

# СПРАВОЧНИК

ПО НАЛАДКЕ  
КОНТРОЛЬНО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ  
ПРИБОРОВ  
И СИСТЕМ  
ВОЗБУЖДЕНИЯ  
НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ  
И ПОДСТАНЦИЯХ



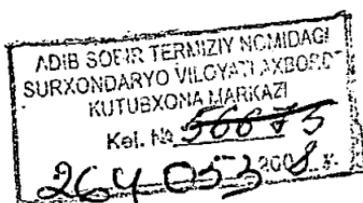
31.26

074

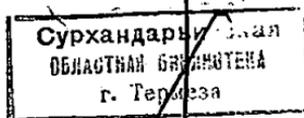
264053

# СПРАВОЧНИК ПО НАЛАДКЕ КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ

Под редакцией Э. С. Мусаэляна



«ЭНЕРГИЯ»  
МОСКВА 1974



6П2.1

С 74

УДК 621.311.2.002.56.001.41 (03)

Авторы: В. Н. Архипов, В. И. Бородавкин,  
Э. А. Вишневецкий, В. П. Омельченко, В. А. Фоменко

**Справочник по наладке контрольно-измеритель-**  
С 74 **ных приборов и систем возбуждения на электростан-**  
**циях и подстанциях. Под ред. Э. С. Мусаэляна. М.,**  
**«Энергия», 1974.**

344 с. с пл.

На обороте тит. л. авт.: В. Н. Архипов, В. И. Бородавкин,  
Э. А. Вишневецкий, В. П. Омельченко, В. А. Фоменко.

В справочнике приводятся сведения по проверке, наладке и испытаниям контрольно-измерительных приборов (КИП) и систем возбуждения электрических машин на вновь вводимых и расширяемых электростанциях и подстанциях. В нем учтен опыт всех наладочных организаций Минэнерго СССР.

Книга рассчитана на инженеров, техников и квалифицированных электромонтеров монтажных и наладочных организаций и может быть полезна проектировщикам, эксплуатационному персоналу, а также учащимся высших и средних учебных заведений энергетических специальностей.

С  $\frac{30311-246}{051(01)-74}$  79-74

6П2.1

© Издательство «Энергия», 1974 г.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие . . . . .	6
<b>НАЛАДКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАЩИТ . . . . .</b>	<b>7</b>

### Р а з д е л п е р в ы й

#### Организация работ по наладке контрольно-измерительных приборов, устройств тепловой автоматики и технологических защит (КИПиТА)

1-1. Структура и задачи организаций, выполняющих наладку КИПиТА . . . . .	7
1-2. Структура бригады и подготовка ее к выезду на объект . . . . .	8
1-3. Подготовка работ на объекте . . . . .	11
1-4. Основные этапы наладки КИПиТА . . . . .	12
1-5. Техника безопасности . . . . .	21

### Р а з д е л в т о р о й

#### Краткие технические сведения по общим узлам вторичных контрольно-измерительных приборов

2-1. Усилители . . . . .	22
2-2. Силовая схема . . . . .	28
2-3. Сигнальные устройства . . . . .	33
2-4. Приборы системы ГСП . . . . .	36

### Р а з д е л т р е т ь и й

#### Проверка контрольно-измерительных приборов

3-1. Лабораторная проверка . . . . .	41
3-2. Метрологическая проверка . . . . .	46

### Р а з д е л ч е т в е р т ы й

#### Наладка приборов для измерения температуры

4-1. Первичные приборы для измерения температуры . . . . .	57
4-2. Наладка первичных приборов для измерения температуры . . . . .	57
4-3. Вторичные приборы для измерения температуры . . . . .	74
4-4. Наладка вторичных приборов для измерения температуры . . . . .	90
4-5. Возможные неисправности вторичных приборов и способы их устранения . . . . .	104

## Раздел пятый

## Наладка приборов для измерения давления, разрежения, расхода и уровня

5-1. Первичные приборы для измерения давления и разрежения . . . . .	112
5-2. Первичные приборы для измерения расхода жидкостей и газов . . . . .	121
5-3. Первичные приборы для измерения уровня . . . . .	124
5-4. Вторичные приборы для измерения давления, разрежения, расхода и уровня . . . . .	131
5-5. Наладка приборов для измерения давления, разрежения, расхода и уровня . . . . .	138
5-6. Возможные неисправности приборов дифференциально-трансформаторной системы и способы их устранения . . . . .	156

## Раздел шестой

## Наладка приборов для измерения химического состава веществ

6-1. Приборы газового анализа, контроля качества воды и пара . . . . .	156
6-2. Наладка приборов газового анализа . . . . .	159
6-3. Наладка приборов контроля качества воды и пара . . . . .	165

## Раздел седьмой

## Наладка отдельных комплектных устройств технологических защит

7-1. Наладка устройств контроля перемещения роторов и цилиндров турбины . . . . .	168
7-2. Наладка защит при потускнении и погасании факела . . . . .	176

<b>НАЛАДКА СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ И УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН . . . . .</b>	<b>182</b>
--	------------

## Раздел восьмой

## Наладка систем возбуждения синхронных машин

8-1. Объем работ по наладке систем возбуждения . . . . .	182
8-2. Общие проверки . . . . .	183
8-3. Наладка систем возбуждения с генератором постоянного тока . . . . .	197
8-4. Наладка системы возбуждения с индукторным генератором и выпрямительной установкой, . . . . .	199

## Раздел девятый

Наладка устройств автоматического регулирования  
возбуждения

9-1. Общие проверки и испытания . . . . .	205
9-2. Наладка регуляторов типа УК с ЭМК . . . . .	212
9-3. Наладка регуляторов типа «управляемое фазовое компаундирование» . . . . .	229
9-4. Наладка регулятора системы возбуждения с индукторным генератором и выпрямительной установкой (панель ЭПА-325В) . . . . .	245

## Раздел десятый

Наладка системы ионного возбуждения и устройства  
его регулирования

10-1. Основные технические сведения по ионному возбудителю . . . . .	259
10-2. Наладка ртутного преобразователя . . . . .	264
10-3. Наладка ионного возбудителя . . . . .	277
10-4. Предварительная наладка автоматического регулятора возбуждения сильного действия типа АРВ-ГТ . . . . .	282
10-5. Наладка устройства регулирования возбуждения . . . . .	311
10-6. Измерительные приборы и приспособления, используемые при наладке системы ионного возбуждения и устройства его регулирования . . . . .	315
Приложения . . . . .	317
Список литературы . . . . .	340

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Директивами XXIV съезда КПСС и девятым пятилетним планом развития народного хозяйства СССР предусматривается опережающее развитие энергетики и ускорение технического прогресса в энергетическом строительстве. В девятой пятилетке должно быть введено 65—67 млн. кВт новой энергетической мощности. Намечено строительство крупнейших тепловых электростанций мощностью до 4 млн. кВт с установкой на них энергетических блоков мощностью до 1 млн. 200 тыс. кВт. Предусмотрено дальнейшее развитие атомной энергетики с доведением в 1971—1975 гг. мощности на атомных электростанциях до 6—8 млн. кВт.

В общем комплексе строительства и ввода в действие новых энергетических мощностей важное место занимают пусконаладочные работы, выполняемые специализированными наладочными организациями в объеме, предусматриваемом директивными требованиями Минэнерго и Правилами устройств электроустановок (ПУЭ).

Настоящий справочник является одним из четырех справочников, подготавливаемых к изданию коллективом пусконаладочных организаций Главэлектромонтажа Минэнерго. Уже вышли из печати: «Справочник по наладке электрооборудования электростанций и подстанций. Аппаратура первичных цепей» в 1971 г. и «Справочник по наладке высокочастотных устройств управления энергосистемами» в 1972 г.

В настоящем справочнике описывается наладка контрольно-измерительных приборов и устройств технологических защит, а также наладка систем возбуждения и устройств регулирования возбуждения синхронных машин.

Справочник составлен инженерами Главэлектромонтажа Минэнерго СССР В. Н. Архиповым (разд. 1 и 7), Э. А. Вишневецким (разд. 2, 3, 4, 5, 6), В. П. Омельченко (разд. 8 и 9) и В. А. Фоменко (разд. 10), § 9-4 написан инженером В. И. Бородавкиным.

Авторы будут признательны читателям за все пожелания по улучшению справочника. Все замечания и пожелания следует направлять по адресу 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., д. 10, изд-во «Энергия».

*Авторы*

# НАЛАДКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАЩИТ

## РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

### ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО НАЛАДКЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, УСТРОЙСТВ ТЕПЛОВОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАЩИТ (КИПиТА)

#### 1-1. СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ НАЛАДКУ КИПиТА

Наладка устройств контрольно-измерительных приборов, технологических защит и тепловой автоматики производится специализированным персоналом, входящим в виде самостоятельных участков или отделов в структуру пусконаладочных организаций [Л. 1]. Примерная структура участка наладки КИПиТА приведена на рис. 1-1.

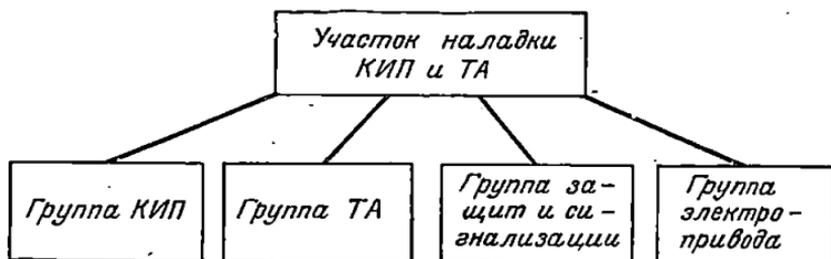


Рис. 1-1. Структура участка наладки КИПиТА.

Основными задачами подразделений по наладке КИПиТА являются:

- 1) анализ проектной документации до начала монтажа;
- 2) проверка правильности и качества монтажа цепей;
- 3) снятие характеристик отдельных аппаратов устройств и оборудования;
- 4) наладка устройств в целом и ввод их в эксплуатацию в соответствии с директивным графиком;
- 5) составление отчетной документации;
- 6) сдача устройств эксплуатационному персоналу.

## 1-2. СТРУКТУРА БРИГАДЫ И ПОДГОТОВКА ЕЕ К ВЫЕЗДУ НА ОБЪЕКТ

Общие сведения по подготовке и организации работ на объекте приведены в [Л. 1].

Наладка КИПиТА на тепловых электростанциях выполняется бригадой наладчиков, состоящей из нескольких специализированных групп и звеньев.

Примерная структура бригады наладки КИПиТА на объекте приведена на рис. 1-2.

