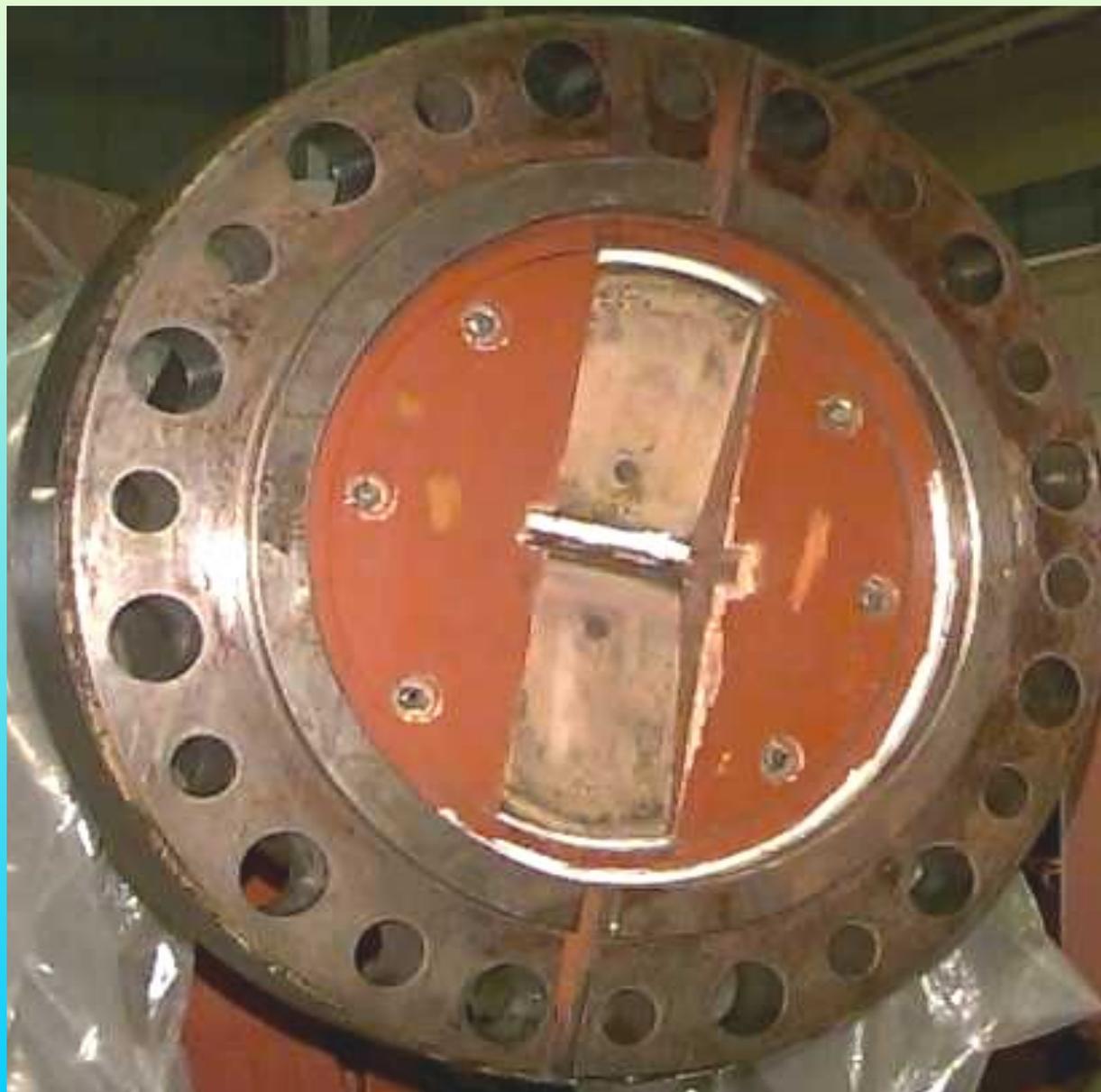


Соединение токоподводов генератора и возбuditеля



1 - токоведущий стержень в роторе генератора; 2 - токоведущий стержень в роторе возбuditеля; 3- контактный клин; 4 - изоляционная перегородка между клиньями; 5 - изоляция между токоведущим стержнем и валом ротора; 6 - направляющий штифт, обеспечивающий точность соединения муфты; 7 - болт крепления муфты

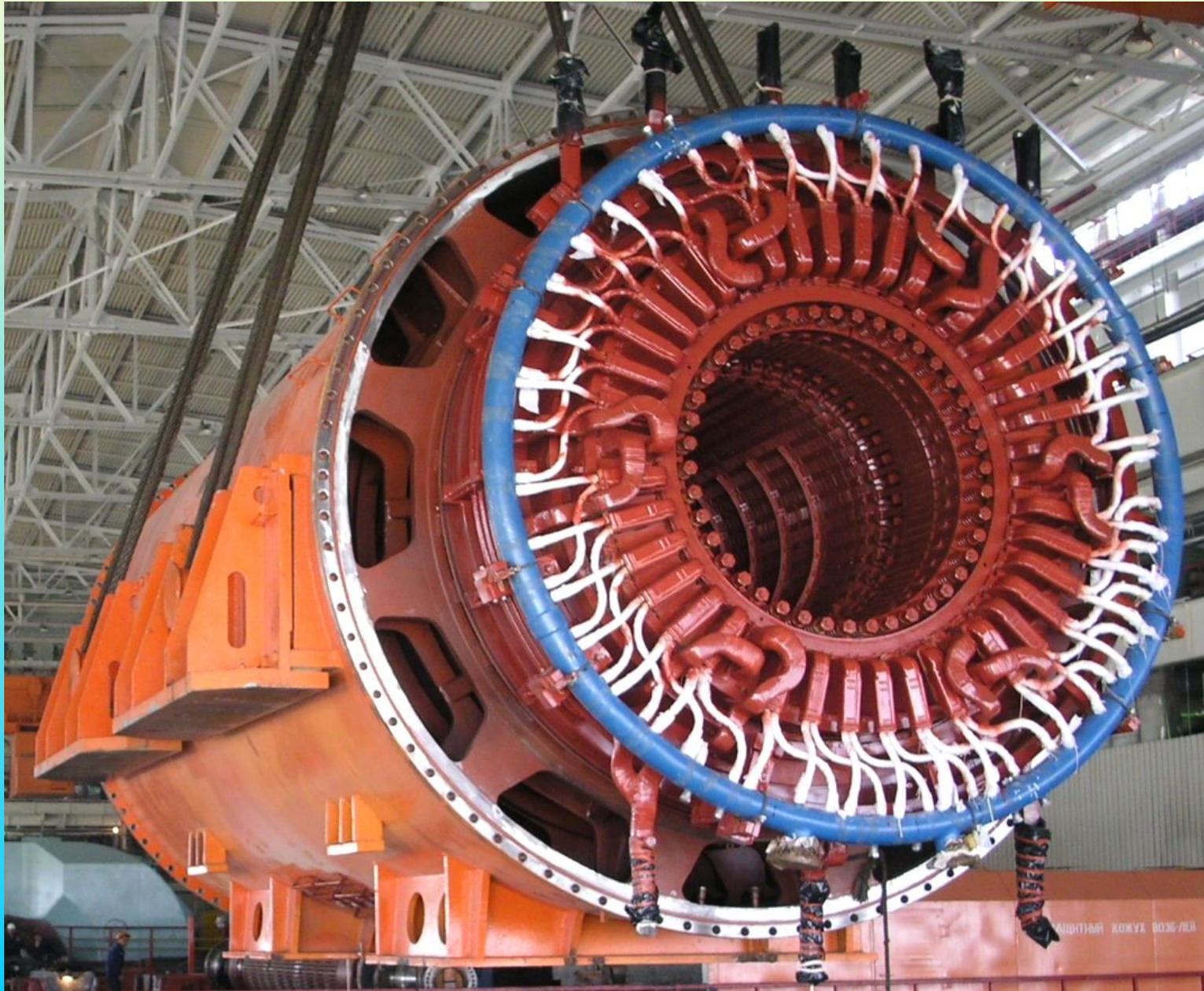
Узел соединения токоподводов



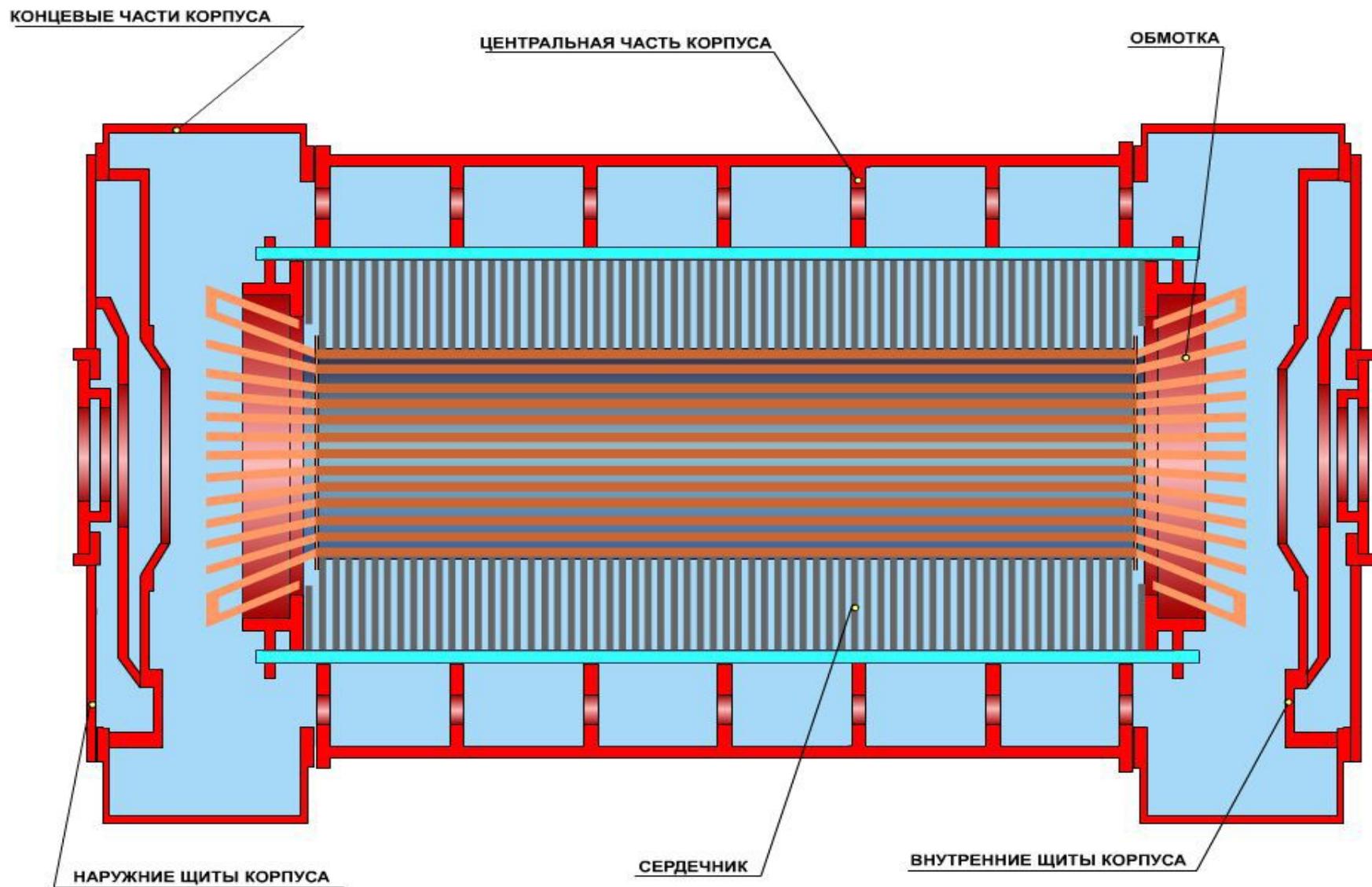
Узел соединения токоподводов (клин)



ТГ ТВВ-1000-4У3 (статор)



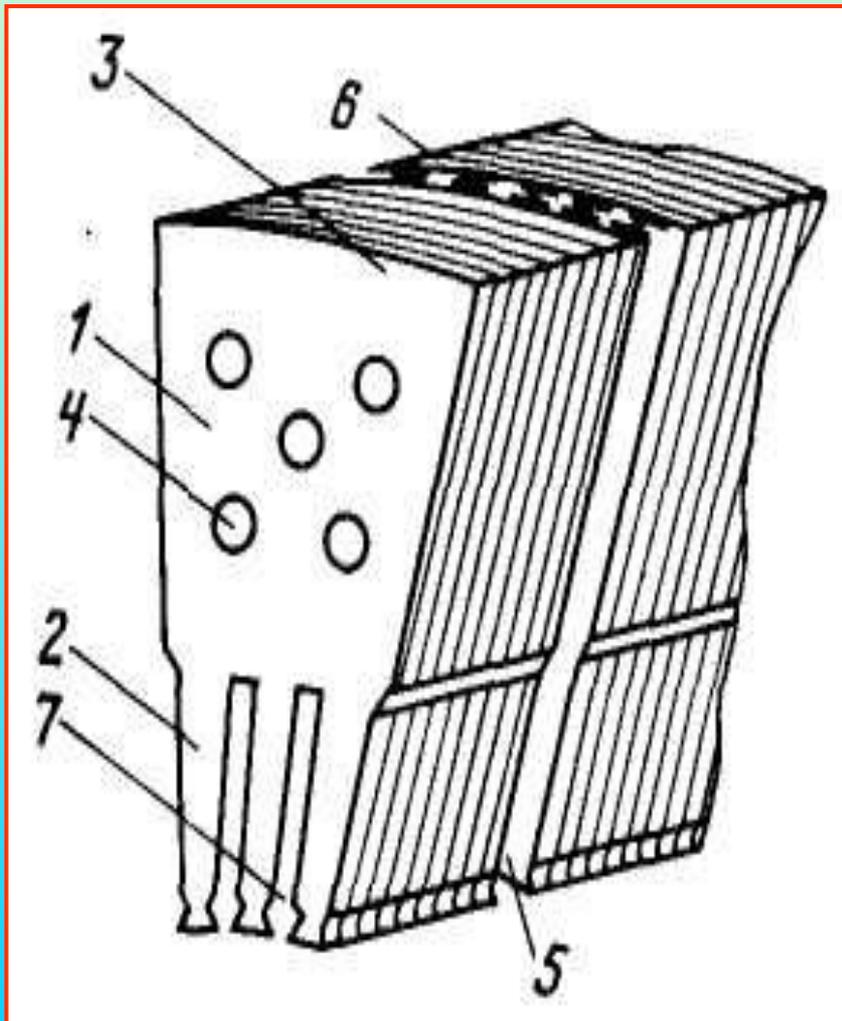
Вид сверху (в сечении) статора ТГ



Вид со стороны возбуждителя



Сегментный пакет статора ТГ

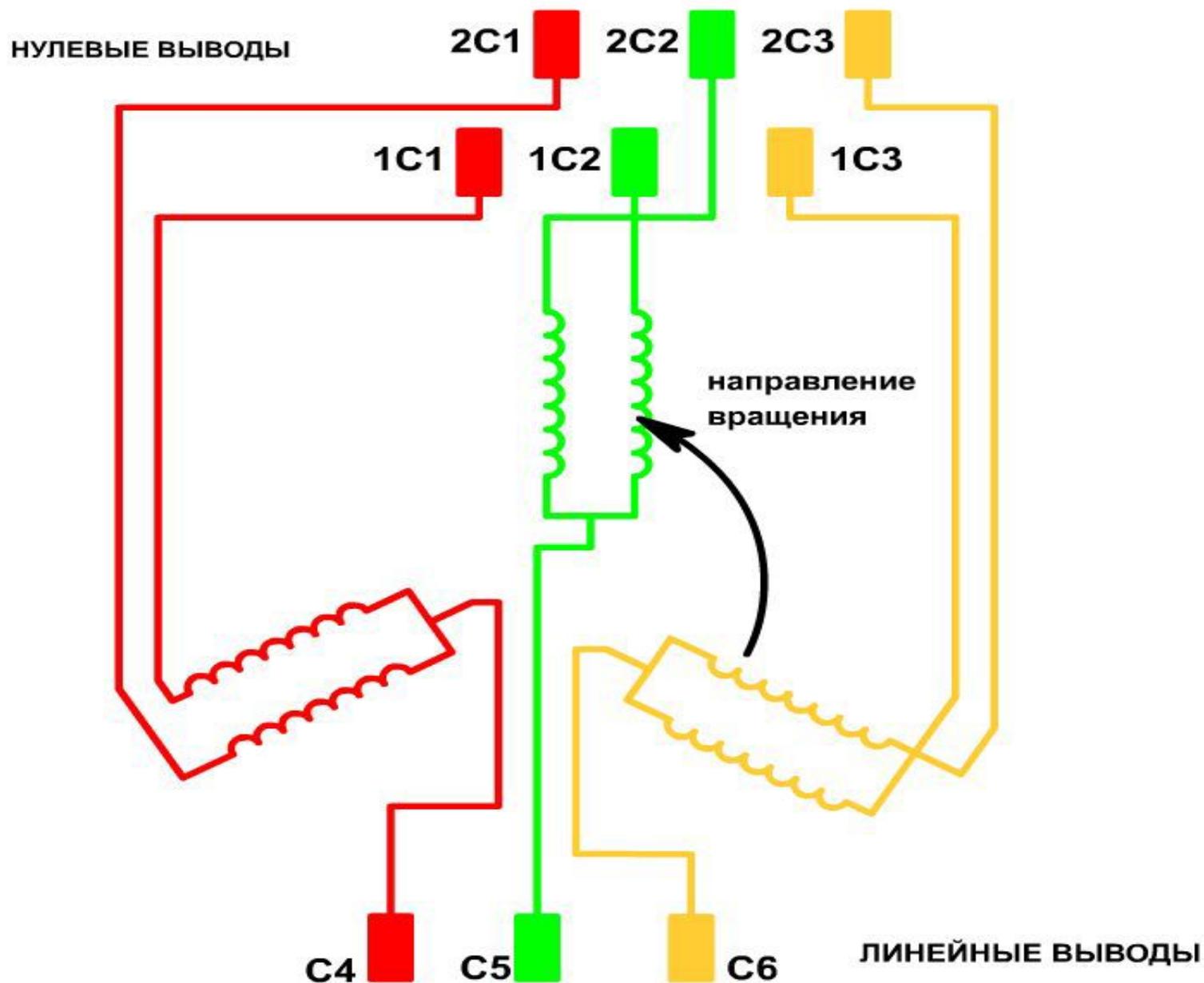


- 1-сегмент
- 2-зубец сегмента
- 3-спинка сегмента
- 4-аксиальный
вентиляционный
канал
- 5- радиальный
вентиляционный
канал
- 6-распорка
- 7- паз статора

Термодатчик



Схема соединения обмоток статора



Электрическая схема обмотки статора генератора

НУЛЕВЫЕ ВЫВОДЫ

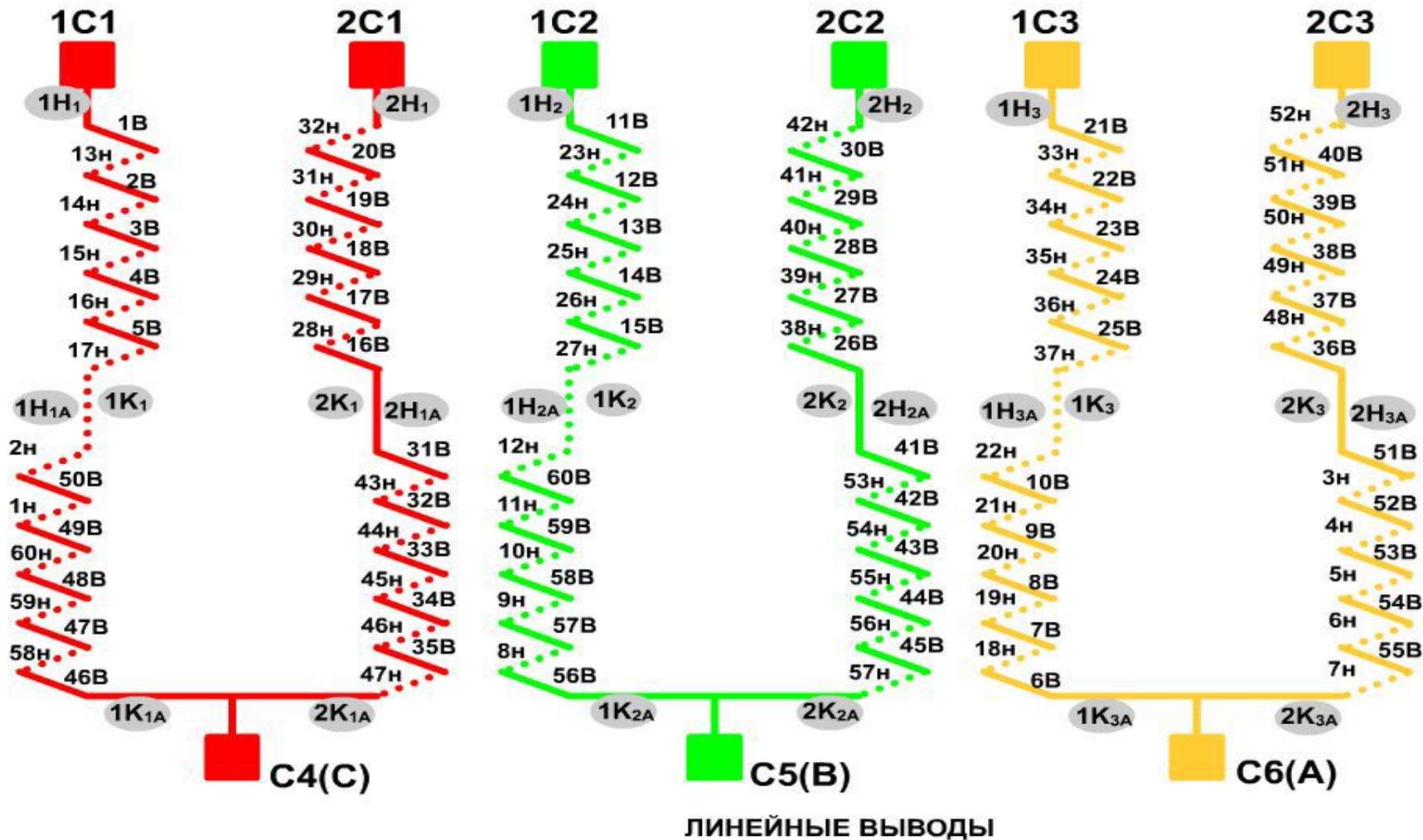
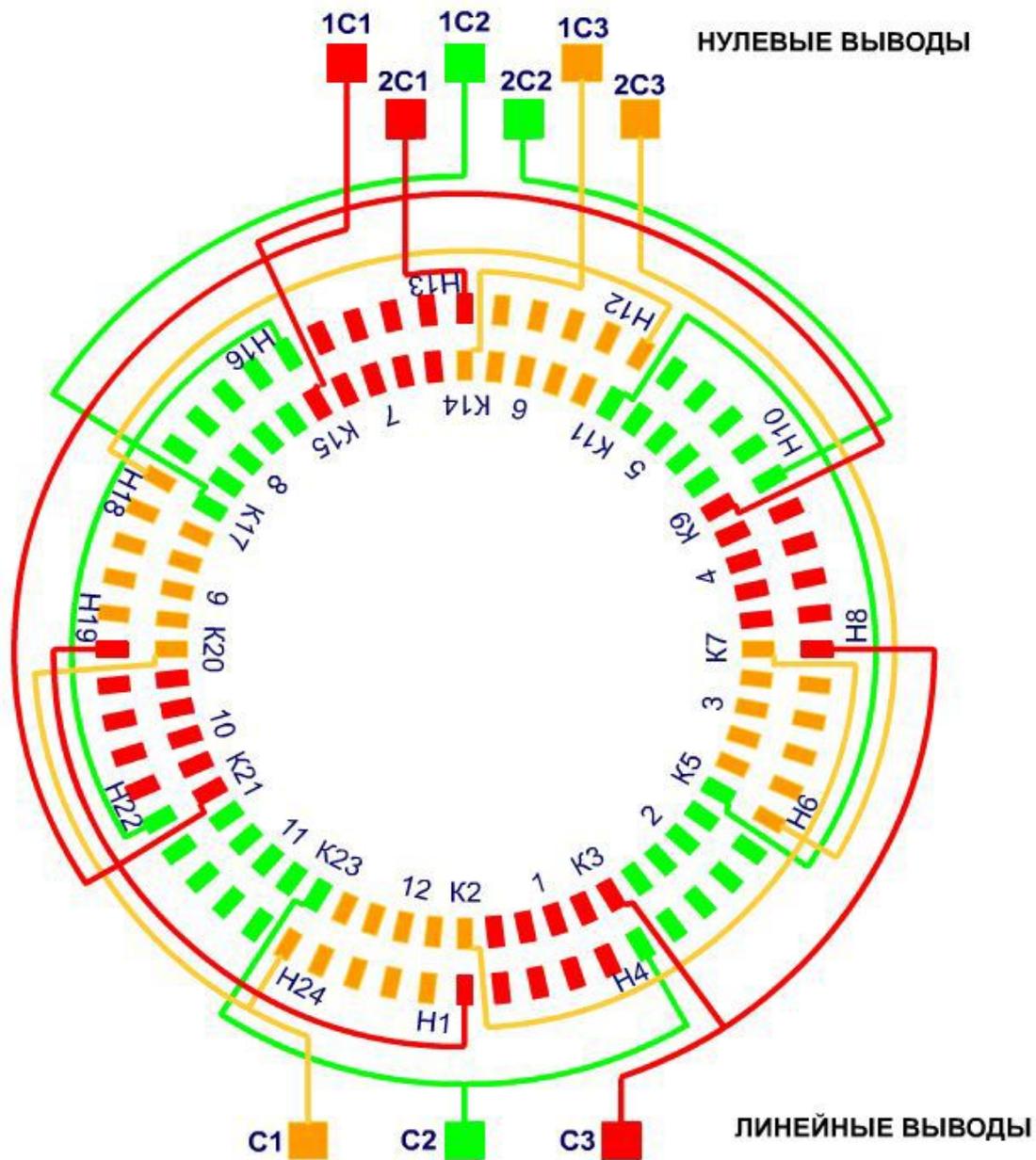


Рис. 2.1.11 Линейная схема обмоток статора : размещение верхних и нижних стержней обмоток по пазам.

Схема расположения стержней

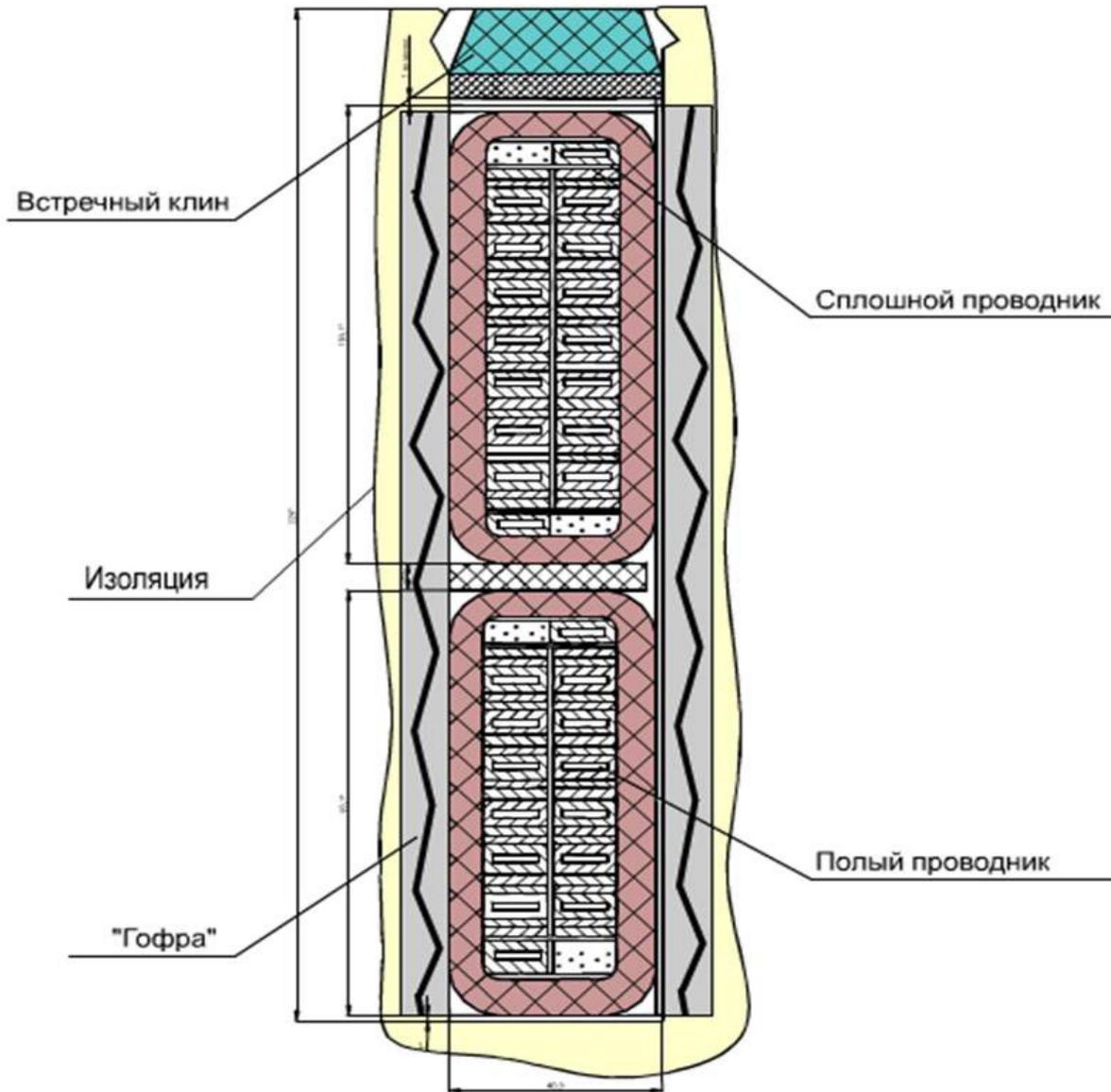


Круговая схема обмоток статора : размещение верхних и нижних стержней обмоток по пазам.

Ремонт статора генератора (перемычки схемы)



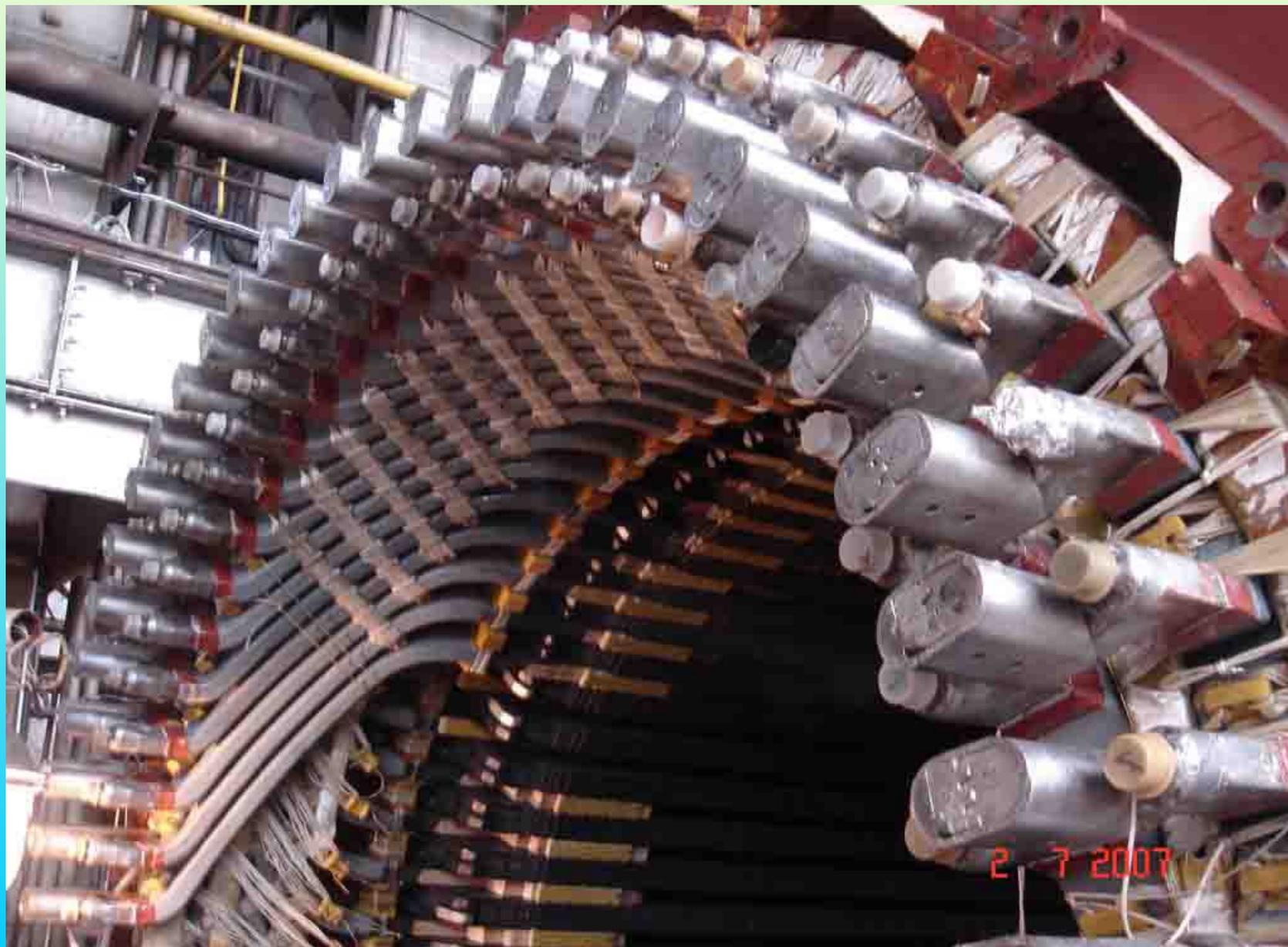
Паз обмотки статора



Стержни обмотки статора генератора



Ремонт статора генератора (сторона турбины)



Ремонт статора генератора (сторона возбуждителя)

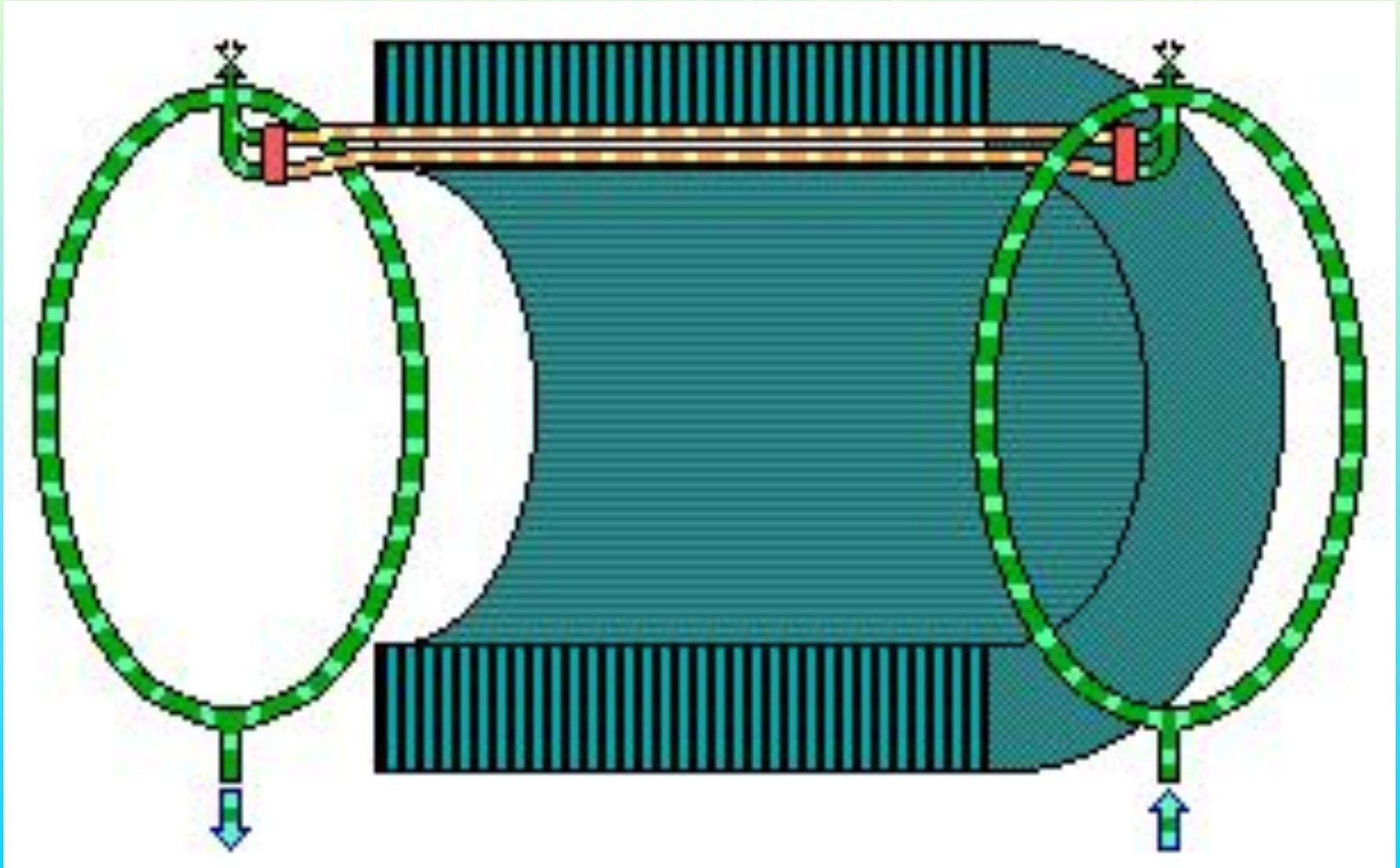








Водяное охлаждение обмотки статора (SS)