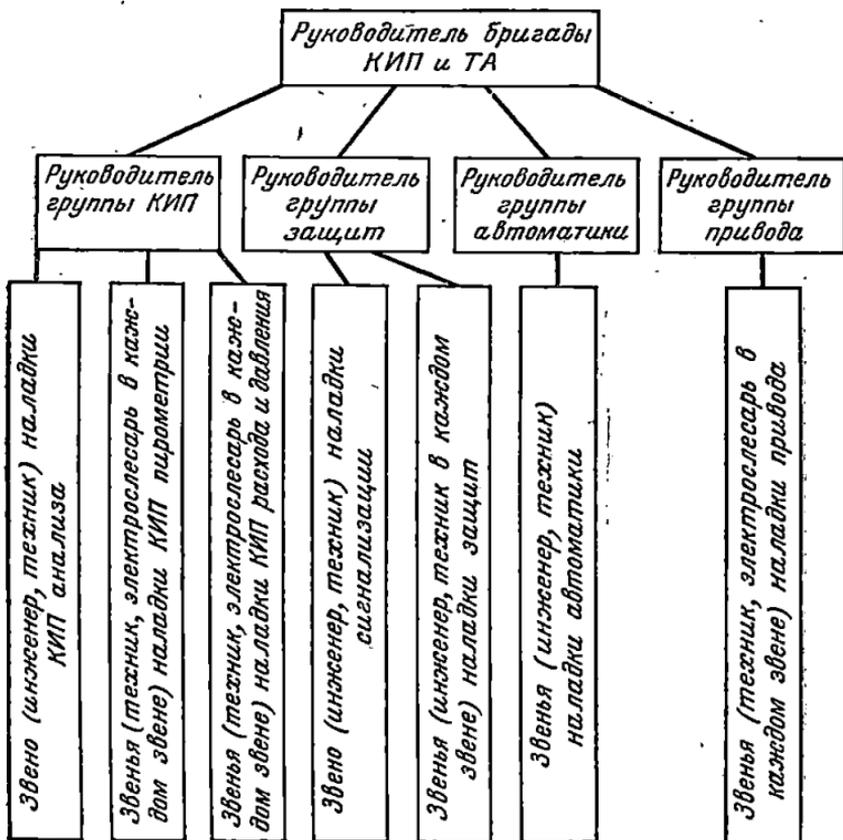


Рис. 1-2. Структура бригады наладки КИПиТА на объекте.

Группы на объекте распределяются, как правило, по видам работ, а звенья в группах — по отдельным узлам. Например, в группе, выполняющей наладку технологических защит на блоке 300 МВт с двухкорпусным котлом, одно звено выполняет наладку

Таблица 1-1

Аппаратура	Тип	Назначение
Насос Шинца	—	Проверка приборов уровня, расхода, давления до 2,5 кгс/см <sup>2</sup>
Насос Камовского	—	Проверка вакуумметров и приборов давления до 5 кгс/см <sup>2</sup>
Манометры образцовые	МО, класс точности 0,16	Проверка расходомеров
Прибор системы Петрова	ППР-2м	Проверка тягомеров, уровнемеров и расходомеров
Чашечный манометр	—	То же
Манометр грузопоршневой	МП-600	Проверка манометров
Манометр грузопоршневой	МП-60	То же
Комплект образцовых манометров и вакуумметров	МО, ВО	Проверка манометров и вакуумметров
Микроманометр	ММ-250	Проверка дифлягомеров
Переносный потенциометр постоянного тока	ПП-63	Проверка потенциометров и милливольтметров
Магазин сопротивлений шестидекадный рычажный	МСП-60	Проверка мостов, нормирующих преобразователей
Магазин сопротивлений семидекадный рычажный	МСП-63	То же и аппаратуры систем автоматического регулирования (САР)
Мост постоянного тока	МО-62	Проверка мостов, подгонка соединительных линий
Универсальный переносный прибор	УШИП-60М	Проверка потенциометров, мостов, милливольтметров, логометров
Комбинированный прибор	М1107	Проверка нормирующих преобразователей
Вибростенд калибровочный электромагнитный	ВКЭ-1	Проверка приборов контроля вибрации
Тахометр ручной	ИО-10	Проверка тахометров
Индикатор перемещения часовой	КИ (пределы измерения 0—10 мм)	Наладка приборов контроля осевого сдвига и относительного перемещения ротора турбины

Продолжение табл. 1-1

Аппаратура	Тип	Назначение
Измерительно-пове- рочная установка	ИПУ-01М	Проверка усилителей, вибропреобразователей
Потенциометр высоко- омный	ПНТВ-1, Р-307, Р37/1	Проверка рН-метров
Имитатор электродной системы	И-01	» »
Установка для провер- ки комплекта контроля искривления вала турби- ны	Конструк- ция ЛМЗ	Наладка устройства контро- ля искривления вала
Стенд для проверки приборов авторегулиро- вания	СПА	Наладка аппаратуры САР
Вольтметр ламповый переменного тока	ВЗ-13	» » »
Вольтметр ламповый комбинированный	ВК7-9 или ВК7-13	Наладка аппаратуры САР
Секундомер электриче- ский	П-14М	Проверка аппаратуры САР, реле времени, провер- ка электромагнитных интег- раторов
Быстродействующий регистрирующий прибор	Н-326/3	Наладка САР
Ампервольтметр	Ц-4312	Контроль тока, напряже- ния, сопротивления
Мост малогабаритный	ММВ	Измерение сопротивлений соединительных линий, об- моток электромагнитов и др.
Омметр	М-57	Контроль электрических цепей
Мегомметр	—	Проверка изоляции
Лабораторный авто- трансформатор	ЛАТР-9А	В комплекте с ТР 220/12 В проверка автоматов питания типа АП-50
Трансформатор одно- фазный 220/127 В	ТЭС, ТОС	Подключение приборов с напряжением питания 127 В
Сетевой выпрямитель	СВ-4М	Проверка логометров
Реостат	Сопротивле- ние 1 000 Ом, ток 0,3 А	Проверка реле напряже- ния
Установка для провер- ки защит	УПЗ	Проверка реле напряже- ния, токовых реле, реле вре- мени

Продолжение табл. 1-1

Аппаратура	Тип	Назначение
Клепцы токоизмерительные	Ц-91	Контроль тока двигателей электрифицированной арматуры
Нутромер	—	Контроль размеров сужающих устройств
Штангенциркуль Щуп	Набор № 2 и 3	То же Контроль установочных зазоров датчиков контроля осевого сдвига и др.

защит первого корпуса, другое — защит второго корпуса, следующее — защит турбины и блока. Количество звеньев и численный состав бригады определяются объемом каждого вида работ.

Каждое звено в составе 2—3 чел. обычно выполняет один из следующих объемов пусконаладочных работ:

- 1) 40—50 комплектов КИП;
- 2) 30—35 единиц электрифицированных приводов;

3) комплект технологических защит (защита корпуса, блока, турбины или два—три участка технологической сигнализации);

- 4) 3—5 комплектов регуляторов.

Средний численный состав бригады для наладки КИПиТА блока 300 МВт составляет 50—60 чел. Подготовка и квалификация персонала должна предусматривать возможность взаимной замены исполнителей.

Обязанности руководителей бригад и групп такие же, как и в бригадах по наладке электрооборудования [Л. 1].

Бригада обеспечивается контрольно-измерительной аппаратурой, приборами, приспособлениями, специальным инструментом для наладки устройств КИПиТА, примерный перечень которых приведен в табл. 1-1.

Количество приборов определяется объемом работ и количеством организованных рабочих мест на объекте.

Каждый наладчик должен иметь личный комплект инструмента: ключи гаечные, напильники, пинцеты, кусачки, плоскогубцы и круглогубцы разные, набор отверток, в том числе специальный для вторичных цепей, паяльник, комплект инструмента для ревизии КИП и др.

Бригада на объекте должна иметь полный набор инструкций, таблиц, методических указаний, директивных материалов.

### 1-3. ПОДГОТОВКА РАБОТ НА ОБЪЕКТЕ

Для предварительной проверки КИП организуется лаборатория. Перечень оборудования, которым оснащается такая лаборатория, приведен в [Л. 1]. В лаборатории оборудуются несколько

рабочих мест для проверки и наладки устройств КИПиТА. В табл. 1-2 приведено ориентировочное количество рабочих мест в зависимости от мощности наладиваемых агрегатов.

Таблица 1-2

Аппаратура	Количество рабочих мест при мощности блока		
	до 100 МВт	150—200 МВт	300 МВт
Датчики авторегуляторов	1	1	2
Регулирующая аппаратура	1	2	3
Комплекты расходомеров и уровнемеров	2	3	4
Манометры	1	2	2
Мосты и потенциометры	2	3	3
Релейная аппаратура	1	2	2

Перед началом работ заказчик предоставляет руководителю наладочных работ следующую техническую документацию:

1. Полный комплект заводской и проектной документации (количество экземпляров указывается в договоре).

2. Перечень КИП, электроприводов запорной и регулирующей арматуры, автоматических регуляторов, устройств защиты и сигнализации, необходимых для проведения операций по пуску тепло-механического оборудования (химические промывки, обкатка механизмов, продувка паропроводов, паровое опробование котла, пуск турбины на холостом ходу), а также для комплексного опробования оборудования под нагрузкой, составляется технологическими цехами и утверждается пусковой комиссией до начала пуско-наладочных работ.

3. Карты уставок срабатывания технологических защит, блокировок, технологической сигнализации, устройств АВР, а также карту параметров, поддерживаемых автоматическими регуляторами.

#### 1-4. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ НАЛАДКИ КИПиТА

Работы по наладке устройств КИПиТА подразделяются на следующие основные этапы:

- 1) анализ проектной и заводской документации;
- 2) лабораторная поверка КИП, проверка и настройка аппаратуры авторегуляторов, технологических защит, сигнализации, подготовка КИП для метрологической поверки;
- 3) проверка качества монтажа механической и электрической части средств контроля, регулирования, защит и сигнализации;
- 4) наладка и опробование дистанционного управления запорной и регулирующей арматурой, средств контроля, регулирования, защиты и сигнализации;

б) правильность выбора аппаратуры регулирования защит и сигнализации;

в) правильность размещения щитов, пультов и других элементов автоматического управления;

г) возможность демонтажа любого из вторичных электронных приборов без отключения остальных, установленных на панели;

д) соответствие условий установки аппаратуры требованиям заводов-изготовителей.

В некоторых случаях для наиболее разветвленных и сложных схем защиты и автоматики по требованию заказчика составляются *развернутые принципиально-монтажные схемы*. Эта работа выполняется по принципиальным и монтажным электрическим схемам проекта при их сверке.

По составлению развернутых принципиально-монтажных схем (рис. 1-3) можно дать следующие рекомендации:

1. Схемы выполняют до начала проверки монтажа на стандартных форматках шириной 297 и длиной 420 мм с увеличением длины на 210, 420, 630 мм и т. д. (размеры листа должны соответствовать ГОСТ 2.301-68).

2. Применяют обозначения, строго соответствующие ГОСТ 2.721-68 и 2.747-68.

3. Добиваются компактности с минимальным числом пересечений линий; развернутую схему шин питания и других многоцепных узлов одного индекса для этого выполняют отдельно; при этом элементы схемы (обмотки, контакты, реле и т. д.) размещают в том же порядке, как на монтажно-коммутационных схемах; расстояние между параллельными цепями удобно принимать равным 10 мм, оно увеличивается до 15 мм, если между цепями вписываются элементы реле, ключей, приборы и т. д.

4. Кабели обычно изображают сплошной утолщенной линией длиной 15—20 мм.

5. Номера зажимов располагают над обозначающими их условными знаками; номер панели, щита, пульта — под знаком, обозначающим зажимы; марка электрической цепи пишется над линией, изображающей эту цепь или кабель; номер кабеля — под изображающей его линией.

6. На схеме изображаются все контакты реле. При наличии контактов, не использованных в данной схеме, они изображаются отдельно, с указанием их назначения.