Система водяного охлаждения SS

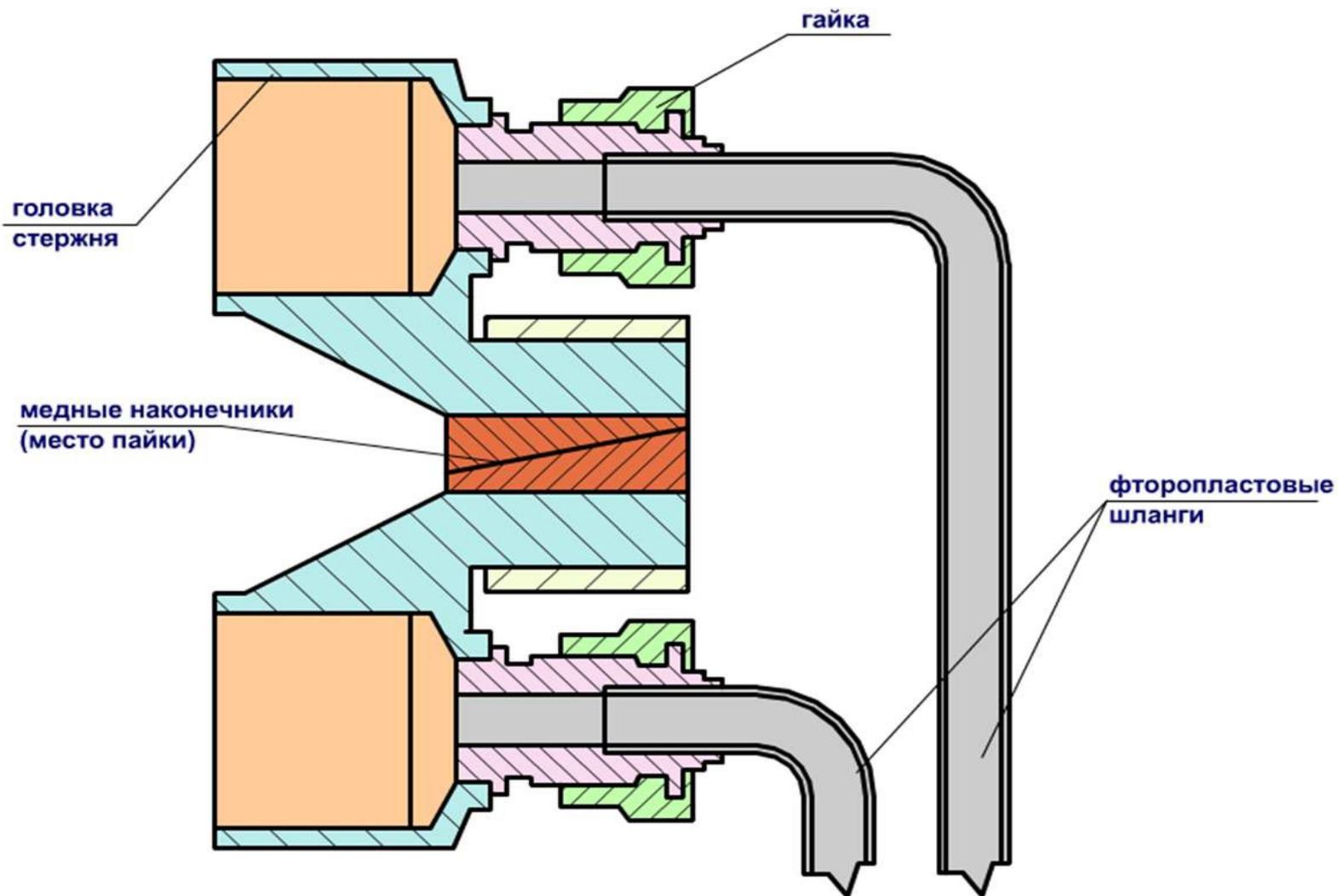
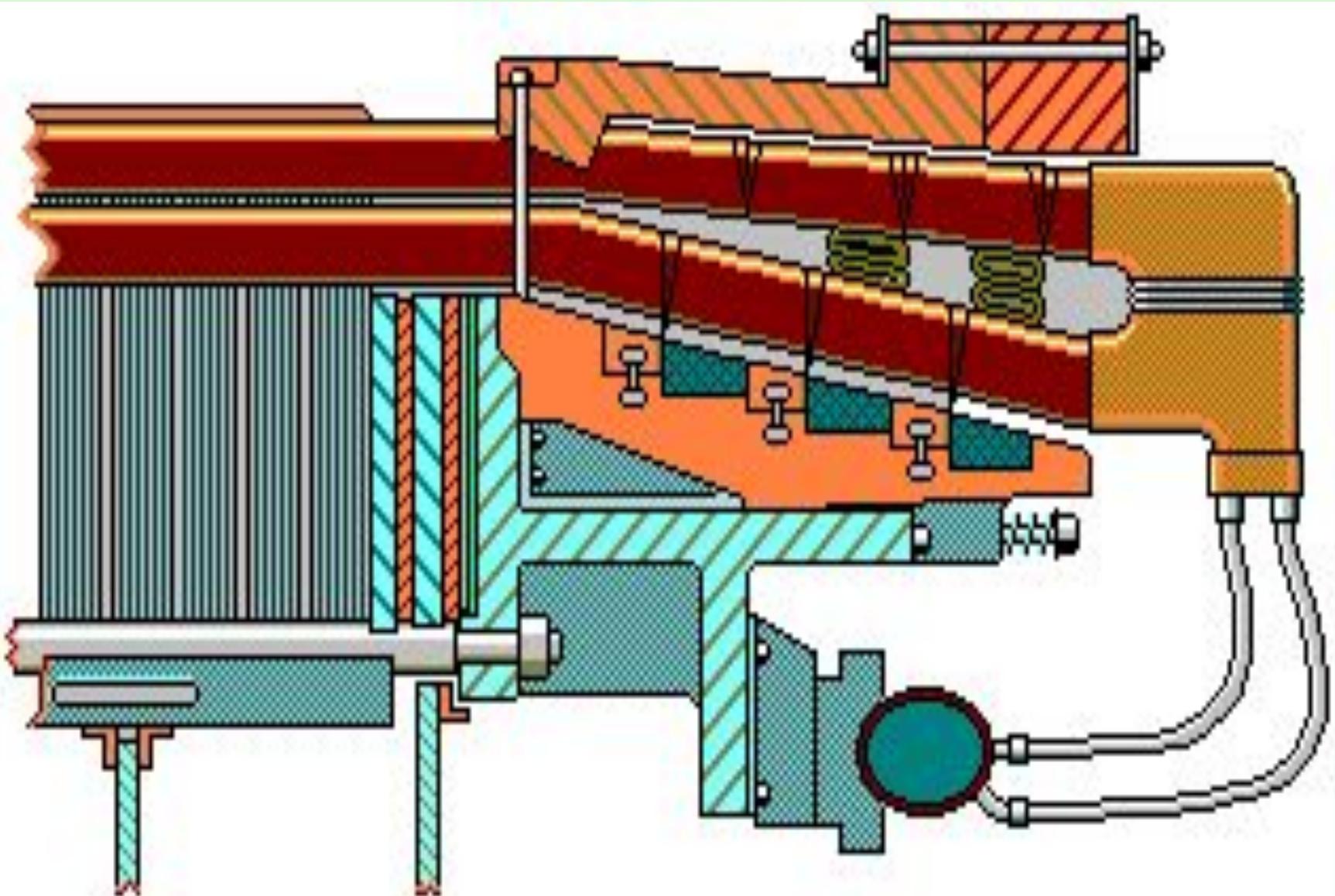


Рис. 2.1.21а Узел подведения дистиллята к стержням обмотки статора, место пайки схемы

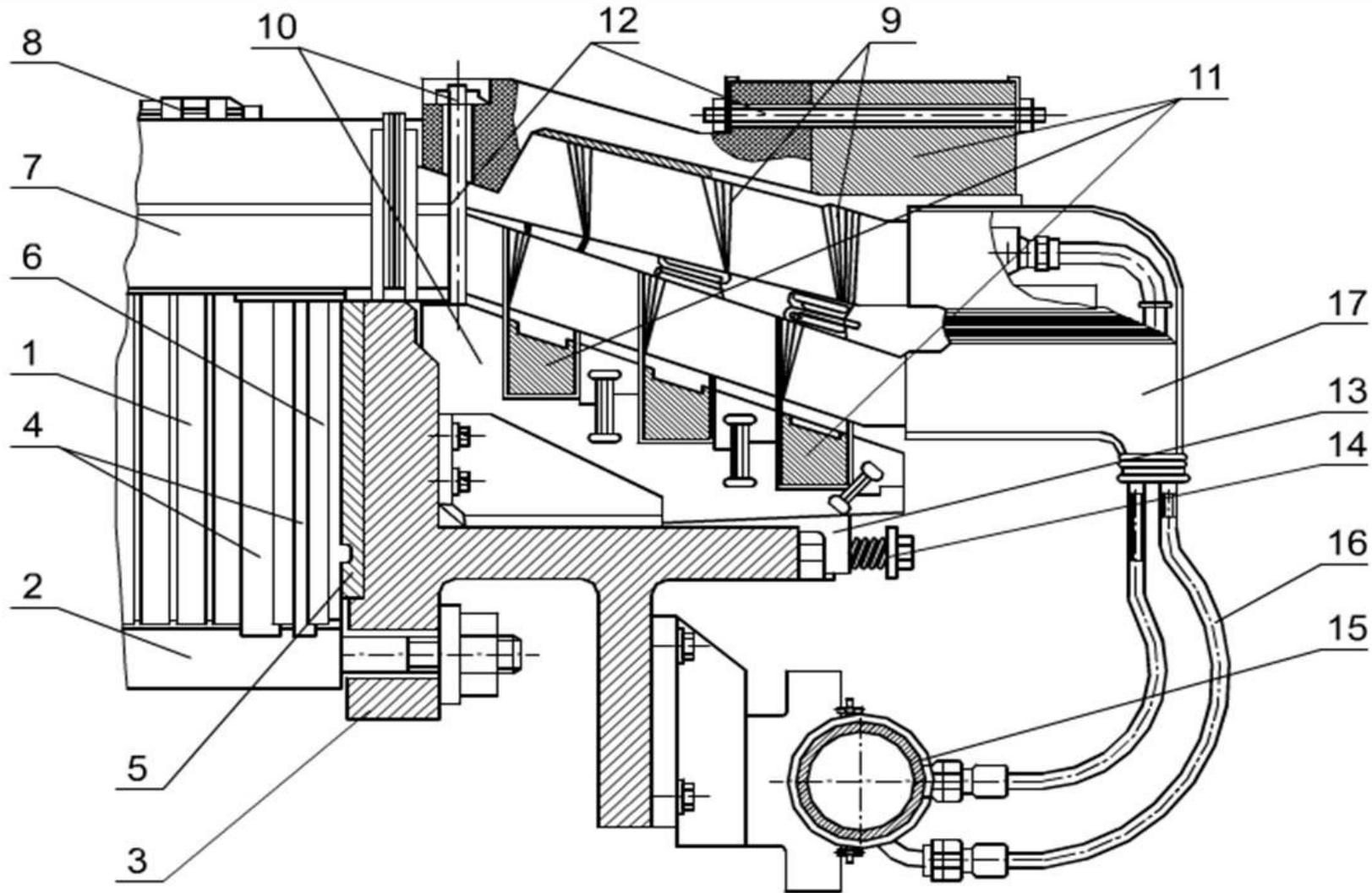
Фторопластовые шланги системы SS



ТОРЦЕВАЯ ЗОНА СЕРДЕЧНИКА

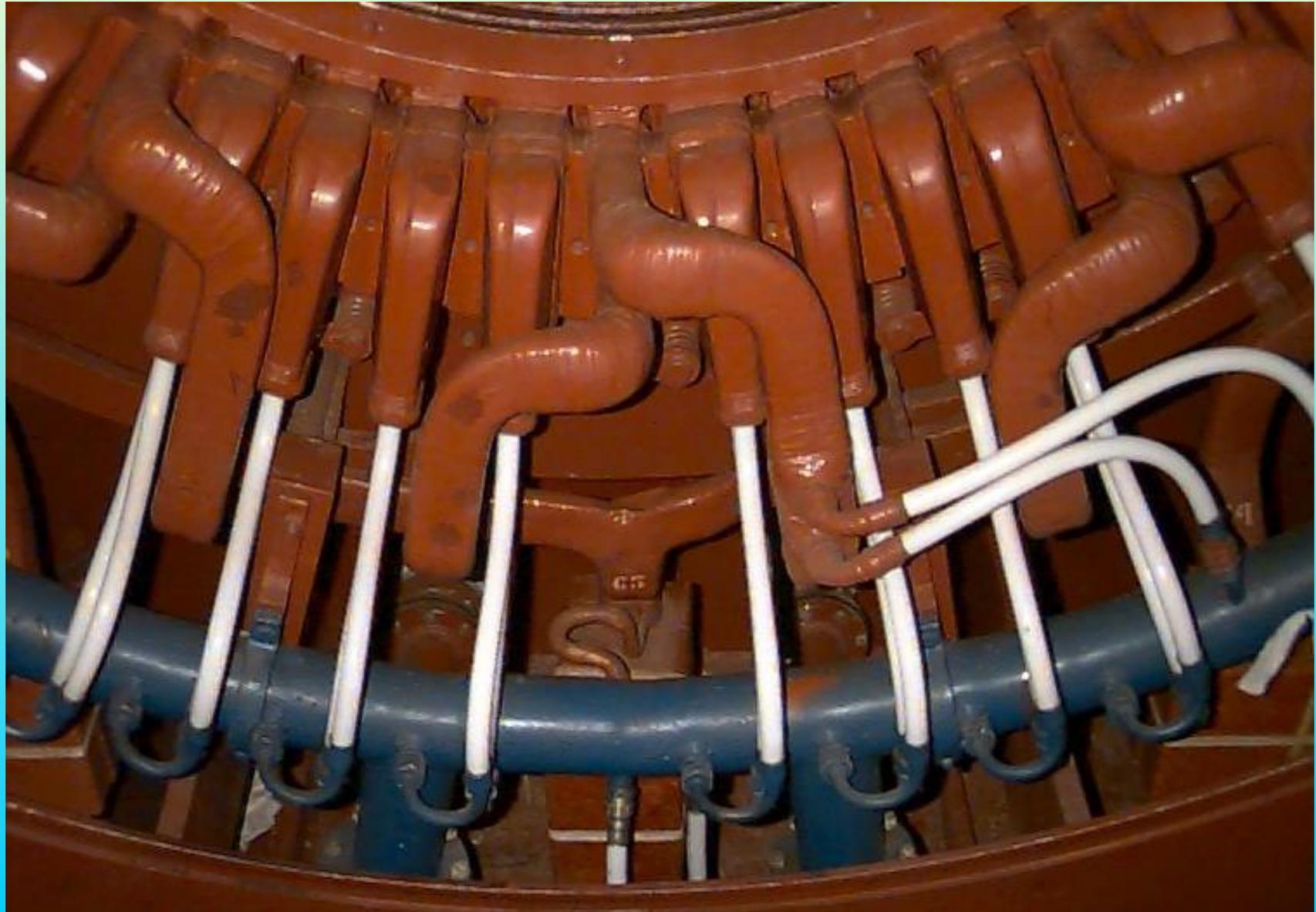


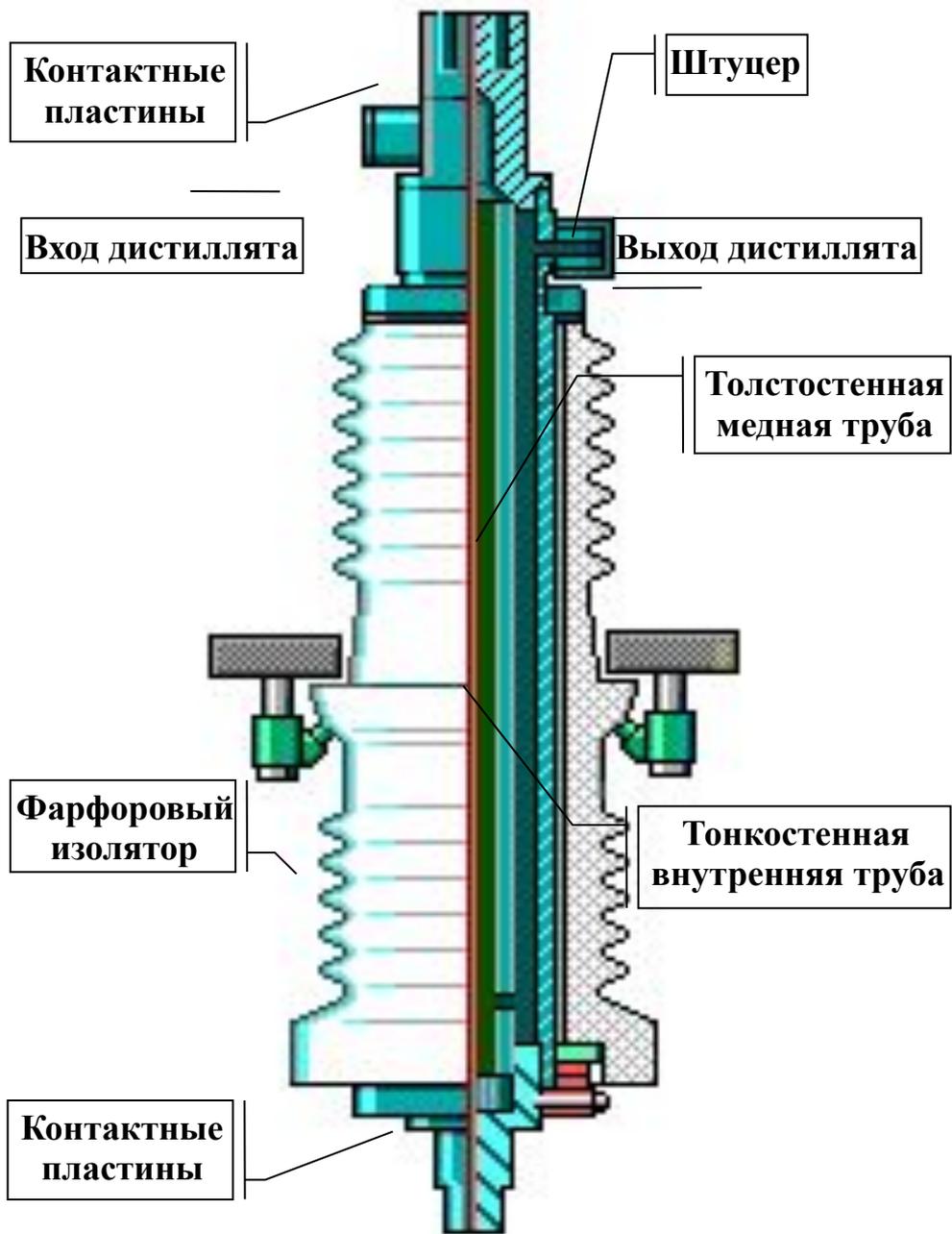
Торцевая зона сердечника и крепления лобовых частей обмотки статора



1 - сердечник статора; 2 - ребра; 3 - кольцо нажимное; 4 - пальцы нажимные; 5 - экран медный; 6 - шунт магнитный; 7 - стержни обмотки; 8 - клин пазовый; 9 - шнур бандажный; 10 - кронштейны; 11 - бандажные кольца; 12 - шпильки стяжные; 13 - клан распорный; 14 - пружина; 15 - коллектор водяной; 16 - шланг водоподводящий; 17 - коробка изолирующая

Фрагмент статора и системы охлаждения ТГ



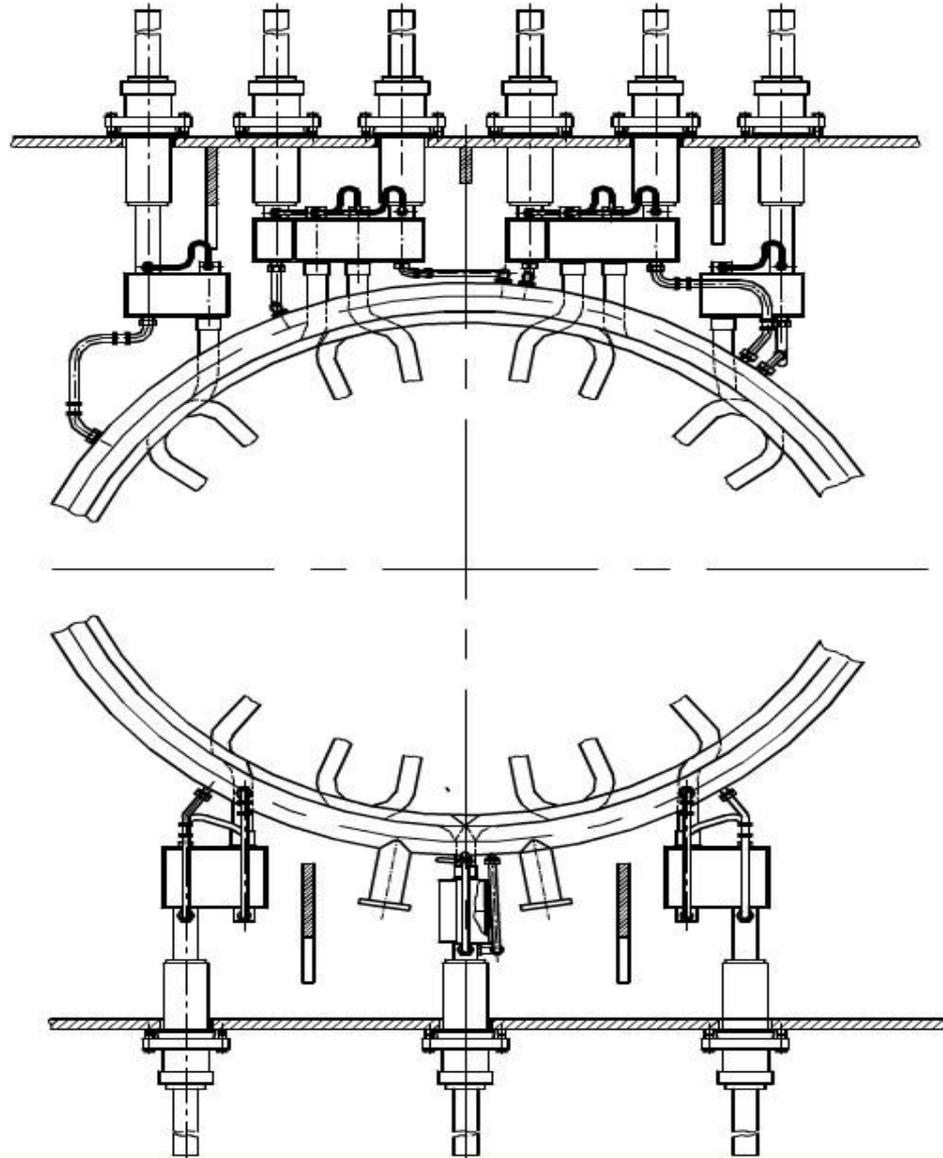


Конструкция линейного вывода ТГ

Токоведущие элементы выводов



Устройство выводов статора



Установка концевых выводов статора.

Нулевые выводы статора ТГ

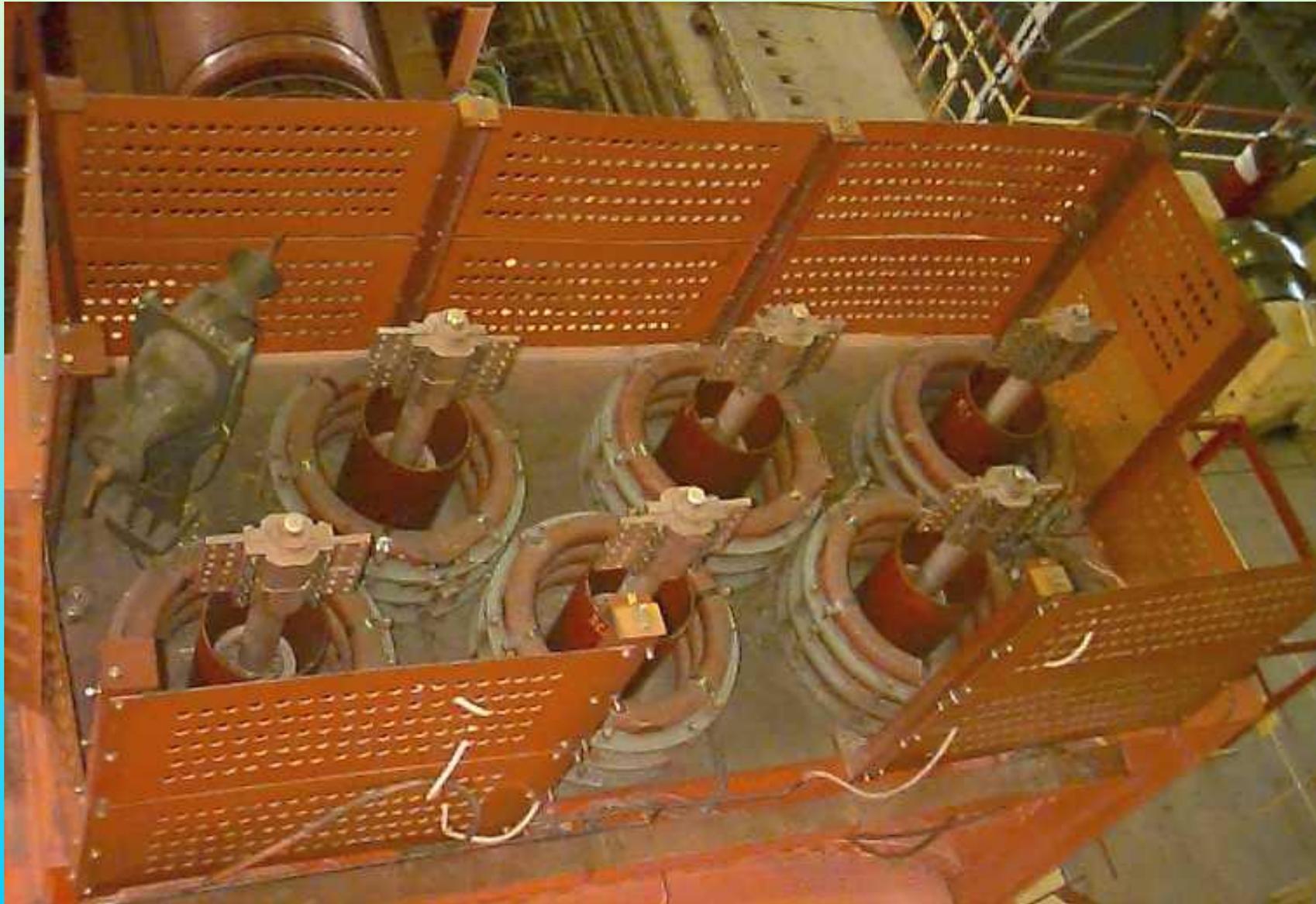


Схема подключения измерительных трансформаторов

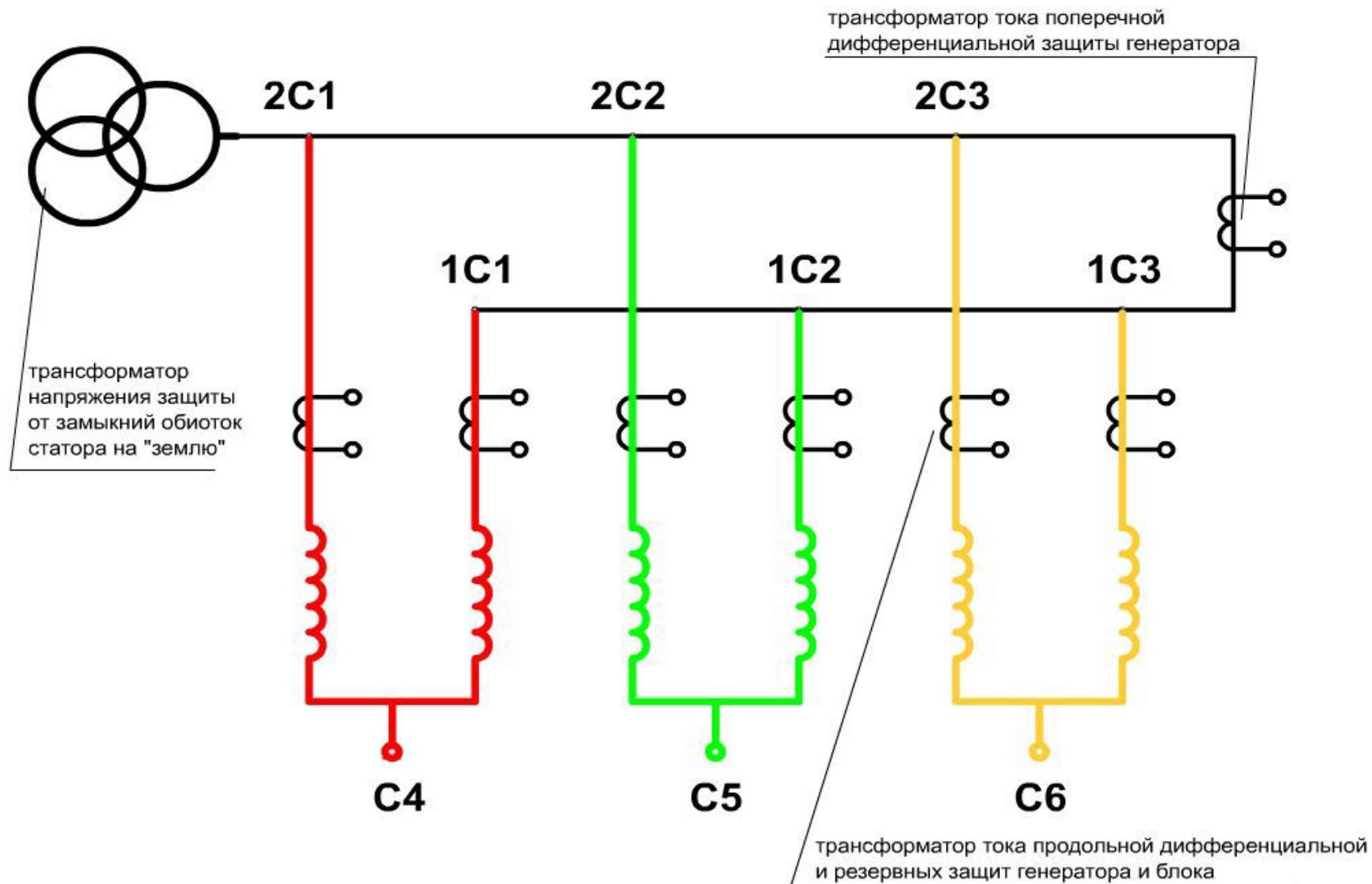
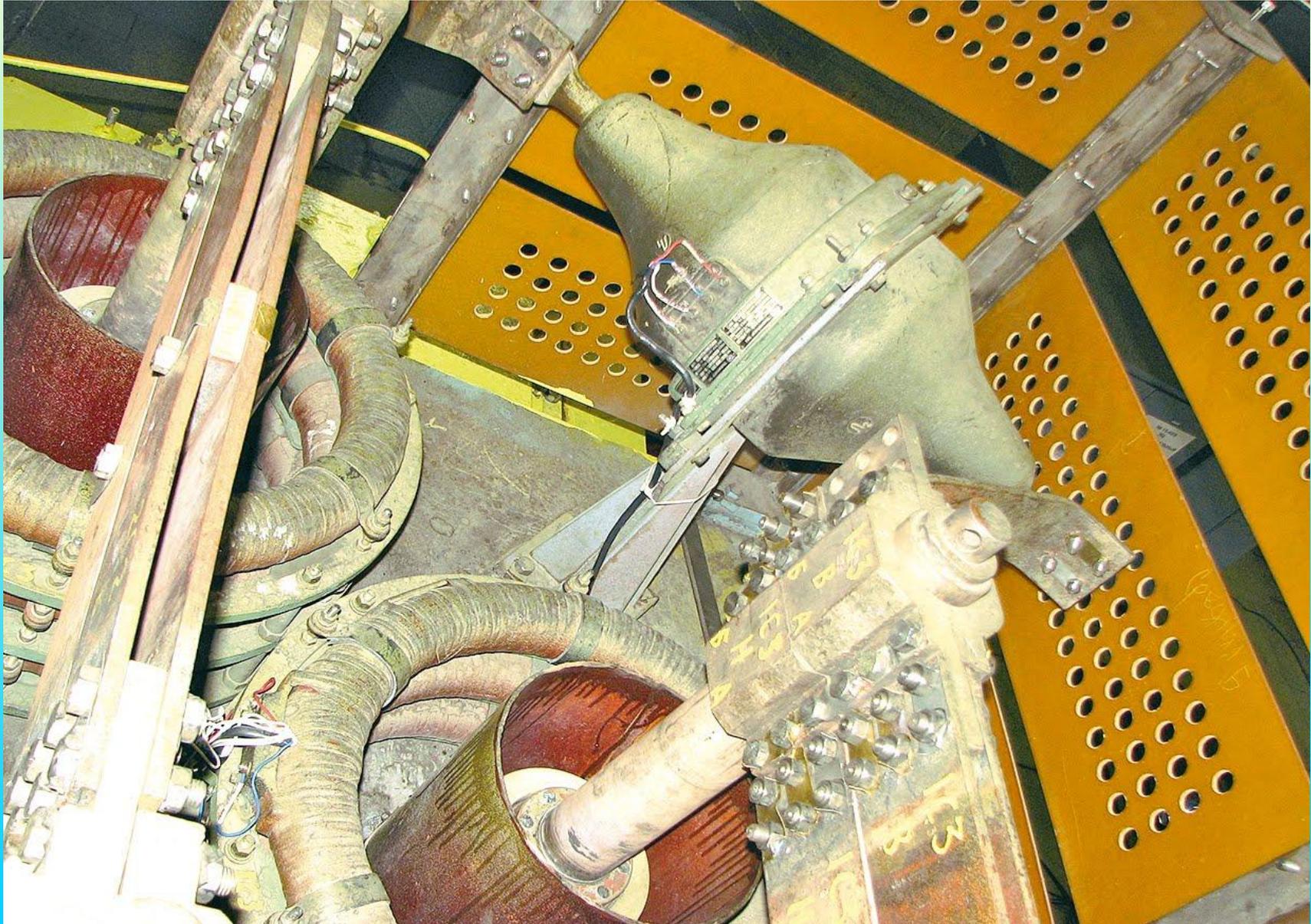


Рис. 2.1.13 Схема обмотки и выводов статора.