7. Для устройств, имеющих идентичные принципиальные и монтажные схемы, развернутую схему достаточно составлять только для одного из них; для остальных устройств обозначения даются в таблице применяемости.

Замечания и рекомендации по принципиальным проектным схемам в письменном виде за подписью руководителя наладочной организации передаются на утверждение заказчику и проектной организации за 4—5 мес. до пуска блока.

Замечания по монтажно-коммутационным схемам в письменном виде за подписью руководителя наладочной бригады передаются представителю группы рабочего проектирования на объекте для внесения исправлений в чертежи. Эта работа должна быть завершена до начала монтажных работ с целью исключения монтажных переделок.



Лабораторная поверка КИП и проверка аппаратуры авторегуляторов, технологических защит, сигнализации, электрифицированного привода. Монтируемые КИП и аппаратура технологической автоматикой должны быть пригодны к эксплуатации. Пригодность КИП к эксплуатации устанавливается в результате метрологической проверки. Перед предъявлением КИП в метрологическую поверку производится их лабораторная поверка (§ 3-1). Назначением лабораторной поверки КИП является выявление дефектов, которые могли возникнуть в результате транспортировки и хранения приборов, а также подготовка их к монтажу и эксплуатации.

Пригодность аппаратуры технологической автоматикой и защит к эксплуатации определяется по результатам ее проверки, устанавливающей соответствие технических характеристик аппаратуры данным завода-изготовителя. Такой проверке подлежат датчики и электронная аппаратура авторегуляторов, релейно-контакторная аппаратура, автоматы электропитания, электромагнитные приводы, реле давления, табло сигнализации со встроенными реле. Проверку промежуточных и сигнальных реле, а также электромагнитных приводов можно производить на месте их монтажа.

Результаты проверок аппаратуры автоматикой и защит оформляются протоколами. В приложении 10 приведен протокол проверки защит турбины.

*Проверка релейно-контакторной аппаратуры* (электромеханических реле, контакторов, электромагнитных приводов, реле напряжения, времени, промежуточных и сигнальных) включает в себя: а) внешний осмотр; б) ревизию и регулировку механической части; в) проверку состояния изоляции; г) измерение сопротивлений постоянному току (только для электромагнитных приводов); д) измерение напряжения (тока) срабатывания и возврата.

В автоматах электропитания проверяется действие электромагнитного и теплового расцепителей. В автоматах, используемых в схемах защит, тепловой элемент исключается. В автоматах, защищающих двигатели, тепловой расцепитель настраивается в зависимости от номинального тока двигателя  $I_{н.д.}$ . Тепловой расцепитель должен срабатывать при токе, равном  $6I_{н.д.}$  через 4,5—6 с. Ток срабатывания электромагнитного расцепителя должен быть не более  $(10—11) I_{н.д.}$

*Проверку реле давления масла в системе смазки турбины, вакуумного реле и других датчиков прямого действия* проводят в следующей последовательности:

а) внешний осмотр; б) проверка на плотность; в) проверка изоляции контактов; г) настройка срабатывания при заданной установке.

Особенно тщательно проверяется плотность в раземе и нижнем ограничительном винте реле давления Уральского турбомоторного завода (УТЗ). Для обеспечения выпуска воздуха из верхней части сильфонной камеры этого реле желательно предусмотреть дроссель  $\mathcal{Z}$  с внутренним диаметром 1 мм (рис. 1-4), через который осуществляется постоянный дренаж масла из реле в линию слива.

Аппаратура КИПиТА, подлежащая наладке, доставляется со склада предприятия в лабораторию наладочной бригады силами

монтажной организации или заказчика. После распаковки и внешнего осмотра аппаратура передается в наладку.

Контрольно-измерительные приборы принимаются в наладку комплектно (диафрагма, первичный прибор, вторичный прибор) со всей технической документацией. Вварные сужающие устройства в лабораторию не доставляются. Крепежные детали, накидные гайки, штенсельные разъемы к датчикам, за исключением необходимого для лабораторной проверки количества, остаются в монтажной организации.

При приемке аппаратуры внешним осмотром проверяется:

1) отсутствие видимых дефектов; 2) соответствие аппаратуры проектной спецификации; 3) комплектность аппаратуры согласно проектной спецификации и комплектовочным ведомостям; 4) наличие заводской технической документации (инструкций, паспортов, выпускных аттестатов на комплект прибора и др.); 5) наличие запасных частей, принадлежностей, приспособлений, инструмента согласно перечню завода-изготовителя.

О всех дефектах приборов и оборудования, обнаруженных при приемке и лабораторной проверке, наладочная организация сообщает заказчику и при необходимости совместно с ним составляет акт дефектов для предъявления рекламации завода-изготовителя.

Контрольно-измерительные приборы, прошедшие лабораторную проверку, предъявляются в метрологическую проверку (§ 3-2). Вопросы, связанные с проведением метрологической проверки: вызов госповерителя, расчеты за госповерку, обеспечение госповерителя образцовыми приборами, транспортировку КИП в лабораторию государственного надзора — решает заказчик.

Контрольно-измерительные приборы, признанные пригодными к эксплуатации и допущенные к монтажу, подготавливаются к последующей переноске (перевозке) на место монтажа. Для этого подвижные устройства приборов фиксируются в неподвижном положении с помощью арретиров, а присоединительные устройства защищаются от попадания в них влаги, пыли и грязи.

По мере завершения монтажных и наладочных работ производится *поузловая приемка устройств КИПиТА*. Поузловую приемку из монтажа в наладку и из наладки в эксплуатацию осуществляет приемочная комиссия, в состав которой входят представители цеха КИПиТА; цеха, эксплуатирующего соответствующее технологическое оборудование; монтажной организации; специализированной наладочной организации.

Передача приборов и устройств из монтажа в наладку фиксируется в специальном журнале, пример формы которого дан в [Л. 1].

**Проверка качества монтажа.** При проверке качества монтажа исходными требованиями директивных материалов [Л. 23, 25 и 27]

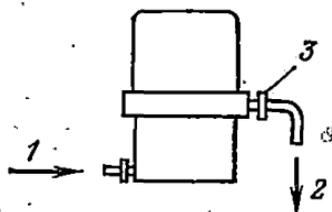


Рис. 1-4. Установка реле давления масла конструкции УТЗ.

1 — напорная линия; 2 — линия слива; 3 — дроссель.

264053

SURXONDARYO VILOYATI

KUTUBXONA MARKAZI

Сурхандаръи

Kei. № 566

ОБЛАСТНАЯ БИБЛИОТЕКА

200

г. Термеза

и заводских монтажно-эксплуатационных инструкций на аппаратуру.

Правильность установки отборных и сужающих устройств проверяется специалистами заказчика с участием представителя организации, монтирующей приборы и средства автоматизации. При этом обращается внимание на выполнение следующих требований:

а) давление и разрежение должны измеряться на прямолинейных участках трубопроводов;

б) сужающие устройства расходомеров должны быть установлены в соответствии с [Л. 33];

в) каждый датчик должен иметь отдельное отборное устройство с установкой первичных вентилей непосредственно за местом отбора импульса;

г) отбор импульса для реле давления масла в системе смазки подшипников, применяемого в схеме защит, должен быть взят у подшипника, наиболее удаленного от напорной магистрали;

д) врезка отборного устройства для вакуум-реле турбины должна производиться в нижней части горловины конденсатора.

При проверке правильности монтажа импульсных линий обращают особое внимание на выполнение следующих требований:

а) все импульсные линии в местах подключения к датчикам должны иметь продувочные вентили с отводом в дренажную систему;

б) импульсные линии к датчикам должны прокладываться вдали от горячих трубопроводов и от линий, подвергающихся периодической горячей продувке;

в) импульсные линии, подводящие масло к реле давления, должны иметь длину не более 8 м и диаметр не менее 12 мм; для проверок срабатывания реле давления масла и вакуумного реле должны быть предусмотрены вентили 3, 6 (рис. 1-5);

г) импульсные линии манометров и датчиков расхода мазута должны выполняться максимально короткими, диаметром не менее 25—20 мм.

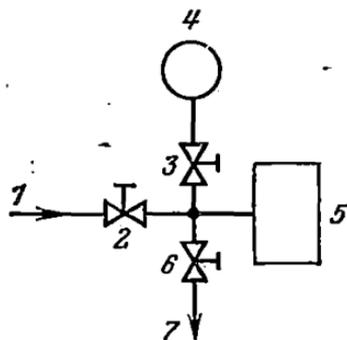
Рис. 1-5. Подключение реле давления масла и вакуумного реле.

1 — входная линия; 2, 3, 6 — вентили; 4 — контрольный манометр; 5 — реле; 7 — выход в сливную линию (для реле давления масла) или в атмосферу (для вакуумного реле).

При проверке правильности установки датчиков обращают особое внимание на следующие требования заводов-изготовителей:

а) датчики типа ДМ должны устанавливаться в местах, удобных для обслуживания, с температурой окружающей среды не ниже  $+5^{\circ}\text{C}$  и не выше  $+50^{\circ}\text{C}$ ;

б) фоторезисторы автоматов подхвата факела котла должны устанавливаться в специальных тубусах, направленных на ядро факела,



При проверке качества монтажа регулирующей и запорной арматуры, привода к ней, сочленений с регулирующими органами обращают внимание на следующее:

а) мощность привода должна соответствовать крутящему моменту, необходимому для перемещения регулирующей и запорной арматуры;

б) должны быть произведены ревизия регулирующих органов, измерения действительного проходного сечения и рабочего хода клапана, проверка правильности его сборки;

в) должен быть произведен поверочный расчет расходной характеристики клапана, а в случае неудовлетворительной характеристики рассчитано новое сечение, проверено наличие смазки в редукторах, соответствие перемещения арматуры и механизма переключения концевых выключателей;

г) сочленение привода с регулирующим органом должно обеспечивать соответствие направлений перемещения, а также полных ходов привода и регулирующего органа;

д) в сочленениях не должно быть люфтов (для колонок дистанционного управления типа (КДУ) допускается люфт не более  $\frac{1}{8}$  оборота штурвала).

При проверке монтажа электрической части определяется качество прокладки кабельных трасс; коммутации в панелях, релейных шкафах, сборках задвижек; соответствие ключей, переключателей, релейно-коммутационной аппаратуры проекту; качество изоляции кабельных связей и коммутации панелей.

Особое внимание обращается на наличие маркировки кабелей и их жил, правильность прокладки и разделки, прочность крепления аппаратуры. Слаботочные цепи (от датчиков вибрации, от термомар к приборам и регуляторам температуры, от датчика контроля искривления ротора и др.) должны выполняться отдельными экранированными кабелями.

Кабельные связи и коммутация в панелях, шкафах, сборках проверяются по выверенным монтажно-коммутационным схемам и монтажным схемам рядов зажимов или по развернутым принципиально-монтажным схемам, если они составлялись. При этом уточняются схема и выполнение ее монтажа. Правильность монтажа электрических цепей проверяется последовательным отключением и прозвонкой каждой из них методами, изложенными в [Л. 1].

Проверка качества изоляции электрических цепей и аппаратуры производится с помощью мегомметров.

Номинальное напряжение мегомметра, используемого для измерения сопротивления изоляции токоведущих частей КИП, не должно превышать более чем в  $\sqrt{2}$  раз испытательное напряжение, приведенное в табл. 4-3.

Сопротивление изоляции измеряется между всеми жилами электрически не связанных проводов прибора, а также между каждой жилой и металлическим корпусом прибора. Сопротивление изоляции цепей вторичных приборов относительно корпуса и между собой для приборов с электрическими или электроизмерительными устройствами должно быть не менее 20 МОм; требования к сопротивлению изоляции первичных приборов приведены в § 4-2.

Таблица 1-3

Цепи вторичных приборов	Испытательное напряжение, В *, переменного тока 50 Гц
Силовая — корпус	1 500
Измерительная — корпус	500
Силовая — измерительная и прочие электрические цепи	1 500
Измерительная — прочие цепи и прочие цепи — корпус	500 **; 1 500 ***

\* При температуре  $20 \pm 5$  °С и относительной влажности не более 80%.

\*\* При напряжении питания прочих цепей до 99 В.

\*\*\* При напряжении питания прочих цепей 100 В и выше.

Напряжение мегомметра при измерении сопротивления изоляции для силовых электропроводок в помещениях всех классов должно быть [Л. 27] равным 1 000 В, для электропроводок во взрывоопасных помещениях всех классов и пожароопасных класса П 1000 В, для остальных электропроводок 500 В. Сопротивление изоляции электропроводок должно соответствовать требованиям заводов-изготовителей приборов и должно быть не менее 1 МОм. (К взрывоопасным помещениям относятся электролизерные установки, газораспределительные пункты и др.)

Сопротивление изоляции электропроводок, рассчитанных на рабочее напряжение 60 В и ниже, должно быть не ниже 0,5 МОм [Л. 2]. Требования к сопротивлению изоляции электропроводок для приборов газового анализа, качества воды и пара приведены в § 6-2 и 6-3.

При проверке изоляции цепей в собранной схеме напряжение мегомметра не должно превышать напряжения, регламентированного для самого слабого по изоляции элемента схемы. Сопротивление изоляции всех цепей одного присоединения в собранной схеме не должно быть ниже 1 МОм, в противном случае производится сушка горячим воздухом увлажненных элементов схемы или их замена.

При проверке качества изоляции строго соблюдаются требования «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок электрических станций и подстанций» [Л. 29].

**Опробование КИПиТА.** Опробование средств контроля, регулирования, защиты и дистанционного управления запорной и регулирующей арматуры производится как завершающая часть наладочных работ на неработающем оборудовании.

При опробовании контрольно-измерительных приборов проверяются фазировка датчика (если это возможно) и работоспособность контактных групп в схемах сигнализации и защит.

При опробовании регуляторов проверяется действие задатчика и воздействие его на регулирующий орган (перемещение задатчика

по часовой стрелке должно вызывать перемещение привода, соответствующее увеличению регулирующего параметра); производится наладка синхронизации хода двух приводов одним регулятором.

**Опробование защит** производится в два этапа.

1. *Опробование работоспособности* схемы защит производится при напряжении питания, равном 80% номинального. При этом проверяется правильность взаимодействия элементов схемы путем имитации работы контактов реле, вторичных приборов или датчиков прямого действия в комбинациях, предусмотренных схемой защиты; особое внимание обращается на надежность срабатывания и замыкания контактов реле.

2. *Комплексное опробование защит* производится по программе, утвержденной главным инженером станции, с воздействием выходных реле на исполнительные органы в соответствии с техническими условиями.

Пример программы испытаний защит приведен в [Л. 31].

При опробовании управления запорной и регулирующей арматуры проверяют соответствие направления вращения привода поданной команде; действие концевых выключателей, цепей защит и блокировок; правильность сигнализации положения привода. Для привода регулирующей арматуры дополнительно проверяют воздействие от регулирующего прибора, действие путевых выключателей и электрических тормозов, настраивают указатель положения (УП) на полный ход клапана.

Сдача устройств КИПиТА в эксплуатацию. Согласно [Л. 23] наладочная организация после окончания работ передает эксплуатацию: структурные схемы защит, протоколы лабораторной проверки устройств автоматического управления и защит; исполнительные схемы защит, автоматических регуляторов, контрольно-измерительных приборов, сигнализации и дистанционного управления; инструкции по эксплуатации средств контроля и управления; карты настройки регуляторов. Результаты проверки и испытаний заносятся в протоколы, примеры форм которых приведены в приложении 10.

Премо-сдаточные испытания, как правило, проводятся в объеме рассмотренного выше опробования и во многих случаях совмещаются с ним.

В постоянную эксплуатацию передаются средства контроля, привод запорной и регулирующей арматуры, авторегуляторы, не требующие режимных испытаний, устройства защиты, сигнализации, включенные в работу при комплексном 72-часовом опробовании оборудования. Сложные авторегуляторы, требующие проведения специальных режимных испытаний, до проведения испытаний сдаются во временную эксплуатацию.

## 1-5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При производстве пусконаладочных работ наладочный персонал обязан руководствоваться Правилами техники безопасности (ПТБ). Весь наладочный персонал должен изучить «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок электриче-

ских станций и подстанций», «Правила техники безопасности при обслуживании теплосилового оборудования электростанций» и знать соответствующие разделы этих Правил. Мероприятия по обеспечению безопасного выполнения пусконаладочных работ приведены в [Л. 1].

Наладка технологических защит, контрольно-измерительных приборов, электрифицированного привода арматуры часто производится без снятия напряжения, поэтому при производстве работ в таких условиях необходимо обеспечить мероприятия, исключаящие случайное прикосновение к токоведущим частям.

Особое внимание необходимо уделять правилам работы с ртутными приборами. Правила обращения с ртутными приборами, требования к оборудованию помещений, правила личной гигиены приведены в [Л. 30]. Работа с прибором системы Петрова (ППР-2) в обычном помещении допустима лишь при обеспечении мероприятий, исключаящих расстекание ртути при случайном ее выбросе из прибора (установка прибора в специальный лоток и др.).

Лица, ведущие наладочные работы на арматуре и отборных устройствах, находящихся на действующем газопроводе, должны иметь специальный допуск на работы в газовом хозяйстве.

## РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

### КРАТКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ОБЩИМ УЗЛАМ ВТОРИЧНЫХ КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

#### 2-1. УСИЛИТЕЛИ

Усилитель состоит из следующих основных каскадов:

- 1) входного каскада;
- 2) каскада усилителя напряжения;
- 3) каскада усилителя мощности;
- 4) силового трансформатора.

Технические характеристики электронных усилителей, применяемых во вторичных автоматических приборах, приведены в табл. 2-1; полупроводниковых усилителей в табл. 2-2.

Цифры в табл. 2-1 и 2-2 после буквенного обозначения типа усилителя обозначают индекс модификации усилителя: первая из них указывает на род тока, подаваемого на вход усилителя (цифра 1 обозначает постоянный ток, цифра 2 обозначает переменный ток), остальные две цифры индекса указывают на наличие отличительных элементов схемы и конструкции усилителя.

Буквенное обозначение, следующее за индексом модификации усилителя, обозначает различие в обмоточных данных силового трансформатора или в других элементах электрической схемы. Так, например, буква Р свидетельствует о наличии вывода силового трансформатора для регулирующего устройства (ЗВ); буква И

Таблица 2-1

## Электронные усилители для автоматических вторичных приборов

Тип усилителя	Порог чувствительности не более, мкВ	Смещение нуля не более, мкВ	Напряжение сети переменного тока, В	Потребляемая мощность не более, В · А	Входной каскад	Типы электронных ламп		Применяется в приборах типа
						Усилитель напряжения	Усилитель мощности	
<i>Усилители с свободным напряжением постоянного тока</i>								
УЭ-109	3	20	220	50	ВП, ВТ	6Н9С	6Н7С	ЭП-09МЗ, ЭМП-09МЗ
УЭ-119	3	20	220	50	ВП, ВТ	6Н9С	6П6С	То же при $t_{ук} = 1$ с
УЭУ-109	2	45	127, 220	50	ВП, ВТ	6Н2П	6Н1П	ЭП-120, ЭМП-120
УЭУ-109М	40	40	127, 220	35	ВП, ВТ	6Н2П	6Н6П	ЭП-09МЗ, ЭМП-09МЗ
УЭД1-02	1	2	220	25	ВП, ВТ	6Н2П	6П1П	КСЛ4
УЭД1-03	40	40						
УЭД1-04	100	50	127, 220	20	ВП, ВТ	6Н2П	6Н6П	ПП4, ПСМ2
УЭД1-05	100	100						
УЭМ-111	3	20	127, 220	50	ВП, ВТ	6Н2П	6Н1П	ПС1, ЭПВ2, ЭМВ2
УМ-109	3	20	127, 220	50	ВП, ВТ	6Н2П	6Н1П	ПСР1 с блокировкой сигнала
УЭМ-102	3	20	127, 220	50	ВП, ВТ	6Н2П	6Н1П	
<i>Усилители с свободным напряжением переменного тока 50 Гц</i>								
УЭ-219	5	20	220	50	ВТ	6Н9С	6Н7С	ЭМП-09МЗ
УЭУ-209	2	15	127, 220	50	ВТ	6Н2П	6Н1П	ЭМП-120, ЭПИД
УЭУ-209М1	40	40	127, 220	35	ВТ	6Н2П	6Н6П	ЭМП-09МЗ
УЭУ-209М2	2	45	127, 220	35	ВТ	6Н2П	6Н6П	То же
УЭУ-259	80	400	127	50	МН, ВТ	6Н2П	6Н1П	ЭМДС-26

Продолжение табл. 2-1

Тип усилителя	Порог чувствительности не более, мкВ	Смещение нуля не более, мкВ	Напряжения сети переменного тока, В	Потребляемая мощность не более, В · А	Входной каскад	Типы электронных ламп		Применяется в приборах типа
						Усилитель напряжения	Усилитель мощности	
УЭД2-02	1	2	220	25	ВТ	6Н2П	6П1П	КСМ4
УЭД2-03	40	40						
УЭД2-04	100	50						МП4, МСМ2 МС1, ЭМВ2
УЭД2-05	100	400						
УЭМ-212	5	20	127	20	ВТ	6Н2П	6Н6П	МСР1-109, МСР1-110, МСР1-111
УМ-239	3	20	127, 220	50	ВТ	6Н2П и нелиней- ный эле- мент	6Н4П (6Н6П) *	
УЭМ-071	3	20	127, 220	50	ВТ	6Н2П	6Н4П	ДП4, ДСМ2 МСИР, ДСМ2, ДП1, ДП4, МСМ2 ДС1, ЭИВ2
УЭМ-213	70	300	127	20	ВТ	6Н2П	6Н6П	
УЭМ-259В	70	300	127	20	ВТ	6Н2П	6Н4П	ДС1 с интегратором
УМ-249	200	1 000	127, 220	50	—	6Н2П	6Н4П (6Н6П) *	
УМ-249И	200	1 000	127, 220	50	—	6Н2П	6Н6П	

\* В скобках указаны электронные лампы для приборов со временем прохождения указателям всей шкалы  $t_{\text{ук}} = 2,5$  с.  
 П р и м е ч а н и е: Буквенное обозначение усилителей: УЭ — усилитель электронный; УЭУ — усилитель электронный; УЭУ — усилитель электронный унифицированный; УЛ — усилитель модернизированный.