Трансформатор тока поперечной ДЗ



Расшинованные нулевые выводы обмотки статора и тр. тока прод. ДЗ



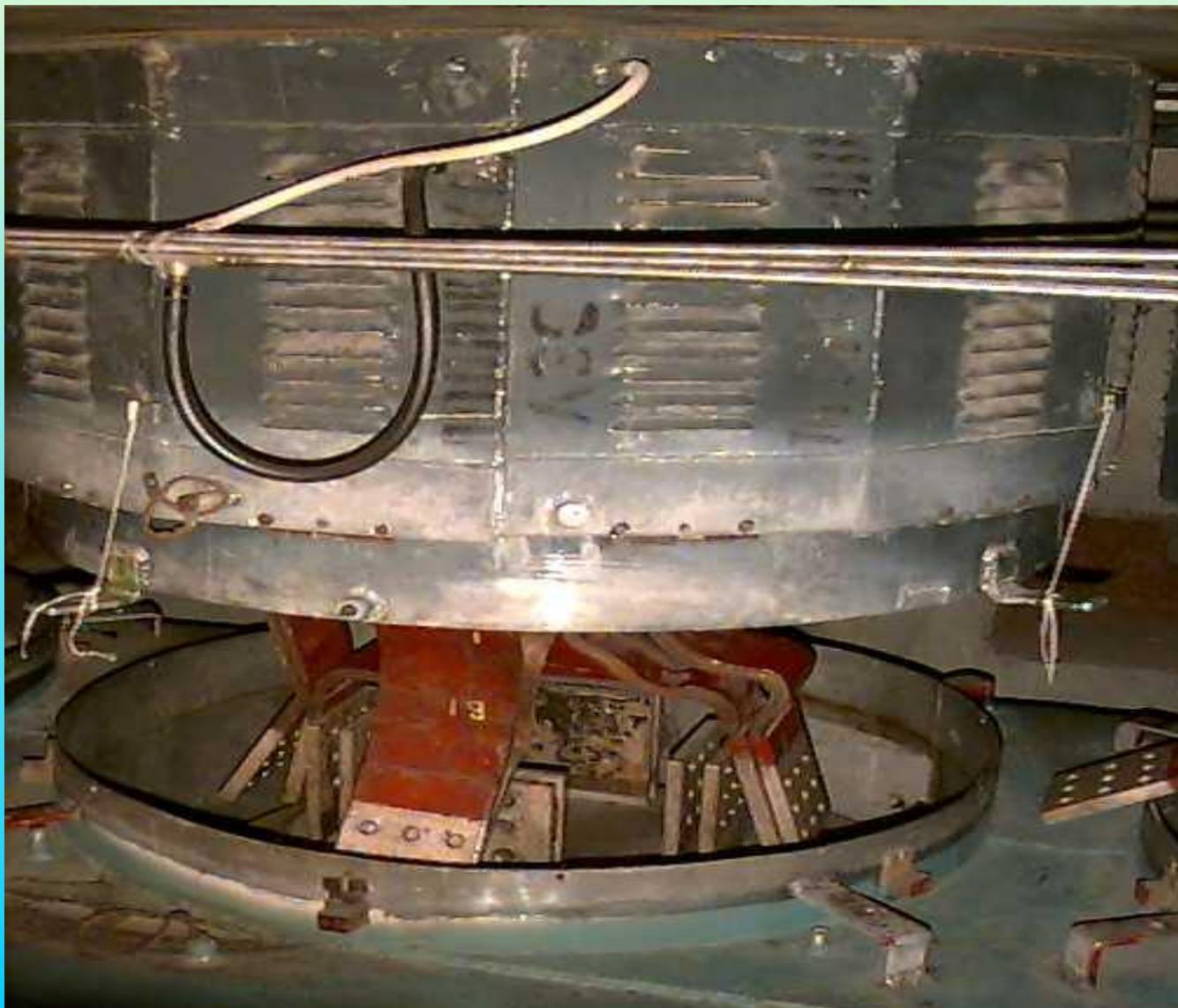
Трансформатор напряжения TV-7 33Г



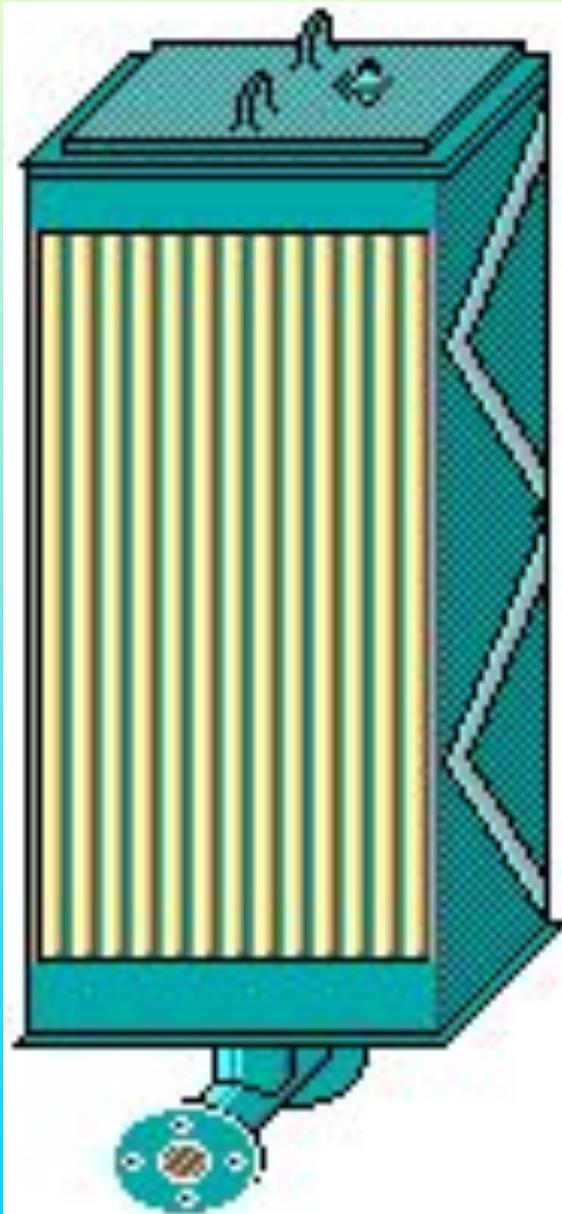
Линейные выводы статора ТГ



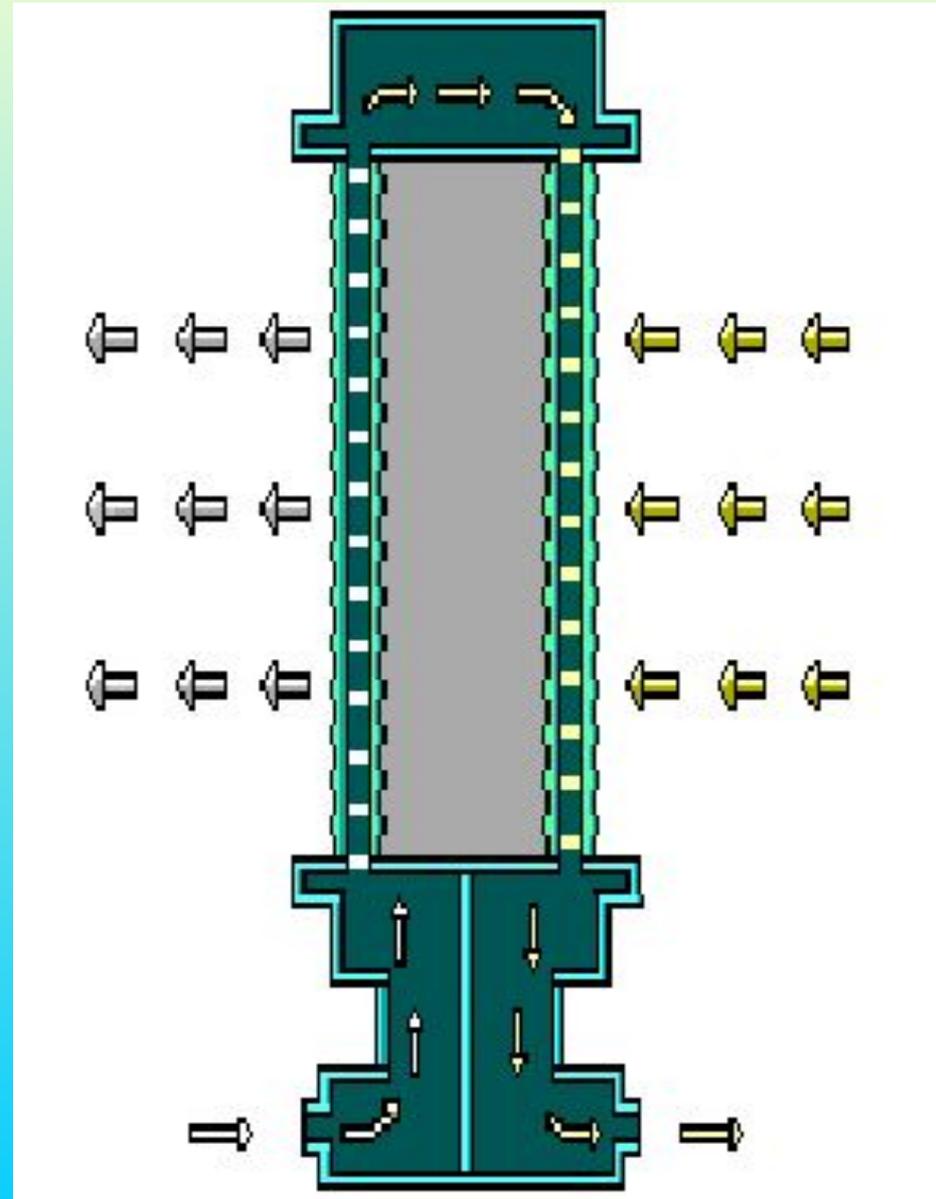
Линейный вывод статора ТГ («телескоп» поднят)



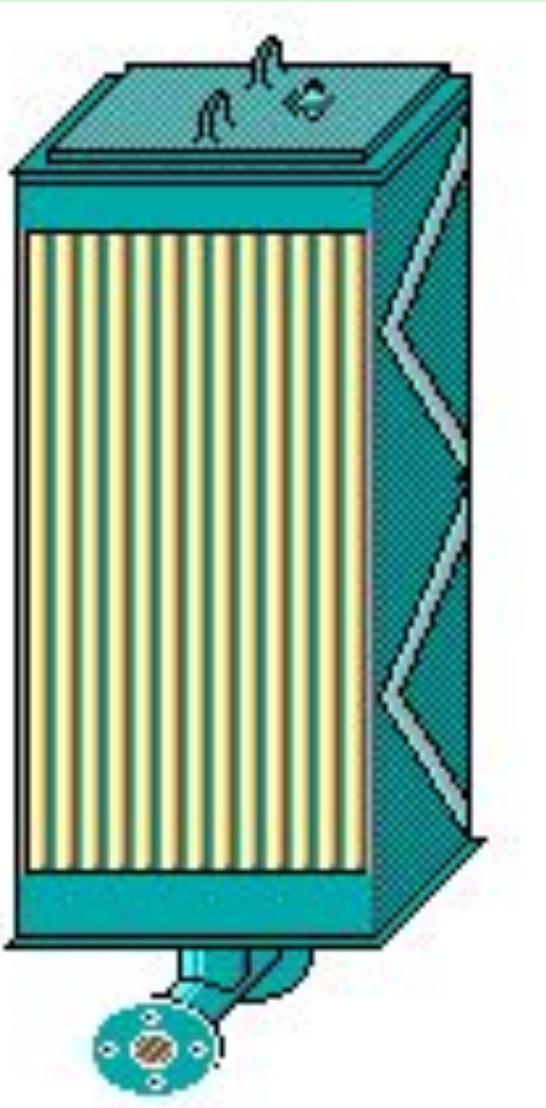
Газоохладитель



Латунные
трубки
Рама
Трубная
доска
Водяная
камера



Газоохладитель – элемент системы охлаждения (СТ) ТГ ТВВ-1000-4УЗ



- Газоохладитель состоит из двух стальных трубных досок и завальцованных в них круглых луженых латунных трубок с оребрением.
- С торцов трубных досок установлены стальные водяные камеры со съемными крышками. Нижняя крышка имеет два фланца для подачи и отвода охлаждающей воды и перегородку для распределения потоков воды.

Однопоточное масляное уплотнение вала ТГ ТВВ-1000-4УЗ

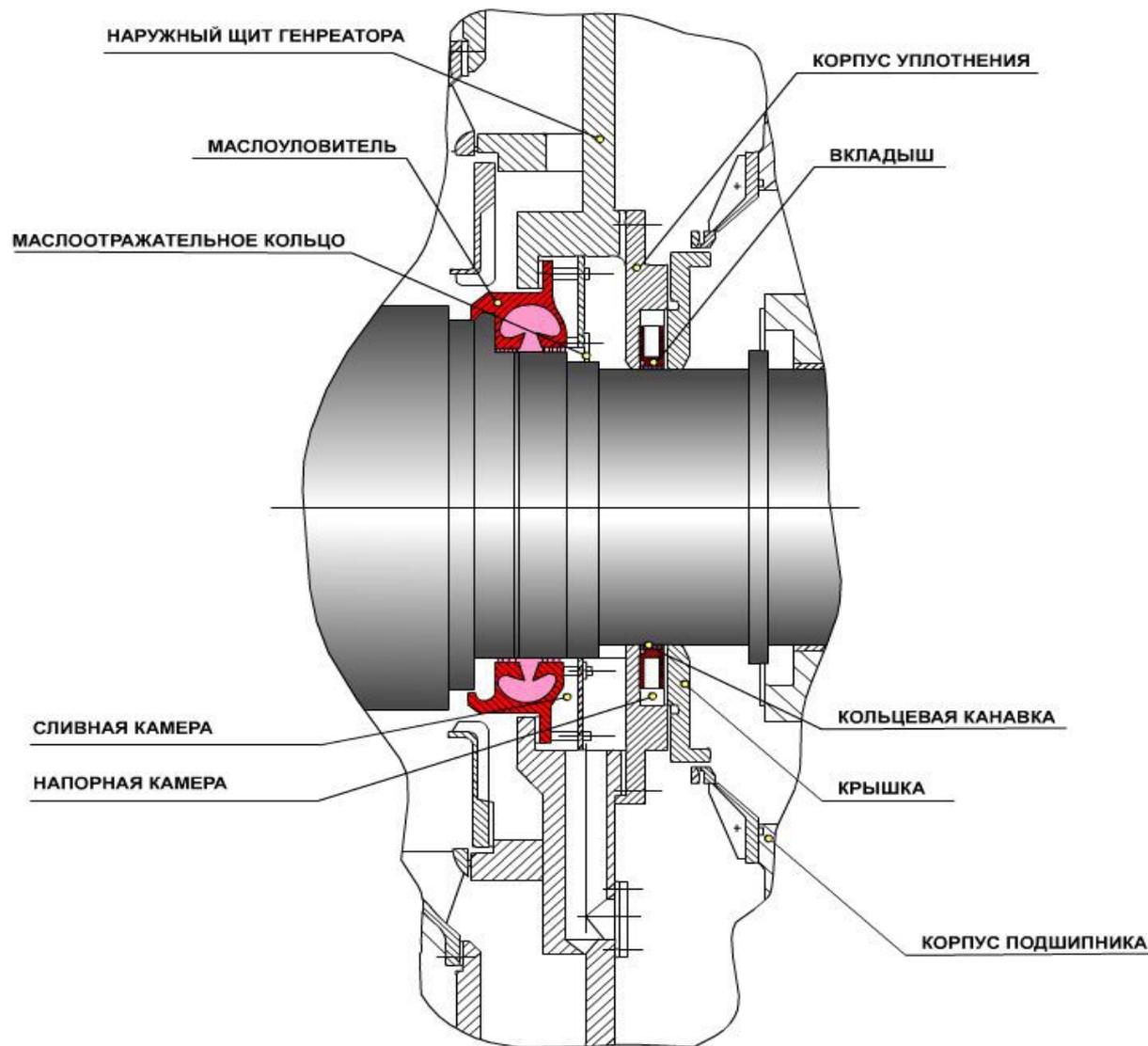


Рис. 2.1.14 Однопоточное уплотнение вала генератора

ика

е

ель

Уплотняющие кольца подшипников УВГ генератора

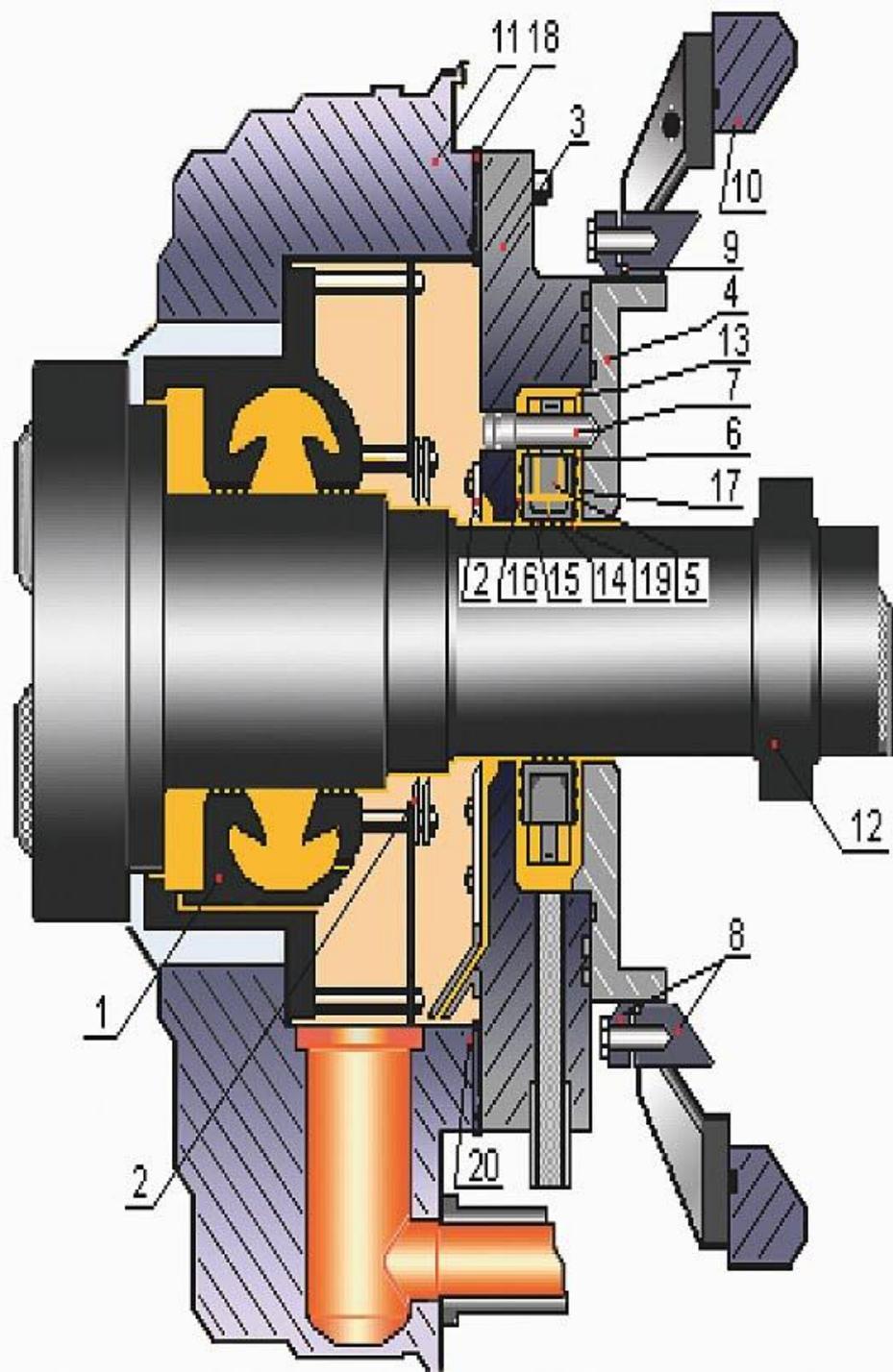


Маслоулавливатель системы SU



Корпус УВГ





Подшипник генератора (№10)

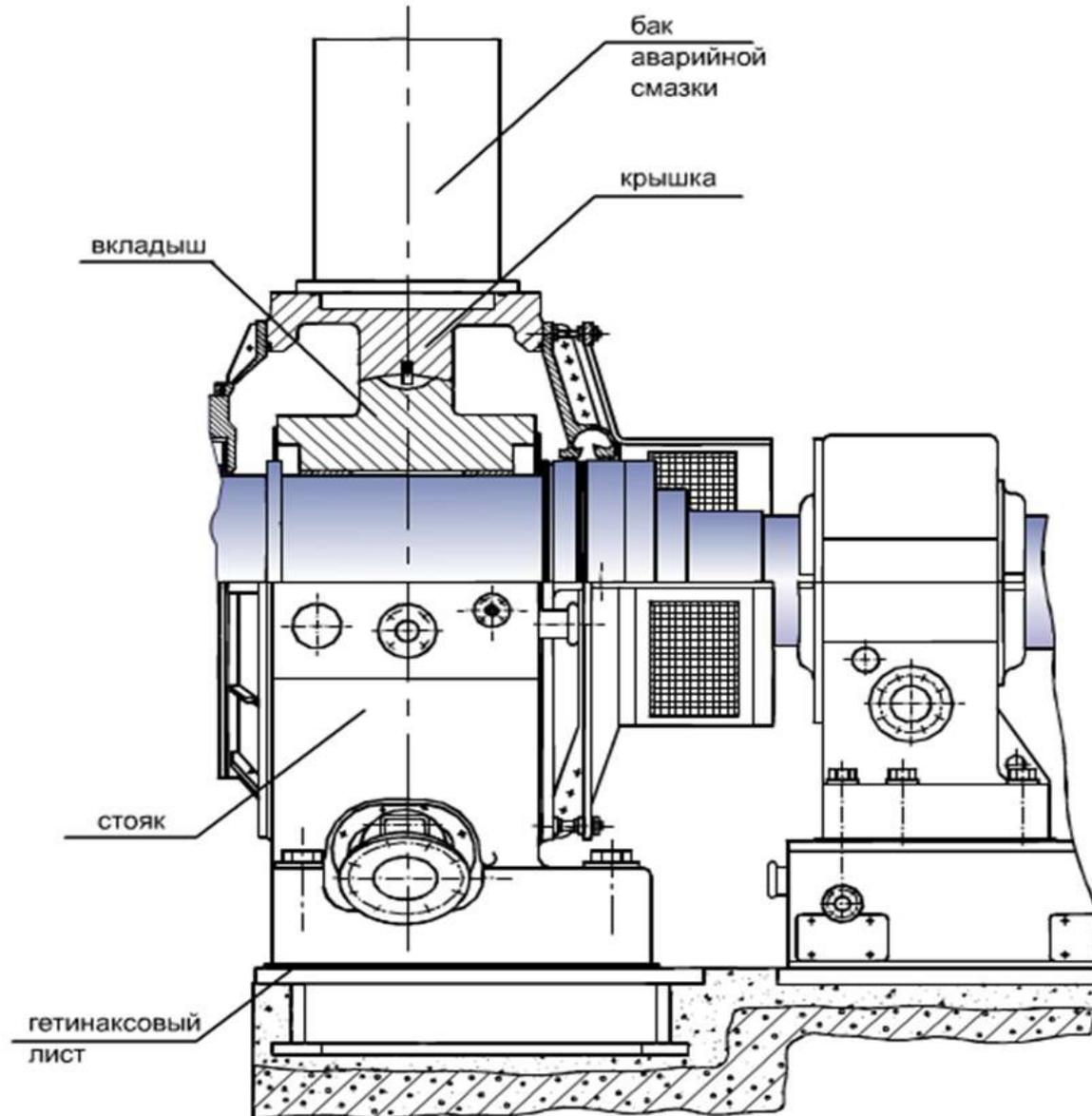


Рис. 2.5.1

Опорный подшипник генератора со стороны возбуждителя (№10)

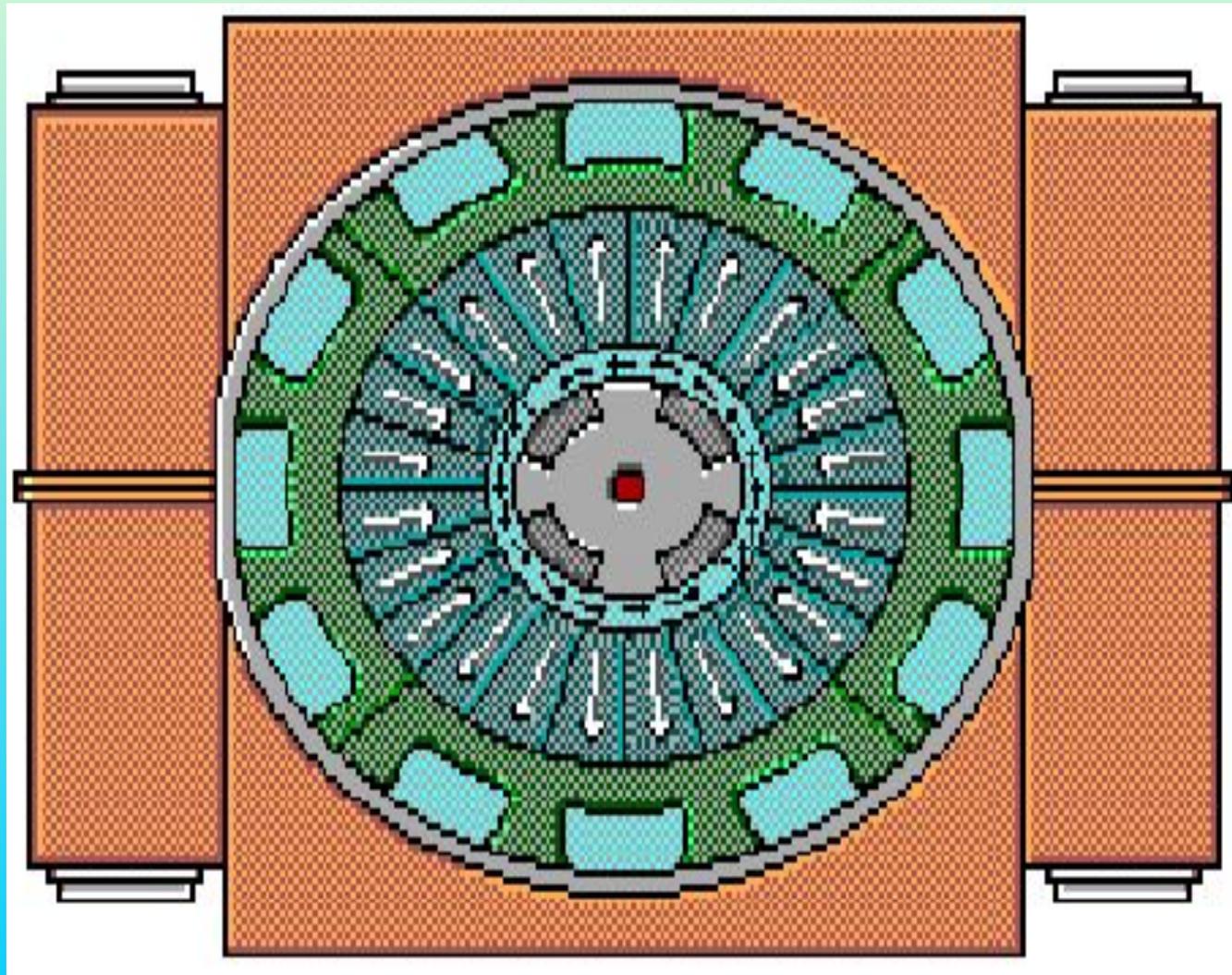


Наружный, внутренний щиты и щит вентилятора генератора ТВВ-1000



Схема охлаждения активных элементов генератора водородом

Зона разряжения (горячий газ)

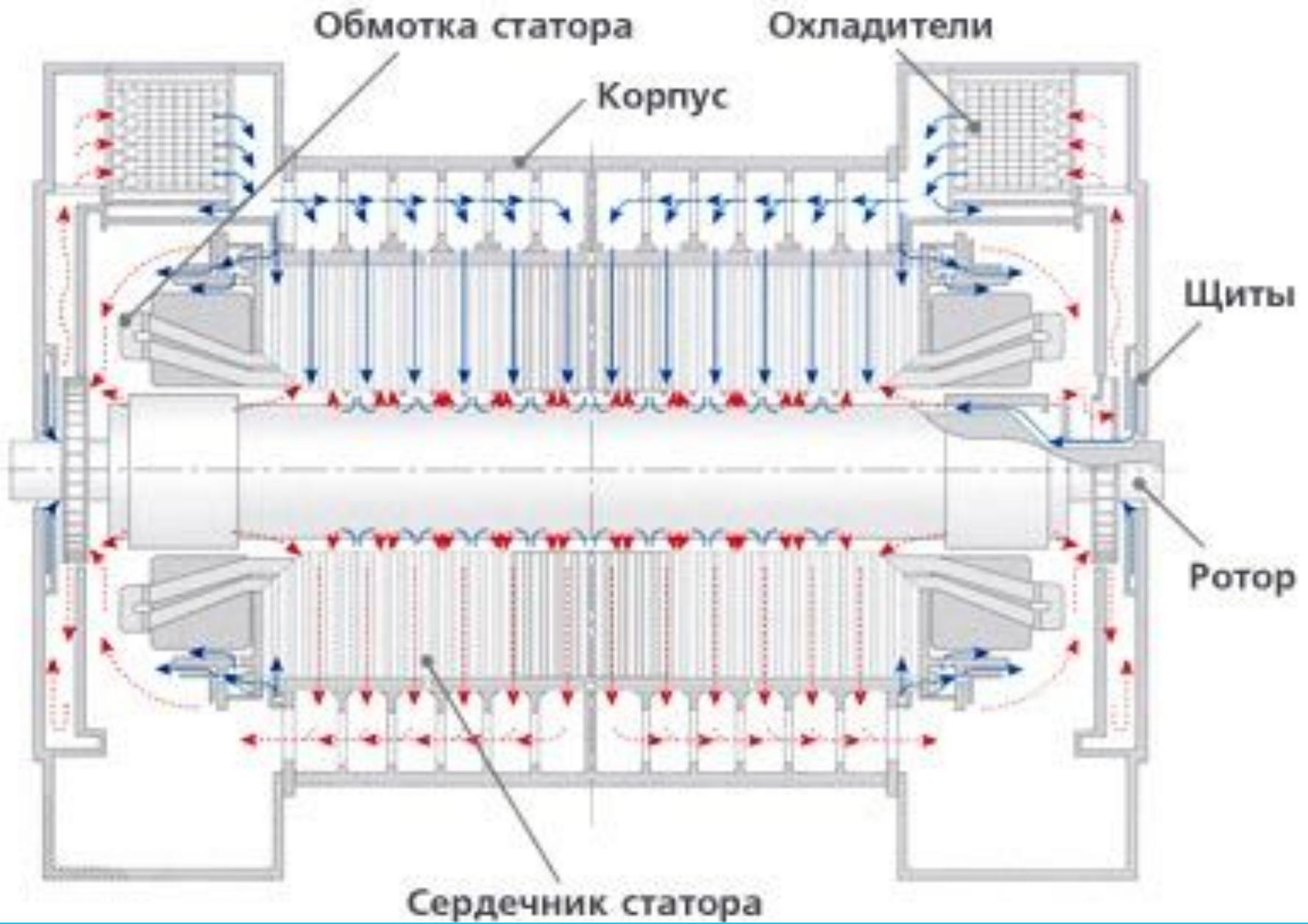


Напорная зона (холодный газ)

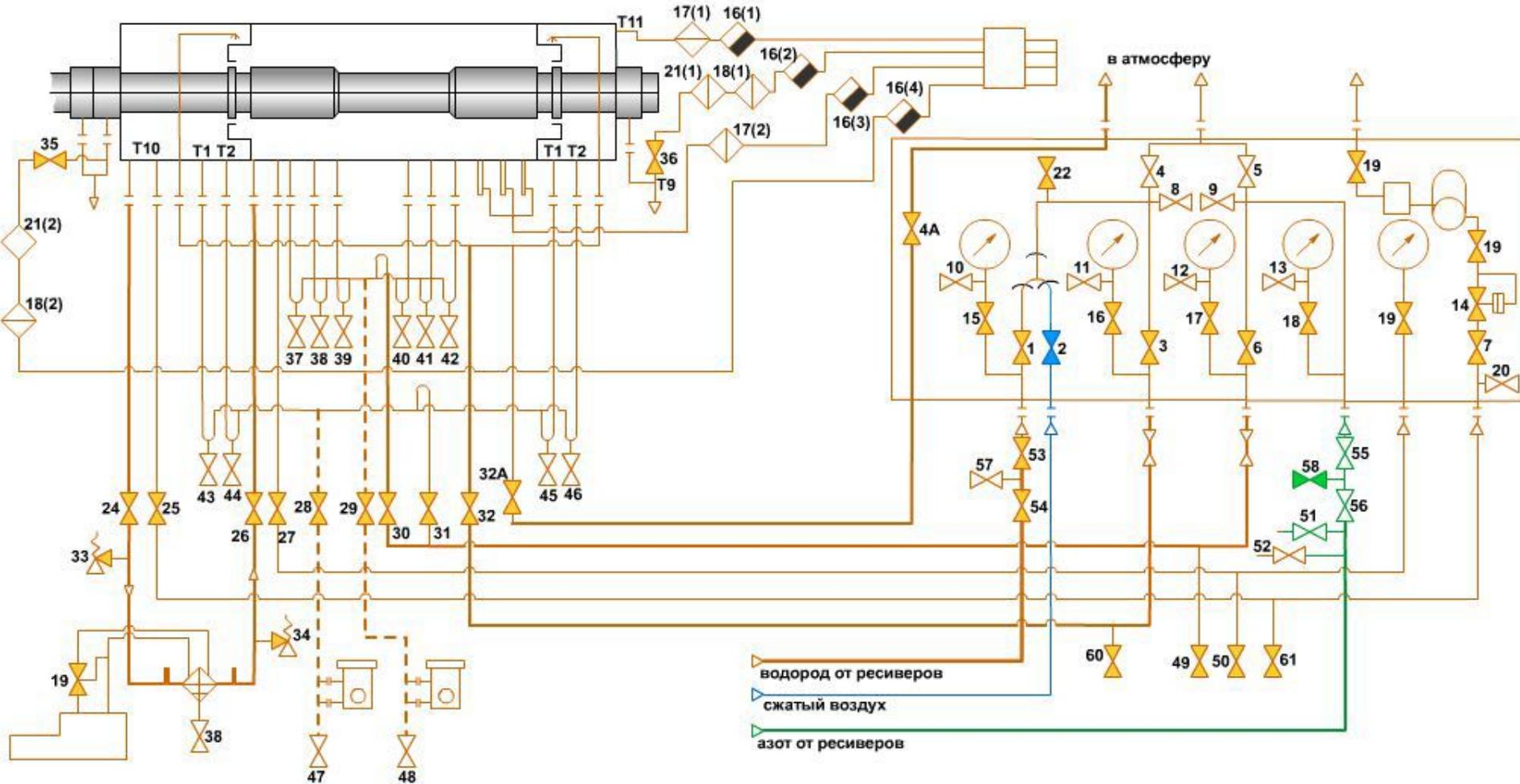
Напорная зона (холодный газ)

Зона разряжения (горячий газ)

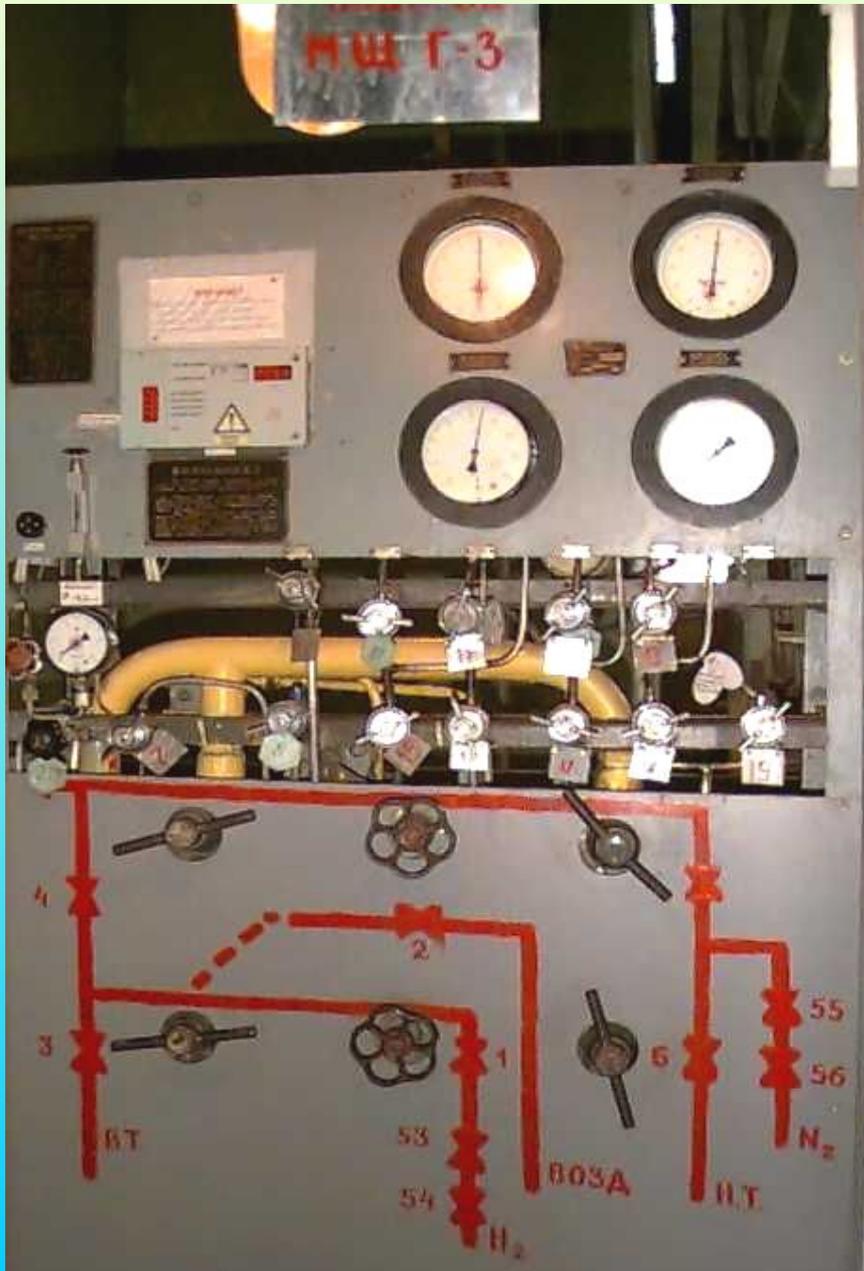
Схема охлаждения активных элементов генератора водородом



Газовая система ТГ ТВВ-1000-4УЗ

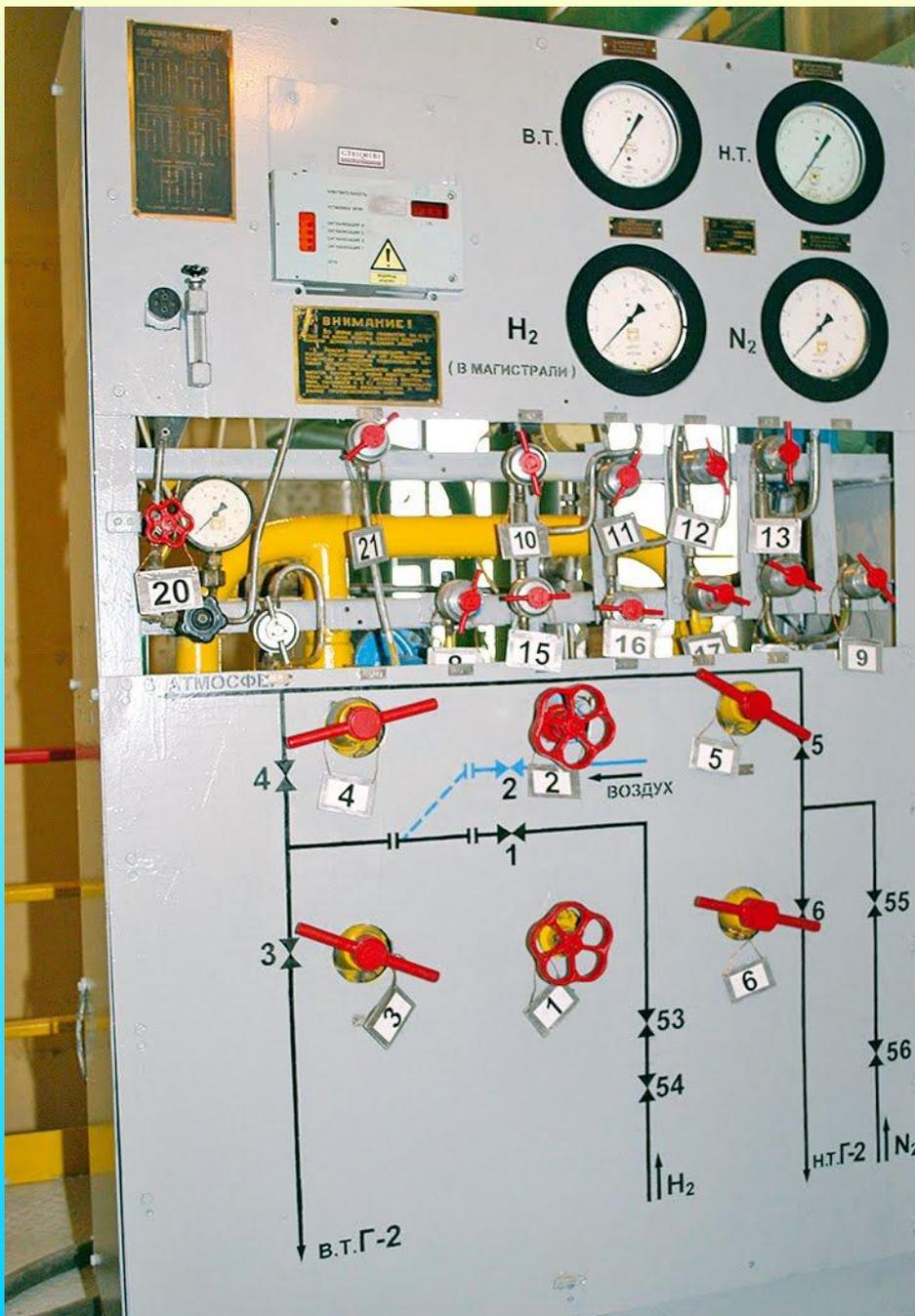


Пост газового управления ТГ ТВВ-1000-4УЗ



На газовом посту генератора установлены:

- манометр для контроля давления газа в корпусе генератора;
- манометр для контроля давления в трубопроводе подачи водорода;
- манометр для контроля давления в трубопроводе подачи азота;
- запорно-отсечные вентили и пробоотборные вентили;
- автоматический газоанализатор.



Газовая ловушка ТГ ТВВ-1000-4УЗ



Газовая ловушка предназначена для отделения, накопления и контроля содержания водорода, проникшего в дистиллят из-за нарушения герметичности обмотки статора при давлении водорода внутри корпуса больше, чем давление дистиллята в обмотке статора.

ЦТАИ
GT01J02



МЦГ

GT01Q02P1
Компенсация H₂ в водородных
шинах



- 1 точка – подшипник №9
- 2 точка – фазные шинпровода
- 3 точка – подшипник №10
- 4 точка – нулевой шинпровод



ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

УСТАНОВКА НУЛЯ

СИГНАЛИЗАЦИЯ 4

СИГНАЛИЗАЦИЯ 3

СИГНАЛИЗАЦИЯ 2

СИГНАЛИЗАЦИЯ 1

СЕТЬ

AG 0012

Установлено датчик
0-10V
0-4V
EFD TV 25-7352.0001-88

! ВНИМАНИЕ
ВОДОРОД,
ОПАСНО!

GT01Q02B1
Компенсация H₂ в подшипниках
шинпровода

Узел РПД



Итог по ПЦ-4
Конструктивные
особенности ТГ

ПЦ-5

**Объяснить порядок
отыскания мест утечек
водорода из системы
охлаждения генератора**

Утечки водорода

Обнаружение утечек водорода в

- кожухе экранированных токопроводов (линейных выводов Г),
- коробе нулевых выводов Г,
- картерах подшипников (№ 9, 10),
- системе водяного охлаждения обмотки статора Г (ГЛ система SS).

производится в автоматическом режиме с помощью 2-х стационарных газоанализаторов типа АГ0012 (GT01Q02, GT01Q06), которые смонтированы на щите GT01J02. Каждый из них обеспечивает непрерывный отбор газовой смеси для анализа поочередно из 4-х точек.

Согласно опыту эксплуатации наиболее вероятными местами утечки H_2 и основными причинами являются:

- 1) гидрозатвор ЗГ-500 из-за неисправности поплавкового регулятора уровня;
- 2) уплотняющие подшипники генератора из-за неисправности РПД;
- 3) обмотка статора генератора из-за повреждения стержней или их элементов;
- 4) газоохладители генератора из-за повреждения трубной системы;
- 5) токопроводы, фазные и нулевые выводы из-за разгерметизации корпуса генератора;
- 6) маслопроводы УВГ из-за электрохимической коррозии, фланцевые соединения;
- 7) газовая арматура из-за недостаточно плотного закрытия после регламентных работ или ошибочных действий персонала, фланцевые соединения;
- 8) токоподвод ротора из-за нарушения герметичности уплотнителей.