(усилители, применяемые для работы с интегратором) свидетельствует о наличии вывода для электромагнитной муфты (28 В). Буква И может означать также искробезопасное исполнение входных цепей усилителя. Буква М обозначает модернизированный усилитель и т. д.

Таблица 2-2

**Полупроводниковые усилители  
для автоматических вторичных приборов**

Тип усилителя	Порог чувствительности не более, мкВ	Смещение нуля не более, мкВ	Полное входное сопротивление не менее, Ом	Входной каскад	Применяется в приборах-
---------------	--------------------------------------	-----------------------------	---	----------------	-------------------------

*Усилители с сходным напряжением постоянного тока*

УПД1-03	10	10	500	ВП, ВТ	Потенциометры КСП2 и др.; мосты постоянного тока
УПД1-04	100	100	500	ВП, ВТ	
УПД1-05	100	100	10 <sup>3</sup>	ВП, ВТ	

*Усилители с сходным напряжением переменного тока 50 Гц*

УПД2-03	10	10	500	ВТ	Мосты переменного тока КСМ2 и др.
УПД2-04	100	100	500	ВТ	
УПД2-05	100	100	10 <sup>3</sup>	ВТ	
УПД3-01	300	300	5 · 10 <sup>4</sup>	—	В приборах дифференциальной системы

**Примечания:** 1. Питание усилителей производится от сети переменного тока 220 В. Мощность, потребляемая от сети, не превышает 12 В · А. Выходная мощность 1,5 В · А. Нагрузкой усилителей является реверсивный двигатель РД-09И2.

2. В приборах типа ВМД применяется полупроводниковый усилитель типа УП, питаемый от сети переменного тока 127 или 220 В. Нагрузкой усилителя является двигатель РД-09И.

**Порог чувствительности усилителя** определяется по ГОСТ 10788-64 практически как напряжение, численно равное алгебраической полуразности минимальных напряжений на входе усилителя, при которых реверсивный двигатель начинает безостановочно вращаться в разные стороны от положения равновесия. **Смещение нуля усилителя**, или уровень внутренних шумов основной частоты, приведенный ко входу усилителя, практически определяется как напряжение, численно равное алгебраической полусумме напряжений, определяющих порог чувствительности.

**Входной каскад усилителя** состоит из следующих узлов: вибропреобразователя ВП; входного трансформатора ВТ; нелинейного моста МН,

Принципиальная схема входного каскада усилителя с вибропреобразователем приведена на рис. 2-1.

Основные разновидности вибрационных преобразователей:

- а) вибропреобразователь типа ВП;
- б) малогабаритный вибропреобразователь с размыкающими контактами типа ВПМ2-3.

Сопротивление обмотки возбуждения постоянному току для вибропреобразователя типа ВП составляет 90—110 Ом (1 600 витков

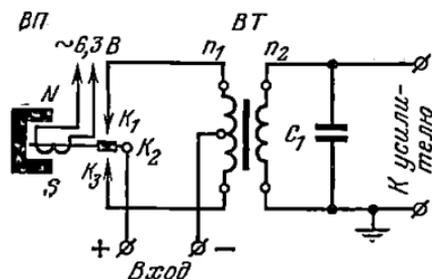


Рис. 2-1. Принципиальная схема входного каскада усилителя с вибропреобразователем.

ВП — вибропреобразователь; ВТ — входной трансформатор;  $K_1, K_2, K_3$  — контакты вибропреобразователя.

УЭ имеют также примерно пятнадцатикратное, типа УЭМ — десятикратное и типа УЭД — семнадцатикратное усиление по напряжению.

Входные трансформаторы усилителей, применяемых для приборов с дифференциально-трансформаторной схемой (УМ-259В), часто выходят из строя вследствие обрыва обмоток и особенно часто из-за обрыва во вторичной обмотке. Для исключения подобных случаев рекомендуется трансформаторный вход заменить резисторным (рис. 2-2). Сопротивление  $R = 20 \div 50$  кОм.

Таблица 2-3

Обмотка	Число витков	Диаметр провода, мм	Сопротивление обмотки постоянному току, Ом
Первичная I	600	0,1 (0,14)	74—80 (28—36)
Первичная II	600	0,1 (0,14)	74—80 (28—36)
Вторичная	9500	0,05	4 900—6 100

Нелинейный мост (в мостах типа ЭМДС-26) предназначен для изменения фазы входного напряжения на  $180^\circ$  в случае обрыва термометра сопротивления, что обеспечивает перемещение указателя

прибора к началу шкалы. Для этой же цели в мостах типа МСР1-109, МСР1-110, МСР1-111 в схему усилителя напряжения включен нелинейный элемент (стабилитрон Д-809).

Каскад усилителя напряжения в электронных усилителях состоит из двух или трех последовательно соединенных идентичных каскадов. Связь между каскадами осуществляется через переходные конденсаторы. Питание анодных цепей усилителя напряжения производится от силового трансформатора через ламповый или полупроводниковый выпрямитель.

В полупроводниковых усилителях усилитель напряжения состоит из трех или пяти каскадов, соединенных непосредственной связью. Питание усилителя напряжения производится через полупроводниковый выпрямитель.

Каскад усилителя мощности в электронных усилителях выполнен по двухтактной схеме. Аноды ламп усилителя питаются переменным током, ввиду чего усилитель мощности является одновременно

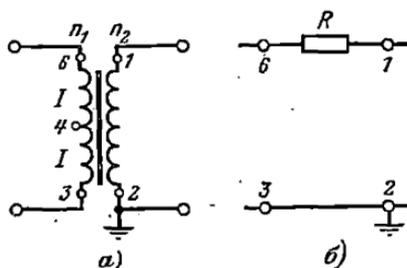


Рис. 2-2. Принципиальная схема входного каскада усилителя УМ-259В.

а — схема с входным трансформатором; б — схема с резисторным входом.

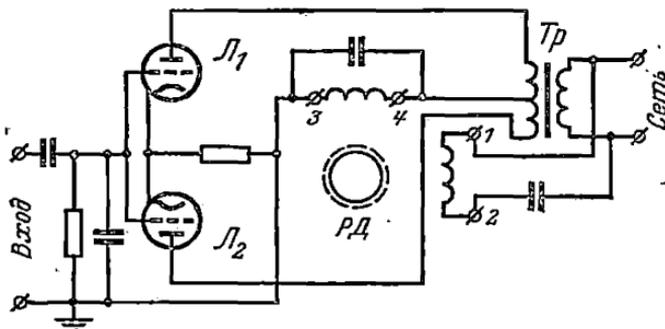


Рис. 2-3. Принципиальная схема усилителя мощности.

Tr — силовой трансформатор;  $L_1$ ;  $L_2$  — электронные лампы; РД — реверсивный электродвигатель.

и фазочувствительным каскадом. Нагрузкой каскада является обмотка управления реверсивного электродвигателя (рис. 2-3).

Связь усилителя мощности с усилителем напряжения в электронных усилителях производится через переходный конденсатор, в полупроводниковых усилителях — через переходный трансформатор.

Силовой трансформатор предназначен для питания всех элементов усилителя. По назначению различают следующие обмотки трансформатора: сетевую; для питания фазочувствительного каскада; для питания выпрямителя; для питания измерительной схемы; для питания цепей накала ламп, обмотки возбуждения вибропреобразователя; для питания сигнальной лампочки; для питания прочих дополнительных элементов прибора.

Таблица 2-4

Обмотка	Диаметр провода, мм	Сопротивление постоянному току, Ом (ориентировочно)
Сетевая на 127 В	0,3	50
Сетевая на 220 В	0,3	100
Питание анодов ламп	0,1—0,14	500—300
Питание цепей накала ламп	0,5—1,0	0,5—0,2
Питание измерительной цепи	0,3—0,4	10—5

В табл. 2-4 приведены ориентировочные значения сопротивлений обмоток в зависимости от их назначения. В табл. 2-5 приведены напряжения холостого хода на обмотках силового трансформатора для некоторых типов усилителей (в скобках указаны значения для различных выпусков усилителей). Нумерация обмоток дана согласно данным заводов-изготовителей. Обмоточные данные силовых трансформаторов усилителей УЭМ-102 и УЭМ-071 совпадают с обмоточными данными усилителя УМ-239.

## 2-2. СИЛОВАЯ СХЕМА

Силовая схема прибора включает в себя реверсивный и синхронный электродвигатели. Основные технические данные электродвигателей приведены в табл. 2-6.

В качестве реверсивных электродвигателей применяются однофазные конденсаторные асинхронные электродвигатели со встроенным редуктором. Рабочее положение вала электродвигателя горизонтальное. Схема подключения электродвигателя к сети показана на рис. 2-4, а. Конденсатор  $C$  (1—2 мкФ) предназначен для создания сдвига фаз между током в обмотке возбуждения  $I_1$  и током в обмотке управления  $I_2$ . Взаимодействие токов  $I_1$  и  $I_2$  и созданных ими магнитных потоков приводит двигатель во вращение. Схема подключения электродвигателя при работе с усилителем прибора показана на рис. 2-4, б. Здесь конденсатор  $C_1$ , подключенный параллельно управляющей обмотке электродвигателя, предназначен для фильтрации высших гармоник тока  $I_2$ , обусловленных фазовыми сдвигами в усилительном и преобразовательном каскаде; конденсатор  $C_2$  предназначен для сдвига фаз,

Таблица 2-5

Номер обмотки	Напряжение х. х. на обмотках, В, для усилителей типа							
	УЭ-109, УЭ-119, УЭ-219	УЭУ-109, УЭУ-109М, УЭУ-209М	УЭУ-259	УЭМ-111, УЭМ-212, УЭМ-213	УМ-109, УМ-239, УМ-249, УМ-249И	УЭМ-259В	УПД	УЭД, УЭД2
I	220/127	127	127	127	127	127	220	220
II	2×317	93	—	2×170	93 (103)	160 (245)	6,3	Экран
III	317	Экран	Экран	160	Экран	250 (200)	63×2	195
IV	36,8	180	180	6,3	230	250 (200)	14×2	2×6,8
V	6,8	180	180	2×6,3	180	2×3,15 (6,3)	—	2×3,4
VI	6,8	180	180	20 (УЭМ-213)	180	24	—	Экран
VII	Экран	33	6,3	—	33 (модификация Р) 26 (модификация И)	—	—	6,8
VIII	—	6,7	6,3	—	6,8	—	—	Экран
IX	—	6,9	6,3	—	6,8 (УМ-239) 21 (УМ-249)	—	—	—
X и XI	—	—	—	—	2×3,4	—	—	—

Каждая обмотка электродвигателя состоит из четырех секций, образующих четыре полюса. Схема соединений секций обмоток

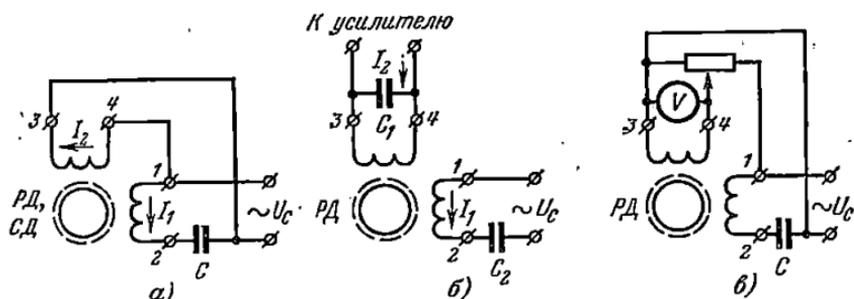


Рис. 2-4. Принципиальная схема включения электродвигателя.

а — схема подключения к сети; б — схема подключения к усилителю; в — схема проверки; РД, СД — реверсивный и синхронный электродвигатели.

полюсов электродвигателя РД-09 приведена на рис. 2-5. В электродвигателях РД-09П и РД-09П2, работающих с полупроводниковыми усилителями, секции обмотки управления соединены между собой параллельно. В табл. 2-7 приведены значения сопротивлений обмоток электродвигателей некоторых типов.

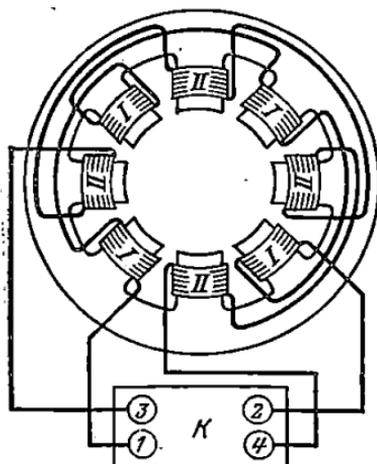


Рис. 2-5. Схема соединений секций обмоток полюсов электродвигателя РД-09.

К — колодка внешних соединений.

ческие двигатели типа ДСМ; двухполюсные гистерезисные двигатели типа СД-2, СД-60, ДСД2. Рабочее положение вала электродвигателя СД-54 горизонтальное, СД-09М — вертикальное, СД-09Л — любое,

Для четырехполюсных электродвигателей синхронная частота вращения равна 1 500 об/мин. Частота вращения ротора асинхронного электродвигателя типа РД-09 без нагрузки 1 200 об/мин. Редукция осуществляется с помощью набора кинематических пар согласно табл. 2-8. Общее число пар может быть от 2 до 6; общий коэффициент редукции  $i_{\text{общ}}$  от 1/6,25 до 1/670. Редукция реверсивного двигателя определяет быстрдействие прибора (наиболее распространены редукции 1/39,06 и 1/137).

В качестве синхронных электродвигателей применяются однофазные конденсаторные двигатели типа СД-54 (со встроенным редуктором) и СД-09; магнитоэлектри-

Таблица 2-6

Электродвигатель	Тип	Потребляемая мощность не более	Напряжение, В	Частота вращения выходного вала, об/мин
Однофазный реверсивный конденсаторный асинхронный	РД-09 (09А)*	14 В · А	127	Согласно табл. 2-8 То же » » 24—72 6
	РД-09П	14 В · А	127	
	РД-09П2	14 В · А	220	
	Д-32	12 В · А	127	
	Д-219	12 В · А	127	
Синхронный однофазный конденсаторный	СД-54	15 В · А	127	Согласно табл. 2-8 3 000 3 000
	СД-09М	50 Вт	127, 220	
	СД-09Л	40 Вт	220	
Синхронный магнитоэлектрический	ДСМ2	4 В · А	220	2
Синхронный двухполюсный гистерезисный	СД-2	15 В · А	127	2
	ДСД2	15 В · А	127	2
	СД-60	12 В · А	220	60

\* Буква А указывает на измененное положение осей редуктора относительно колодки зажимов.

Таблица 2-7

Обмотка	Сопротивление обмотки, Ом, для электродвигателей типа					
	СД-09	СД-54	РД-09	РД-09П	РД-09П2	Д-219
Обмотка возбуждения	90—110	560—580	560—580	560—580	450—500	500—580
Обмотка управления	90—110	560—580	560—580	12—15	4—5	560—580

Схема подключения конденсаторного синхронного электродвигателя к сети совпадает со схемой подключения реверсивного двигателя (рис. 2-4, а). Емкость  $C$  равна 1—4 мкФ в зависимости от типа электродвигателя.

Редукция синхронных двигателей СД-54 осуществляется аналогично реверсивным двигателям типа РД-09 (табл. 2-8). Для многоточечных приборов применяется первый вариант редуктора, для односточечных — седьмой вариант,

Таблица 2-8

## Варианты редукторов реверсивных и синхронных электродвигателей приборов

Вариант редуктора	Число кинематических пар с редукцией		$1/i_{\text{общ}}$	Частота вращения выходного вала, об/мин		Вращающий момент на выходном валу редуктора не менее, кгс · см	
	1/2,5	1/3,5		РД-09	СД-54	РД-09	СД-54
1	3	0	15,62	76,8	96	0,234	0,85
2	4	0	39,06	30,7	38,4	0,586	1,95
3	2	2	76,56	15,67	19,59	1,15	3,85
4	4	1	137	8,76	10,95	2,05	6,3
5	2	3	268	4,48	5,6	4,02	12,3
6	4	2	478	2,51	3,14	7,17	15
7	3	3	670	1,79	2,24	10,05	15
8	2	0	6,25	192	—	0,094	—

Таблица 2-9

## Характеристики сигнальных устройств

Тип сигнального устройства	Число указателей задачи	Логика сигнализации
<i>1. Одноточечные приборы</i>		
Одноконтактное	1	Много
Двухконтактное	1; 2	Много; мало
Трехконтактное	1; 2	Много; норма; мало
Трехконтактное	3	Много; мало (предупредительный, аварийный)
Четырехконтактное	2	Много (предупредительный, аварийный); мало (предупредительный, аварийный)
<i>2. Многоточечные приборы с сигнализацией</i>		
Одноконтактное	1	Много
Одноконтактное с блокировкой	1	Много
Двухконтактное	1	Много; мало
Двухконтактное	2	Много (предупредительный, аварийный)
Четырехконтактное с блокировкой предупредительного сигнала	4	Много (предупредительный, аварийный); мало (предупредительный, аварийный)

## 2-3. СИГНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Характеристики сигнальных устройств приведены в табл. 2-9. Диаграммы работы контактов сигнальных устройств показаны на рис. 2-6. Заштрихованная часть диаграммы соответствует замкнутому состоянию контактов. Область замкнутого состояния контакта определяется положением указателя задачи. В трехконтактном

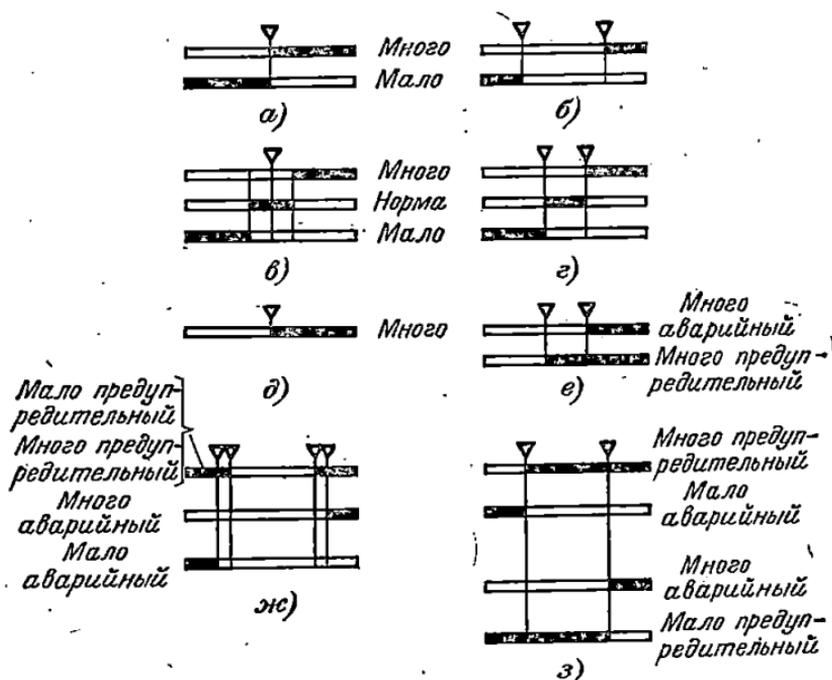


Рис. 2-6. Диаграмма работы контактов сигнальных устройств.

а — двухконтактное сигнальное устройство с одним указателем задачи (у. з.); б — двухконтактное с двумя у. з.; в — трехконтактное с одним у. з.; г — трехконтактное с двумя у. з.; д — одноконтактное с одним у. з.; е — двухконтактное с двумя у. з. для многоточечных приборов; ж — четырехконтактное с четырьмя у. з.; з — четырехконтактное с двумя у. з.

сигнальном устройстве с одним указателем задачи последний указывает середину зоны «норма».

В многоточечных приборах с общей для всех точек задачей различают схемы сигнализации с блокировкой сигнала (рис. 2-7) и без блокировки.

В сигнальном устройстве с блокировкой контакты самоблокирующегося реле непрерывно замкнуты, если хотя бы в одной из контролируемых точек измеряемая величина превышает допустимое значение. Съем сигнала производится вручную с помощью кнопки КС, расположенной на крышке прибора.

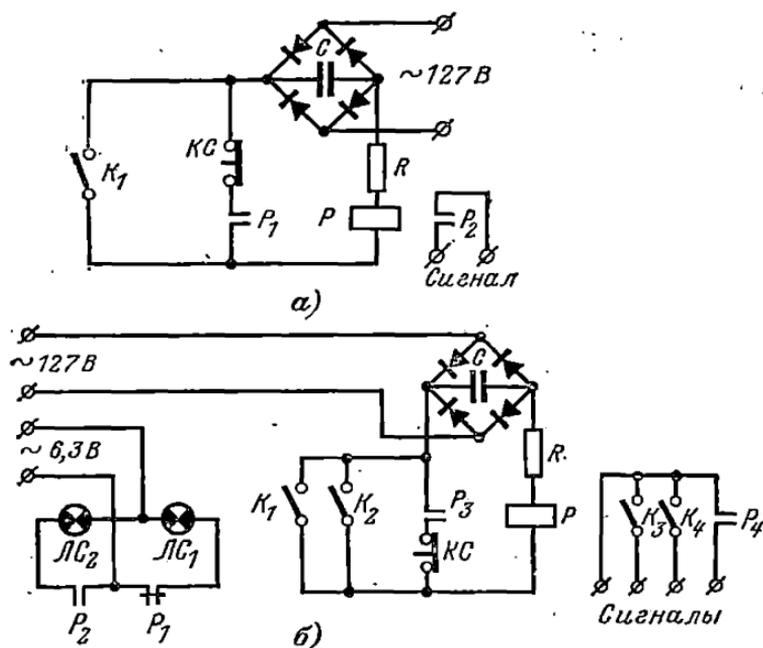


Рис. 2-7. Принципиальная схема сигнализации с блокировкой сигнала.

а — одноконтактное сигнальное устройство; б — четырехконтактное сигнальное устройство; КС — кнопка сброса сигнала; Р — реле;  $P_1 - P_4$  — контакты реле;  $K_1 - K_4$  — контакты прибора ( $K_1, K_2$  — предупредительные контакты «много», «мало»;  $K_3, K_4$  — аварийные контакты «много», «мало»); ЛС<sub>1</sub> — лампа сигнализации «норма»; ЛС<sub>2</sub> — лампа сигнализации «авария».