Поиск утечек H_2 из корпуса Г производится согласно «Комплексной программы отыскания утечек водорода из корпуса генератора типа ТВВ-1000-4УЗ блоков 1÷6, включая системы SS, ST, SU» 123456.ЭЦ.ГТ.ПМ.185-13 по заявкам ВИЭРО (газовая система ТГ) и НТО (системы SS, ST, SU)

Работы по программе выполняются при:

- обнаружении суточной утечки H_2 из корпуса ТГ более 5 %
- снижение давления H_2 в корпусе Г на 0,1245 кгс/см² за смену

(при неизменных t охлаждающих сред и отсутствии сигналов о наличии H_2 в контрольных точках по автоматическим газоанализаторам, а также по результатам лабораторного химического контроля, выполненного персоналом ВРХЛ)

ПРИМЕЧАНИЕ При суточной утечке H_2 из корпуса более 5 % ТГ должен быть разгружен, отключен от сети и остановлен в период, определяемый ГИ.

Поиск утечек H_2 из корпуса Г по программе

- 1) Поиск утечки H_2 через ГО генератора (ST).
- 2) Проверка работы оборудования системы УВГ (SU).
- 3) Проверка работы арматуры системы газового охлаждения Г и фланцевых соединений.
- 4) Проверка работы системы охлаждения обмотки статора генератора (SS).
- 5) Определение наличия H_2 в баке SS10B01.
- 6) Поиск утечки H_2 методом обмыливания.

При отсутствии возможности устранения неисправности вывести Г в ремонт согласно ИЭ ТГ. (Отв. НСБ)

Работы считать успешными, если обнаружено место утечки H_2 и приняты своевременные меры к недопущению выхода H_2 в МЗ.

Итог по ПЦ-5

**Отыскания мест утечек
водорода из системы
охлаждения генератора**

ПЦ-6

**Объяснить причины
возникновения
подшипниковых токов и
перечислить меры по
предотвращению их
негативного воздействия**

Причины подшипниковых токов

Вдоль вала работающего генератора по разным причинам наводится ЭДС, которая при отсутствии достаточных предупредительных мер может вызвать протекание токов через подшипники и повлечь за собой порчу масла, повреждение поверхностей шеек вала, вкладышей подшипников и уплотнений вала.

Контур для прохождения тока:

вал - подшипник - фундамент – другой подшипник – вал (др. стор.)

Исследованиями установлено, что при плотности тока, проходящего через скользящую поверхность вкладышей подшипников и шейки вала, более чем $0,2 \text{ А/см}^2$ могут возникать повреждения.

Схема протекания токов при отсутствии изолирующей прокладки под стулом подшипника

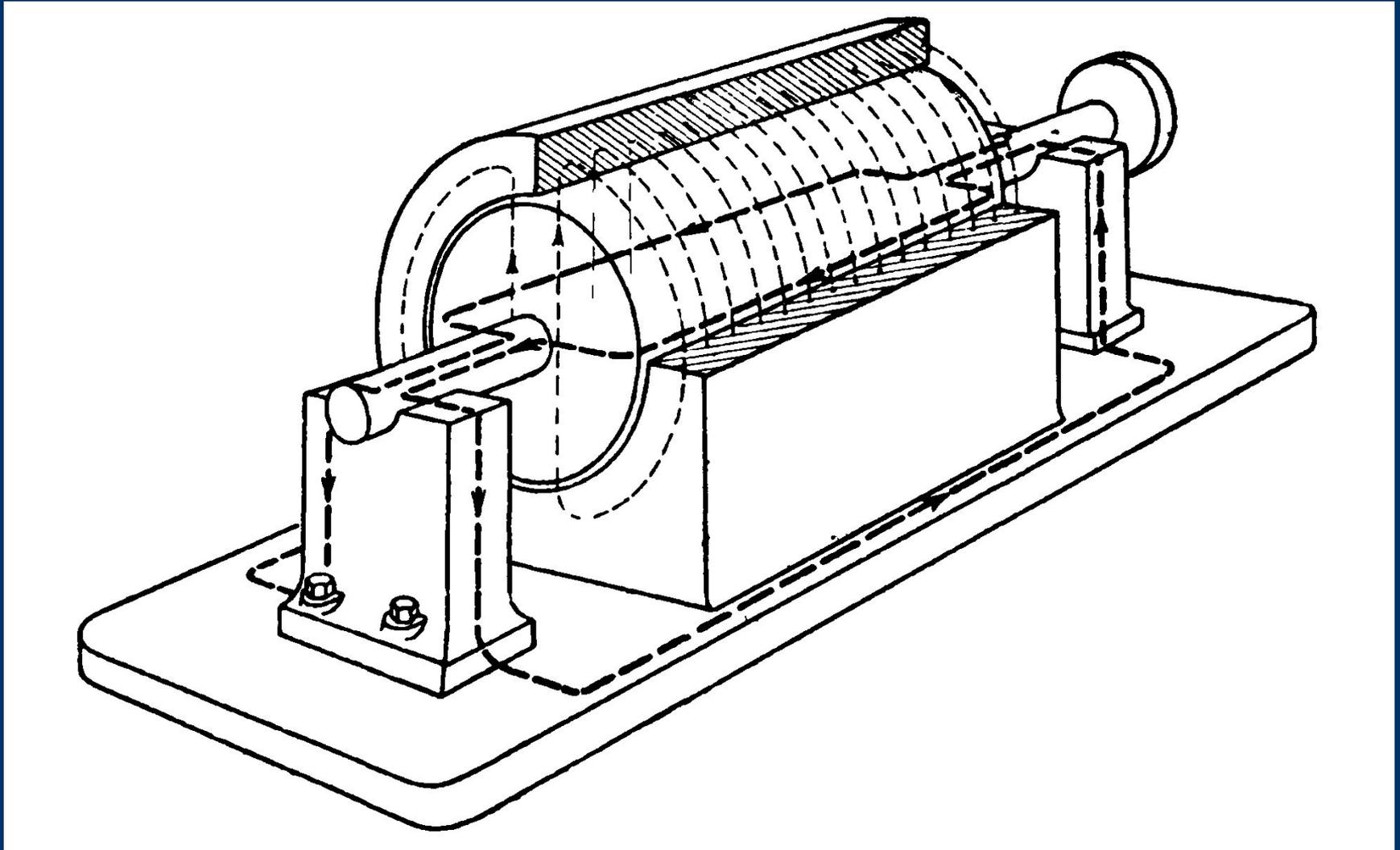
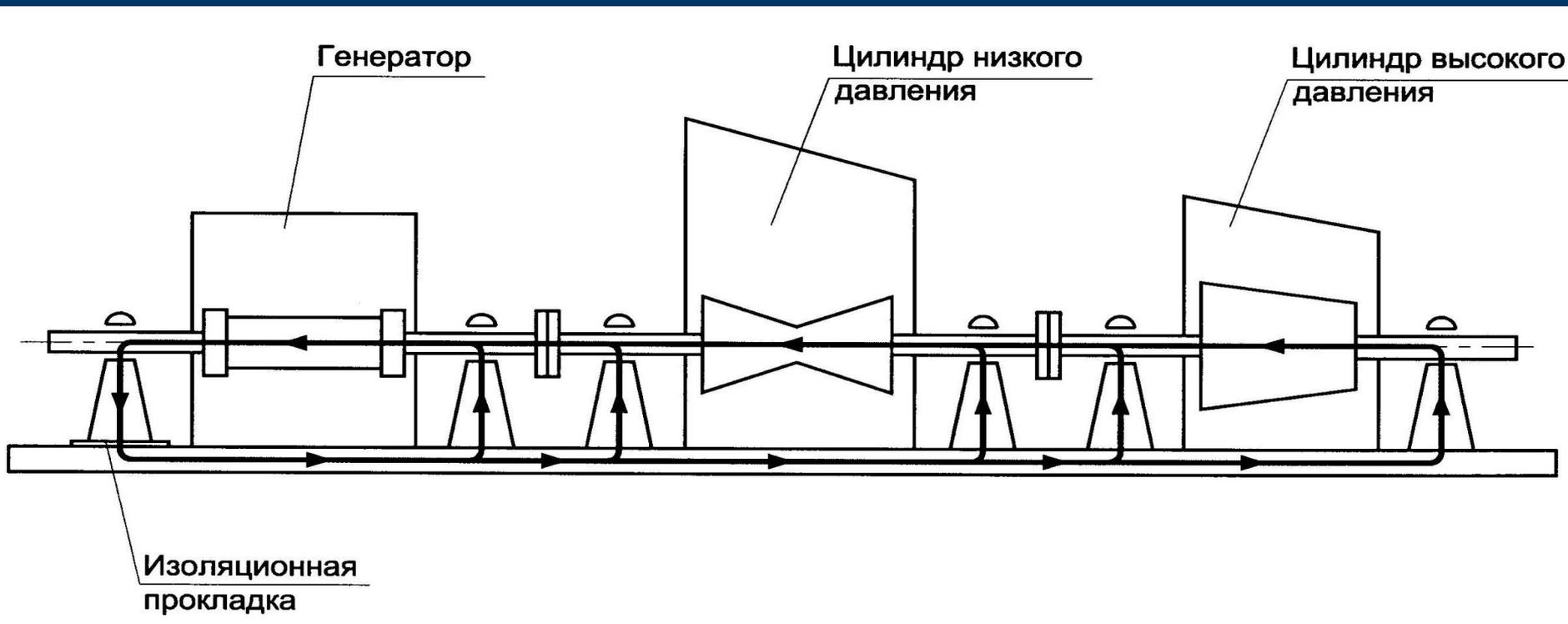


Схема прохождения подшипниковых токов в турбогенераторе при повреждении изолирующей прокладки



Причинами появления паразитных токов в валах и ПШ генераторов являются:

- **электромагнитный источник**
(несимметрия магнитных потоков, а также продольное намагничивание вала генератора - униполярный эффект)
- **электростатический источник**
(от трения лопаток турбины о пар, вентиляторов на роторе Г о водород или вентиляторов на роторе возбuditеля о воздух)

Причины подшипниковых токов

Электромагнитный источник

Несимметрия магнитного потока возникает либо из-за наличия дополнительного сопротивления в каком-нибудь месте пути магнитных потоков ротора или статора либо из-за неравномерности воздушного зазора между статором и ротором. Данный источник порождает напряжение на валу и при малых сопротивлениях в контуре может привести к прохождению токов, исчисляемых сотнями и даже тысячами ампер. Подшипниковые токи униполярного эффекта возникают за счет витков, образующихся вокруг вала, вследствие чего создается магнитный поток вдоль оси ротора. При хорошем состоянии масла токи униполярного эффекта не причиняют никаких неприятностей.

Электростатический источник

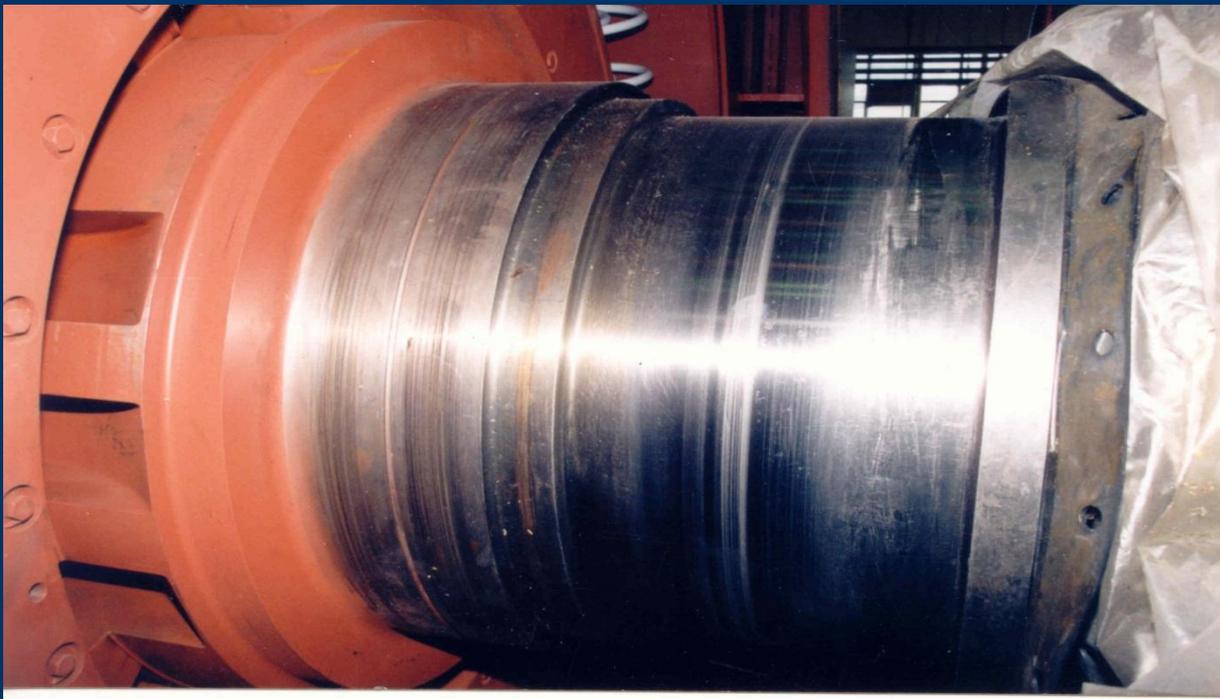
Данный источник от трения лопаток турбины о сухой пар, и вентилятора на роторе Г о газ или воздух – маломощен (токи стекания заряда на землю малы $3 \div 5$ мА) и не может вызвать повреждения скользящей поверхности при нормальном сопротивлении изоляции подшипников. Однако наличие статического заряда при неисправности щеточного устройства заземления вала турбины может вызвать неприятное ощущение обслуживающего персонала при непосредственном контакте с валом или изолированным подшипником.

Негативное влияние ПОДШИПНИКОВЫХ ТОКОВ

Электромагнитный источник при отсутствии достаточных предупредительных мер может вызвать протекание через подшипники токов такой величины, которые способны повлечь за собой порчу масла, повреждение поверхностей шеек вала, вкладышей подшипников и уплотнений вала.

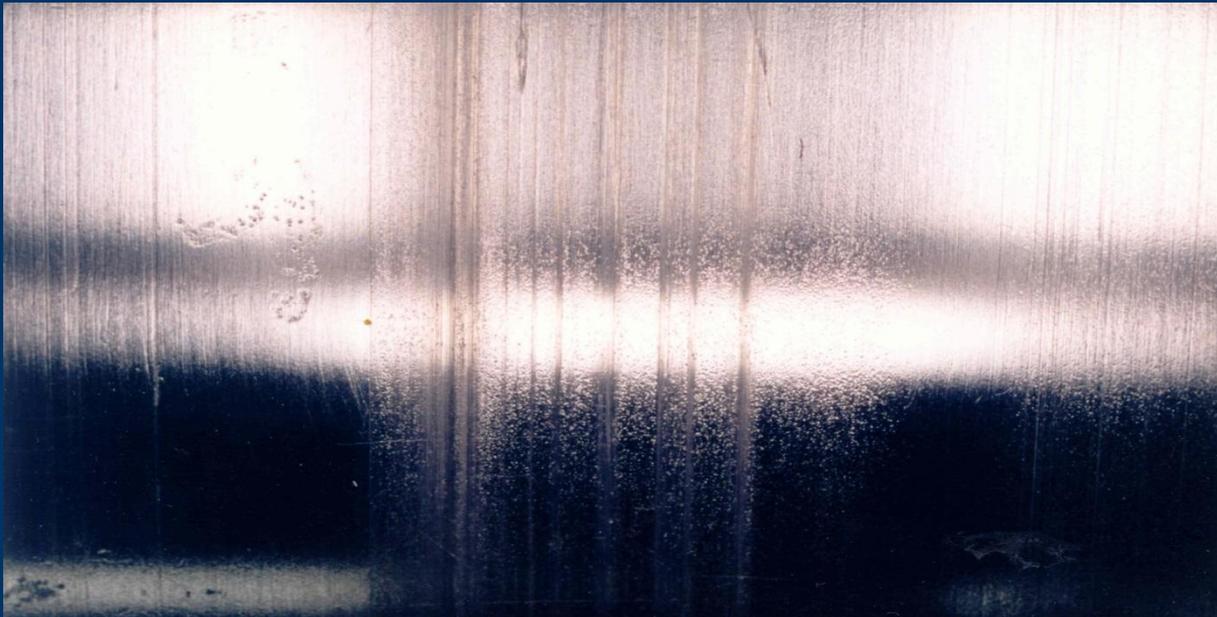
Вследствие протекания токов, величиной сотни и даже тысячи ампер, возможно не только повреждение вала и вкладышей, но и намагничивание элементов турбин и даже чрезмерный нагрев перил. Такие явления неоднократно отмечались в эксплуатации.

Электрокоррозия трущихся поверхностей подшипников и посадочных мест вала ТГ влечет за собой дорогостоящий ремонт, ухудшает балансировку и увеличивает вибрацию турбоагрегата.



Электрокоррозия

Снимки мест
повреждения
вала ротора
подшипниковыми
токами при
нарушении
подстудовой
изоляции



Меры по предотвращению протекания подшипниковых токов

На всех генераторах необходимо, кроме естественной изоляции между валом и подшипником, образуемой масляной пленкой, устанавливать специальную изоляцию, предотвращающую прохождение тока через поверхности трения в случае нарушения масляной пленки.

Радикальной мерой является применение изоляции стула и вкладышей подшипников скольжения и уплотнения с одной стороны ТГ (сторона возбuditеля) с тем, чтобы изолировать от корпуса и фундамента один конец вала, выходящий из генератора.

У ТГ изоляционными прокладками изолируют от фундаментной плиты подшипник со стороны возбuditеля и подшипники возбuditеля. Изолирующие прокладки размещают и в соединениях маслопроводов, для того чтобы предупредить образование обходного контура по отношению к изоляции стула подшипника. Болты, крепящие стул подшипника, изолируются миканитовыми трубками, а под гайки подкладывают изоляционные шайбы.

На всех ТГ ЗАЭС изолированы подшипники № 10,11,12 !!!