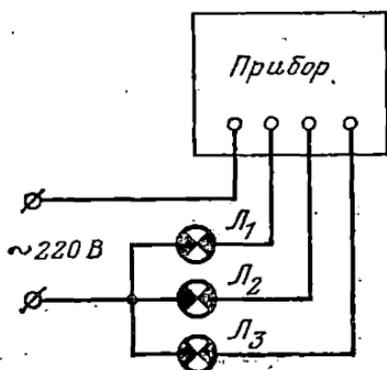


Рис. 2-8. Схема проверки срабатывания сигнальных устройств.

Мощность контактов сигнальных устройств приведена в табл. 2-10. Микропереключатели рассчитаны на разрыв переменного тока 3 А при 127 В или 1,5 А при 220 В и активной нагрузке и постоянного тока 0,4 А при 220 В. Контакты реле типа РМУГ, используемые в схемах с блокировкой сигнала, рассчитаны на разрыв переменного тока 1 А при 115 В (400 Гц) и постоянного тока 1 А при 27 В и 0,1 А при 300 В.

Таблица 2-10

Мощность контактов сигнальных устройств

Тип прибора	Постоянный ток				Переменный ток			
	Омическая нагрузка		Индуктивная нагрузка		Активная нагрузка		Индуктивная нагрузка	
	U, В	I, А	U, В	I, А	U, В	I, А	U, В	I, А
ЭПР-09МЗ, ЭМР-09МЗ	60	0,1	—	—	220	0,1	—	—
ПСР1, МСР1, ДСР1	—	—	—	—	127 220	3 1,5	—	—
ЭВ2, ЭМВ2, ЭИВ2	—	—	—	—	127 220	3 1,5	127	1,5
ППР4, МПР4, ДПР4, ПСМР2, МСМР2, ДСМР2	—	—	—	—	127 220	3 1,5	—	—
МСИР	110	0,05	—	—	—	—	—	—
ДПР1	110	0,2	—	—	—	—	—	—
КС2	30	1	—	—	220	1	—	—
КС4	30	0,5—4	30	0,5—2	220	3	220	2
ВМД	30 60	1 0,5	—	—	—	—	127 220	1 0,5
МР-64-02, ЛР-64-02	220	0,2	—	—	220	2	—	—

При наличии общих электрических цепей между контактами прибора, используемых в разных электрических схемах, необходимо произвести разделение цепей контактов прибора.

В приборах типа МСИР имеется блокировка — при открытой крышке прибора разрывается цепь сигнальной лампы прибора и замыкается цепь сигнала «много», что может привести к ложному срабатыванию сигнализации.

Настройка сигнальных устройств заключается в установке и фиксации указателей задачи в положения, соответствующие пре-

дельным значениям измеряемого параметра, и проверке срабатывания контактных устройств в момент совпадения указателя прибора с указателем задачи (для трехконтактного сигнального устройства одним указателем задачи в момент совпадения указателя прибора с границей зоны «норма»). Схема проверки приведена на рис. 2-8.

#### 2-4. ПРИБОРЫ СИСТЕМЫ ГСП.

Государственная система приборов (ГСП), ГОСТ 12997-67, представляет собой совокупность научно обоснованных и рационально ограниченных рядов унифицированных приборов и устройств, обеспечивающих полную взаимозаменяемость деталей и узлов, а также экономически целесообразную точность, надежность и долговечность.

Изделия системы ГСП используются как в качестве отдельных приборов, так и для создания комплексов сложных систем контроля, регулирования и управления.

Государственная система приборов состоит из отдельных ветвей — электрической, пневматической, гидравлической и других, отличающихся по роду энергии носителя сигналов в канале связи, применяемых для приема и выдачи информации. Связь приборов различных ветвей в единую систему производится с помощью преобразователей (пневмоэлектрических, электропневматических и др.).

Электрическая ветвь ГСП состоит из аналоговых, частотных и дискретных приборов, предназначенных для измерения различных теплоэнергетических параметров: температуры, давления, разрежения, расхода, уровня, химического состава, свойств жидких и газообразных веществ и др. Приборы электрической ветви ГСП лучше, чем приборы других ветвей, увязываются с электронными машинами.

Входными и выходными величинами для всех электрических аналоговых приборов (датчиков) является унифицированный сигнал постоянного тока с пределами измерения 0—5, 0—20, 0—100 мА (ГОСТ 9895-61); для электрических частотных приборов — сигнал с частотой 1,5—2,5 и 4—8 кГц; для электрических дискретных приборов — величина, выражаемая восемью разрядами двоичного кода.

Из ряда токовых сигналов предпочтительнее отдается токовому сигналу с пределом изменения 0—5 мА.

Наличие унифицированного сигнала позволяет подключать к стандартному вторичному прибору, регулятору или информационно-вычислительной машине прибор (датчик) любого назначения. В табл. 2-11 и 2-12 приведены технические характеристики электрических первичных приборов (датчиков) с унифицированным токовым выходом. Выходная величина — постоянный ток с пределами изменения 0—5 и 0—20 мА.

Приборы состоят из измерительного блока, преобразующего измеряемый параметр в усилие, и электросилового преобразователя. В линейном преобразователе типа ПЭ1 выходной ток пропорционален измеряемому усилию; в квадратичном преобразователе типа ПЭР1 ток на выходе преобразователя пропорционален квад-

ратному корню из измеряемого усилия. Усиление электрического сигнала и преобразование его в унифицированный выходной сигнал происходят в полупроводниковом усилителе УП-20-5 (для сигнала 0—5 мА) или УП-20 (для сигнала 0—20 мА), комплектно поставляемых с датчикам.

Таблица 2-11

Технические характеристики электрических унифицированных приборов давления

Наименование прибора	Тип	Основная погрешность не более, $\pm$ %	Диапазон верхних пределов измерения
Манометр пружинный	МП-Э	0,6; 1,0; 1,6	25—1 000 кгс/см <sup>2</sup>
Манометр сильфонный	МС-Э	0,6; 1,0; 1,6	0,25—25 кгс/см <sup>2</sup>
Манометр абсолютного давления сильфонный	МАС-Э	0,6; 1,0; 1,6	0,25—25 кгс/см <sup>2</sup>
Вакуумметр сильфонный	ВС-Э	0,6; 1,0; 1,6	— (0,25—4) кгс/см <sup>2</sup>
Мановакуумметр пружинный	МВП-Э	1,0; 1,6	По давлению 3—24 кгс/см <sup>2</sup> ; по вакууму — 1 кгс/см <sup>2</sup>
Мановакуумметр сильфонный	МВС-Э	0,6; 1,0; 1,6	По давлению 0,6—24 кгс/см <sup>2</sup> ; по вакууму — 1 кгс/см <sup>2</sup>
Тягомер сильфонный	ТС-Э	0,6; 1,0; 1,6	— (40—4 000) кгс/м <sup>2</sup>
Напоромер сильфонный	НС-Э	0,6; 1,0; 1,6	40—4 000 кгс/м <sup>2</sup>
Тягонапоромер сильфонный	ТНС-Э	0,6; 1,0; 1,6	$\pm$ (20—2 000) кгс/м <sup>2</sup>

Сопротивление нагрузки — не более 2,5 кОм (для 0—5 мА) и 1 кОм (для 0—20 мА).

Питание комплекта датчика производится от сети переменного тока напряжением 220 В; потребляемая мощность не более 15 В·А.

К числу приборов с унифицированным сигналом 0—5 мА относятся манометры типа М1М (диапазон пределов измерения 1—1 600 кгс/см<sup>2</sup>; основная погрешность не более  $\pm 1$  % диапазона измерения; сопротивление нагрузки не более 2,5 кОм; питание от сети переменного тока напряжением 220 В; потребляемая мощность не более 5 В·А).

Первичные приборы, не имеющие унифицированного выходного сигнала, вписываются в систему ГСП через отдельные нормирующие преобразователи, приводящие ненормированный выходной сигнал к унифицированному значению.

Таблица 2-12

## Технические характеристики электрических унифицированных дифманометров

Наименование прибора	Тип	Основная погрешность не более, $\pm$ %	Диапазон предельных номинальных перепадов давления	Допустимое статическое давление, кгс/см <sup>2</sup>
Дифманометр колокольный	ДКО-Э	0,6; 1,0;	4—25 кгс/м <sup>2</sup>	2,5
Дифманометр-расходомер колокольный	ДКО-ЭР	1,6; 2,5; 1,0	10—25 кгс/м <sup>2</sup>	2,5
Дифманометр мембранный	ДМ-Э	0,6; 1,0	10—1 600 кгс/м <sup>2</sup> ; 0,25—6,3 кгс/см <sup>2</sup>	} 2,5; 10; 320
Дифманометр-расходомер мембранный	ДМ-ЭР	1,0	10—1 600 кгс/м <sup>2</sup> ; 0,25—6,3 кгс/см <sup>2</sup>	
Дифманометр сильфонный	ДС-Э	0,6; 1,0	10—1 600 кгс/м <sup>2</sup> ; 0,25—6,3 кгс/см <sup>2</sup>	
Дифманометр-расходомер сильфонный	ДС-ЭР	1,0	10—1 600 кгс/м <sup>2</sup> ; 0,25—6,3 кгс/см <sup>2</sup>	

Технические характеристики нормирующих преобразователей приведены в табл. 2-13. Сопротивление нагрузки для преобразователей типа НП не более 2,5 кОм; ПТ — не более 3 кОм; П — не более 2,25 кОм. Питание преобразователей производится от сети переменного тока напряжением 220 В.

В качестве вторичных приборов для работы с первичными приборами и нормирующими преобразователями с унифицированным токовым выходом применяются показывающие и самопишущие миллиамперметры типа М325, Н342К, КСУ4, миллиамперметры аппаратуры АСК. В качестве вторичных приборов также могут использоваться автоматические потенциометры со шкалой 0—10 и 0—100 мВ. Вход потенциометров при работе с датчиками с выходным сигналом 0—5 мА должен шунтироваться резистором 2 Ом (при шкале 0—10 мВ) и 20 Ом (при шкале 0—100 мВ).

Наладка приборов ГСП производится аналогично наладке контрольно-измерительных приборов соответствующего рода измеряемой величины (см. § 4-2, 4-4, 5-5).

В лабораторную поверку первичных приборов и нормирующих преобразователей входит: внешний осмотр; проверка сопротивления изоляции токоведущих частей; определение основной погрешности и вариации показаний.