Схема измерения сопротивления изоляции патрубков-вставок трубопроводов

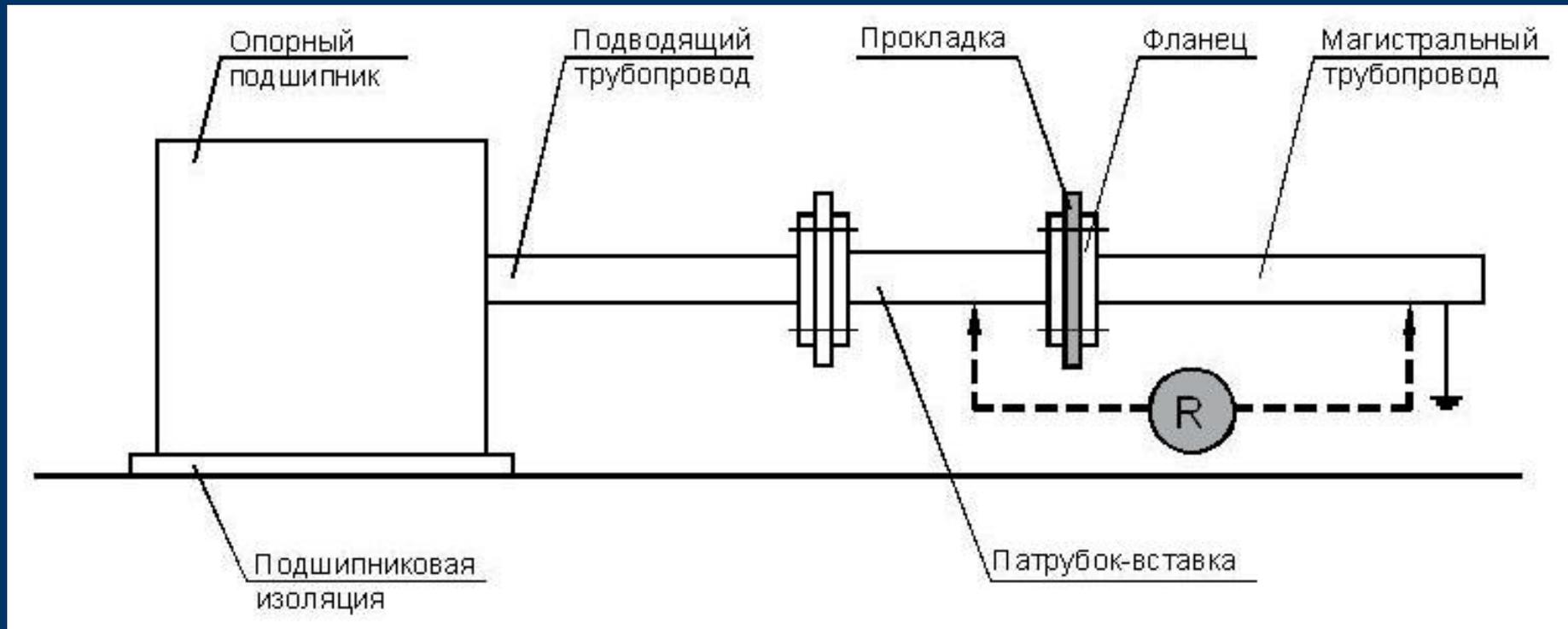
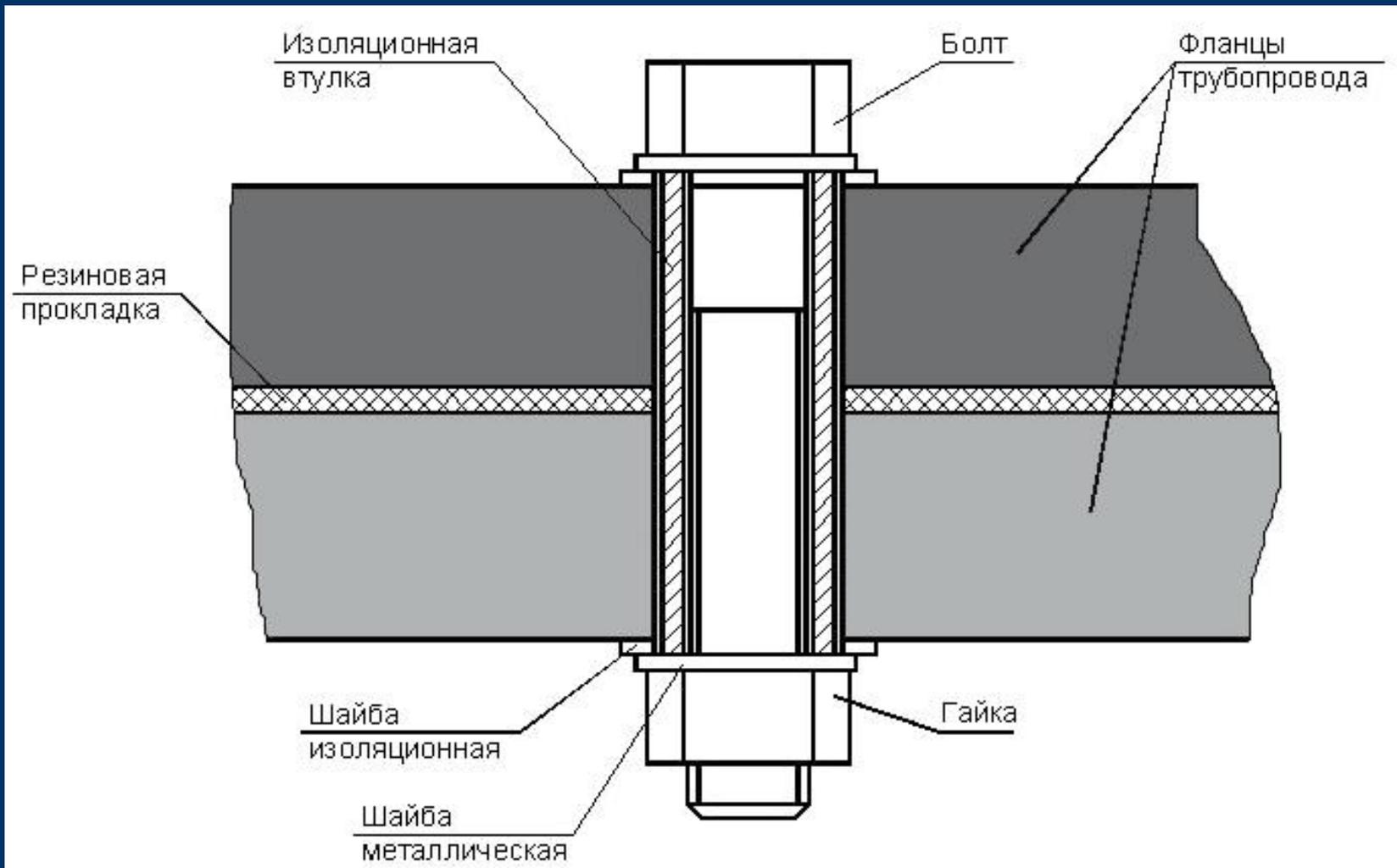


Схема соединения «замок» фланцевых соединений трубопроводов



Контроль изоляции подшипников

Для исключения возникновения подшипниковых токов и повреждений шеек вала и вкладышей подшипников и уплотнений вала необходимо поддерживать чистоту вокруг Г, не допуская загрязнения маслом и пылью изоляции подшипников Г и возбuditелей.

Контроль изоляции подшипников генератора и возбuditеля, а также уплотнения вала со стороны возбuditеля во время работы производит не реже **1 раза в неделю ОП ЭЦ** в соответствии с процедурой путём **измерения напряжений между концами вала** без шунтирования и при шунтированной масляной пленке подшипников. При исправной изоляции подшипника и уплотнения значения обоих напряжений **должны быть одинаковыми**.

Различие между значениями напряжений **более чем на 10%** указывает на **неисправность изоляции** (показания на ХХ генератора и при нагрузке отличаются и не должны сравниваться между собой).

Появление искрения на концах проводника при шунтировании масляной плёнкой изолированного подшипника также указывает на неисправность изоляции данного подшипника.

Схема измерения подстоловой изоляции подшипника №11

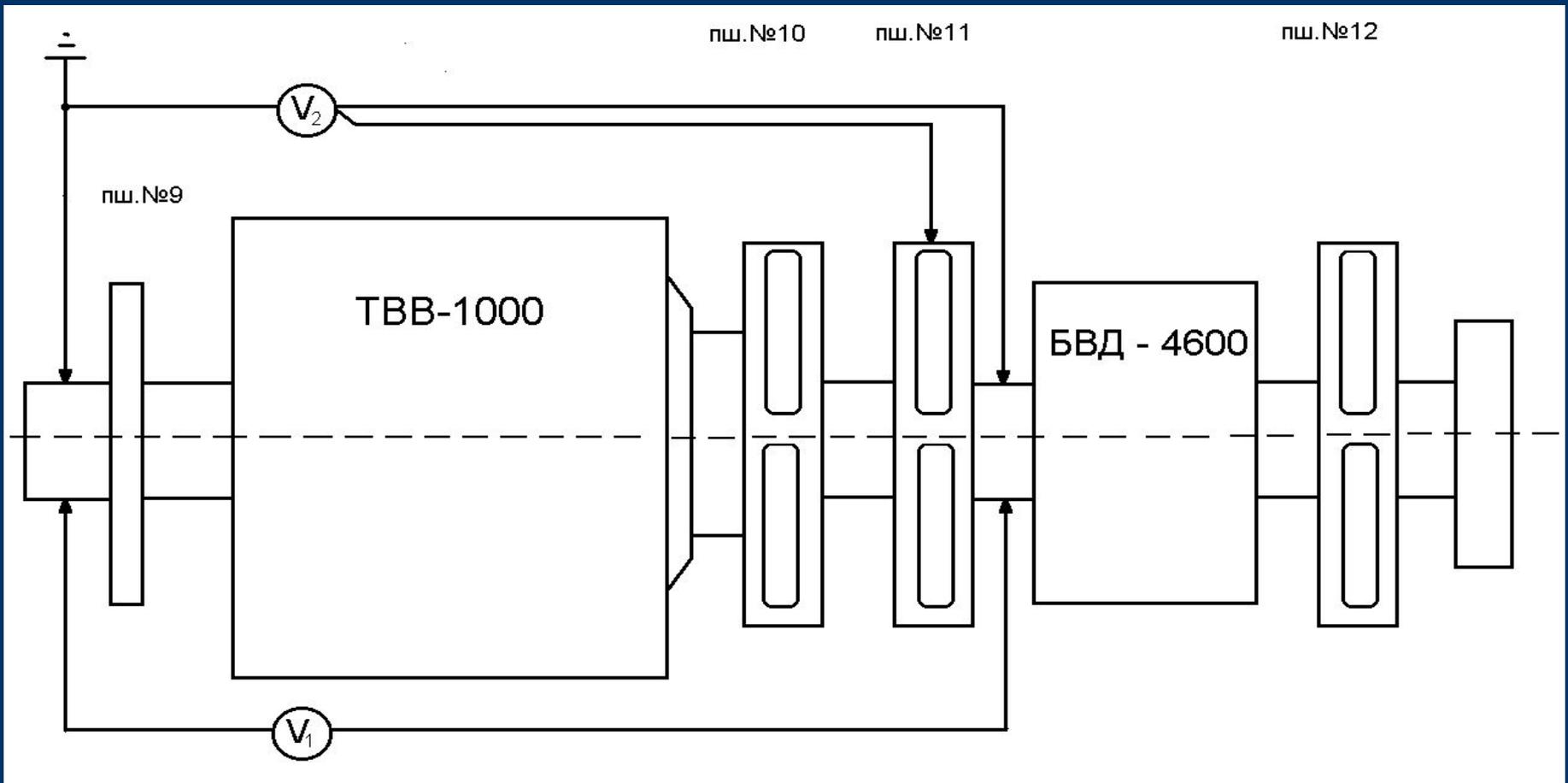
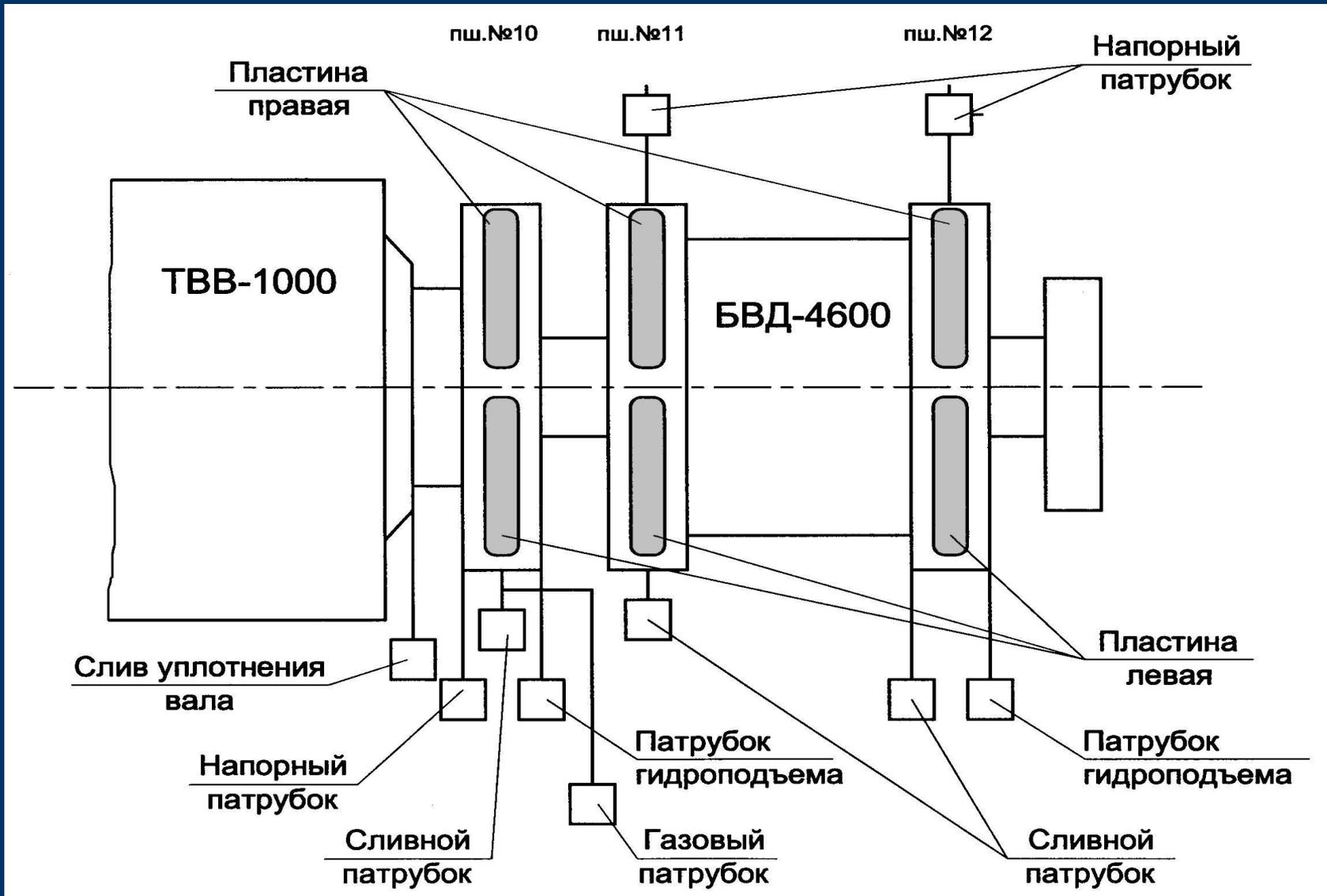


Схема расположения контрольных пластин и патрубков-вставок



При монтаже Пш и сборке фланцевых соединений ведется контроль измерений электр. сопротивления изоляции каждого элемента в журнале ремонта.

Значение сопротивления изоляции должно быть:

- Пш с отключенными фланцами м/с $\geq 100 \text{ Мом}$
- каждое из фланцевых соединений м/с $\geq 5 \text{ Мом}$
- Пш в сборе с м/с $\geq 1 \text{ МОм}$

Измерение сопротивления изоляции стояков Пш № 10, 11, 12 производится мегаомметром $U_{\text{ном}} = 1000 \text{ В}$ по отношению к фундаментной плите при полностью собранных маслопроводах.

Действия персонала по устранению загрязнений

При появлении загрязнений, следов масла на деталях и узлах указанных выше, необходимо выявить источник, принять меры по устранению загрязнения и течи масла.

Очистка деталей производится по следующей процедуре:

- сухой безворсяной ветошью удалить следы масляных загрязнений с поверхности оборудования;
- чистую безворсяную ветошь смочить в небольшом количестве спирта и выполнить протирку ранее очищенной поверхности оборудования;
- протирку поверхности оборудования необходимо выполнять до тех пор, пока обтирочная ветошь не останется чистой (без следов масла).

Далее проверяется чистота изоляционных деталей. Их загрязнение устраняется протиркой салфетками, смоченными в небольшом количестве спирта.

При выявлении дефекта уплотнения контуров подошвы подшипников ОП ЭП оформляет нарушение в журнале дефектов. ЭРП устраняет дефект в срок, установленный СГСТ.

Действия персонала при снижении подступовой изоляции

При выявлении нарушения подступовой изоляции **НСБ** обязан организовать поиск места нарушения подступовой изоляции и его устранения с привлечением **оперативного персонала ЭЦ, ЭП, ЭРП, ЦТАИ**.

При необходимости ЭП по программе осуществляет проверку **величины слива масла из УВГ на сторону H_2** , по результатам которой косвенно определяется состояние уплотняющего вкладыша, поверхность которого при протекании подшипниковых токов может быть повреждена.

Ремонтный персонал ЭЦ, ЭРП, ЦТАИ привлекается для устранения сложных дефектов, при невозможности их устранения силами оперативного **персонала ЭП**.

Дефект по подступовой изоляции должен быть устранен в ближайший останов ТГ, но не позднее чем через **1 месяц** после момента обнаружения.

Итог по ПЦ-6

**Причины возникновения
подшипниковых токов ТГ и
меры по предотвращению их
протекания**

Итоги занятия

1. Назначение, устройство и принцип работы турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ
2. Номинальные данные генератора ТВВ-1000-4УЗ
3. Системы, обеспечивающие работу ТГ, параметры охлаждающих сред
4. Конструктивные особенности ТГ
5. Отыскание мест утечек водорода из системы охлаждения генератора
6. Причины возникновения подшипниковых токов ТГ и меры по предотвращению их протекания

Выходной контроль знаний

Контрольный вопрос №1

Назовите причину, по которой возбудитель называют обращенным генератором?

Варианты ответа:

1) возбудитель расположен рядом с генератором и обращен к нему выходными цепями

2) постоянный ток на входе возбудителя преобразовывается обратно в переменный на его выходе

3) у генератора традиционно индуктором является ротор и якорем статор, а у возбудителя – наоборот

Контрольный вопрос №2

Укажите критическую частоту вращения генератора ТВВ-1000-4УЗ.

Варианты ответа:

1) 980 об/мин

2) 1170 об/мин

3) 1230 об/мин

Контрольный вопрос №3

Укажите приблизительную величину мощности, которая будет расходоваться на потери, работающим в номинальном режиме турбогенератором ТВВ-1000-4У.

Варианты ответа:

1) 130 кВт

2) 1,3 мВт

3) 13 мВт

Контрольный вопрос №4

При каком значении суточной утечки водорода из корпуса генератора необходимо по программе осуществлять поиск места утечки?

Варианты ответа:

1) более 5%

2) более 7%

3) более 10%

Контрольный вопрос №5

Процесс перевода газовых сред в корпусе генератора рекомендуется осуществлять при давлении газа в пределах Укажите диапазон.

Варианты ответа:

1) $1,10 \div 1,50$ кгс/см²

2) $1,20 \div 1,80$ кгс/см²

3) $1,40 \div 1,95$ кгс/см²

Контрольный вопрос №6

Переход генератора в режим двигателя возникает при ...
Используя предложенные варианты завершите фразу.

Варианты ответа:

1) потере возбуждения генератора (гашении поля ротора) и сохранении неизменного нагрузочного режима турбины

2) полном прекращении доступа пара в турбину вручную или от автоматических устройств и включенном в сеть возбужденном генераторе

3) срабатывании технологической защиты турбоагрегата со срывом вакуума в конденсаторе и отключении генератора от сети КАГ-24 без выдержки времени

Контрольный вопрос №7

Как изменится реактивная мощность генератора при снижении мощности турбины? Выберите верный вариант.

Варианты ответа:

1) увеличится

2) уменьшится

3) не изменится

Контрольный вопрос №8

Укажите причину, по которой необходимо контролировать разность между Max и Min температурой стержней обмотки статора генератора ($t \leq 25 \text{ }^\circ\text{C}$).

Варианты ответа:

1) для предупреждения междофазных токовых перегрузок генератора

2) для контроля эффективности работы системы охлаждения обмоток статора (SS)

3) для контроля исправности работы установки А-701 (аппаратуры МСКУ-2)

Контрольный вопрос №9

Какой из указанных источников при отсутствии предупредительных мер может вызвать протекание через подшипники токов, способных повлечь за собой порчу масла, повреждение поверхностей шеек вала и баббитовых вкладышей?

Варианты ответа:

1) электромагнитный источник

2) электростатический источник

3) наведенное напряжение от цепей статора

Контрольный вопрос №10

С какой номинальной скоростью вращения должен работать синхронный турбогенератор с пятью парами полюсов на роторе для подключения его к сети с электрической частотой 60 Гц? ($f = n \cdot p$)

Варианты ответа:

1) 720 об/мин

2) 900 об/мин

3) 1200 об/мин

Завершение презентации