Определение основной погрешности и вариации показаний первичных приборов с унифицированным токовым выходом и первичных приборов в комплекте с нормирующими преобразователями при отсутствии отсчетных устройств, а также определение основной по-

Таблица 2-13

Тип преобразователя	Тип первичного датчика	Основная погрешность не более, $\pm$ %	Потребляемая мощность, В.А	Вид преобразования
НП-П1М	ДМ, ДК, МЭД	1,0	15	Линейное
НП-ТЛ1	ТХК, ТХА, ТПП	0,5; 1,0	15	»
НП-2ТЛ1	Разность э. д. с. двух термопар типа ТХА	1,0	15	»
НП-СЛ1	Термометры сопротивления гр20, гр21, гр22, гр23, гр24	0,5; 1,0	15	»
НП-2СЛ1	Разность температур двух термометров сопротивления гр21	1,0	15	»
НП-Р1	Реохорд	0,5	15	»
НП-ПЛ1	ДМ модели 3559, 3560, 3564, 3565	1,5	15	Квадратичное с блоком линеаризации
ПТ-ТП-62	ТХК, ТХА, ТПП	0,5; 1,0; 1,5	20	Линейное
ПТ-ТП-68	То же	0,5; 1,0; 1,5	9	»
ПТ-ТС-62	Термометр сопротивления гр21, гр23	0,5	25	»
ПТ-ТС-68Л	То же	0,5	9	То же с блоком линеаризации
ПТ-ДТ-Л	ДМ, ДК, МЭД	1,0	20	Линейное
ПТ-ДТ-К	ДМ	1,6	20	Квадратичное с блоком линеаризации
П-24	ТХК, ТХА	1,0	10	Линейное
П-25	Термометр сопротивления гр21	1,0	10	»
П-26	То же гр23	1,0	10	»
П-27	ДМ	1,0	15	Квадратичное с блоком линеаризации
П-28	ДМ, ДК, МЭД	1,0	15	Линейное

погрешности вторичных приборов с унифицированными входными токовыми сигналами производится в соответствии с инструкциями и методическими указаниями, выпущенными Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР, и заводскими инструкциями по эксплуатации приборов.

Погрешность приборов определяют при установившемся температурном режиме всех элементов. Время прогрева прибора определяется инструкцией завода-изготовителя.

Входной и выходной ток измеряют образцовыми миллиамперметрами классов точности 0,1 и 0,2 или компенсационным методом с помощью потенциометра постоянного тока и образцовой катушки сопротивления или магазина сопротивления.

При измерении несколькими образцовыми приборами относительная погрешность принимается равной среднеквадратичной погрешности (§ 3-2). В табл. 2-14 приведена среднеквадратичная погрешность при проверке приборов давления, перепада, расхода с токовым выходом 0—5 мА при различном сочетании образцовых приборов.

Таблица 2-14  
Среднеквадратичная погрешность образцовых приборов, %

Приборы для измерения давления	Приборы для измерения тока				
	Миллиамперметр класса 0,1 с пределом измерения 7,5 мА	Миллиамперметр класса 0,2 с пределом измерения		Потенциометр ПП-63 предел 50 мВ и образцовая катушка P-321 10 Ом	Потенциометр ПП-63 предел 50 мВ и магазин сопротивления МСР-63
		6 мА	7,5 мА		
Образцовый манометр класса точности 0,16	0,22	0,29	0,34	0,19	0,2
Грузопоршневой манометр класса точности 0,2	0,25	0,31	0,36	0,22	0,23
Образцовый манометр класса точности 0,25	0,29	0,35	0,39	0,27	0,28
Мановакуумметр типа ППР-2М	0,34	0,39	0,42	0,32	0,33
Образцовый манометр класса точности 0,4	0,43	0,47	0,5	0,41	0,42

Из табл. 2-14 следует, что для проверки технических приборов класса точности 1,0 в соответствии с требованиями § 3-2 измерение тока необходимо производить компенсационным методом или миллиамперметром класса точности 0,1; для приборов класса точности 1,6 возможно также применение миллиамперметров класса точности 0,2.

Регулировку приборов с электросиловым преобразователем выполняют изменением передаточного отношения рычажной системы

электросилового узла. «Нуль» нормирующего преобразователя регулируют при нулевом значении измеряемого параметра за счет датчика (аналогично приборам дифференциально-трансформаторной системы, см. § 5-4) или за счет преобразователя с помощью резистора «смещение нуля»; «размах» шкалы регулируют при максимальном значении измеряемого параметра резистором «размах шкалы» (резистор обратной связи).

*Лабораторная поверка вторичных приборов с унифицированными входными токовыми сигналами производится аналогично поверке милливольтметров и потенциометров (§ 4-4).*

## РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

### ПОВЕРКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

#### 3-1. ЛАБОРАТОРНАЯ ПОВЕРКА

В объем лабораторной поверки контрольно-измерительных приборов входит: внешний осмотр; ревизия прибора; проверка сопротивления изоляции токоведущих частей; определение основной погрешности и вариации показаний; проверка работы переключателя входных каналов; определение погрешности срабатывания контактов сигнальных устройств; проверка работы дополнительных устройств, встроенных в прибор; проверка работы лентопротяжного механизма и качества записи.

При внешнем осмотре оценивается общее состояние прибора; проверяется наличие электронных ламп, арматуры и других деталей; проверяется наличие заводской закраски у регулировочных узлов и мест спаев и т. п.

В ревизию входит: установка прибора в рабочее положение; проверка исправности прибора; чистка контактных поверхностей; смазывание кинематических узлов.

При установке прибора в рабочее положение производится очистка его от пыли; удаление с деталей прибора антикоррозийной смазки; снятие арретиров и освобождение деталей, закрепленных на время транспортировки; установка нужной скорости передвижения диаграммной ленты и цикла печатания; заполнение рабочей жидкостью колокольных и поплавковых дифманометров. Для приборов типа ЭПП и ЭМП дополнительно производится установка колодок для внешних соединений присоединительными винтами наружу.

Проверка исправности прибора производится при включенном приборе нажатием кнопки «контроль». Предварительно определяют «легкость» хода кинематических узлов прибора при перемещении их от руки. Наличие «стука» в редукторе является признаком неудовлетворительной посадки шарикового подшипника двигателя. Далее проверяют равенство «заходов» указателя прибора за край-

ние отметки шкалы. Равенство «заходов» достигается перемещением каретки вдоль тросика; величина «захода» (1—2 мм) регулируется перемещением ограничителя.

Для включения прибора собирают схему проверки, определяют соответствие предохранителя току прибора и напряжению питающей сети и с помощью переключателя подают напряжение на прибор. После прогрева электронных ламп нажимают кнопку «контроль». Если прибор исправен, то его указатель должен переместиться в направлении контрольной отметки шкалы.

Чистка контактных поверхностей (реохорда, переключателя входных каналов для многоточечных приборов и контактов сигнальных устройств) производится при выключенном приборе.

Чистку реохорда, засоренного продуктами износа контакта или загрязненного агрессивной средой, а также при частичном его окислении и загрязнении за период хранения прибора производят промыванием спиралей и контакта (ролика) щеточкой, смоченной в чистом бензине, после чего выполняют промывку спиртом. Нормы расхода спирта приведены в приложении 1. Не допускается чистка реохорда наждачной бумагой, так как при этом возможны нарушения линейности и повреждения спирали реохорда.

Чистку переключателя производят аналогично чистке реохорда; контакты сигнальных устройств чистят с помощью фетровых или замшевых подушек, смоченных спиртом. Подгоревшие контакты очищают надфилем и полируют воронилом или заменяют новыми контактами.

Смазыванию подлежат кинематические узлы прибора: оси, втулки, шариковые подшипники реверсивного и синхронного электродвигателей, узла оси реохорда, тросика, лентопротяжного механизма, печатающей каретки, переключателя, сигнальных устройств. Перечисленные кинематические узлы смазывают с помощью масленки или пипетки нанесением одной-двух капель масла.

Направляющие скольжения и шестерни смазывают тонким слоем масла. Шестерни смазывают непосредственно или через специальные масленки и ванночки. В качестве масла рекомендуется применять масло авиационное марки МС-20. В некоторых случаях для смазывания движущихся элементов необходимо разобрать или переместить кинематический узел.

При смазывании кинематических узлов прибора предохраняют от попадания смазки поверхности и узлы, не подлежащие смазыванию (резина барабана, блоки тросика и др.).

В электродвигателе смазыванию подлежат редуктор и задний опорный шариковый подшипник ротора. Для смазывания опорного подшипника вводят 2—3 см<sup>3</sup> масла в специальное отверстие заднего подшипника. Смазывание редуктора реверсивного электродвигателя рекомендуется производить консистентной смазкой, закладываемой при разборке редуктора. Смазку наносят с помощью палочки, в качестве которой используют пластмассовую или металлическую палочку. При смазывании редуктора обращают внимание на положение осей редуктора по отношению к горизонтальному диаметру. Если оси находятся выше горизонтального диаметра (РД-09А), желательно перевернуть редуктор на 180° по отношению к электродвигателю. В этом случае оси редуктора будут расположены ниже

горизонтального диаметра, что обеспечивает надежность смазывания шестерен при добавлении масла, производимом в процессе эксплуатации прибора.

При разборке редуктора обращают внимание на чистоту шестерен и корпуса редуктора, изношенность деталей кинематических узлов (шестерен, осей и др.), состояние подшипников ротора электродвигателя. При необходимости эти детали промывают бензином или заменяют.

При невозможности или сложности разборки реверсивного электродвигателя смазывание редуктора производится смазкой ЦИАТИМ, разведенной до консистенции вазелина путем добавления масла МВИ (в ЦИАТИМ-201) или трансформаторного масла (в ЦИАТИМ-203) и вводимой в отверстие для смазки с помощью шприца, у которого игла заменяется хлорвиниловой трубочкой диаметром 3 мм.

При смазывании редуктора реверсивного электродвигателя маслом необходимо, чтобы оси редуктора были расположены ниже горизонтального диаметра, а колодочка внешних соединений двигателя была расположена выше горизонтального диаметра.

При расположении колодочки внешних соединений снизу или сбоку двигателя во избежание истечения масла из редуктора рекомендуется загерметизировать нитролаком или клеем БФ-2 линию разъема колодочки.

Редуктор синхронного электродвигателя смазывают маслом ( $10 \text{ см}^3$ ) или разведенной смазкой. В последнем случае смазку рекомендуется вводить на работающем электродвигателе.

Технические характеристики минеральных масел и консистентных смазок приведены в приложениях 2 и 3.

Не подлежат смазыванию электродвигатели, поставляемые согласно заводским инструкциям с редукторами, залитыми маслом (электродвигатели тропического исполнения РД-09Т, СД-54Т; электродвигатели Д-219, ДСМ, ДСД2, СД2). Некоторые приборы (ВМД модели 4839 и 4840) поставляются с электродвигателями, смазанными консистентной смазкой.

После выполнения операций по чистке и смазыванию узлов прибора проверяют затяжку статорных и крепежных деталей прибора.

После ревизии прибора производится проверка сопротивления изоляции токоведущих частей (§ 1-4), включение прибора и проверка его работоспособности.

**Определение основной погрешности и вариации показаний прибора.** При лабораторной поверке определяется основная инструментальная погрешность, обусловленная неточностью изготовления прибора, изменением упругих свойств чувствительного элемента, трением подвижных частей, неточностью разметки шкал и т. п.

При лабораторной поверке не проверяется градуировка терморпар и термометров сопротивления и не производится определение основной погрешности и вариации показаний жидкостных и манометрических термометров, датчиков приборов газового анализа и качества веществ.

**Определение основной погрешности и вариации производится сравнением показаний поверяемого и образцового приборов одним из двух основных способов:**

а) расчетное или градуировочное значение входного сигнала устанавливают по образцовому прибору, отсчет производят по шкале поверяемого прибора;

б) указатель поверяемого прибора устанавливают на проверяемую отметку шкалы, величину входного сигнала определяют по образцовому прибору.

Выбор образцовых приборов приведен в § 3-2.

Определение погрешности прибора производят сначала при возрастающих значениях входных сигналов (прямой ход), а затем при убывающих значениях (обратный ход).

При определении основной погрешности регулирующих милливольтметров и логометров, а также электроконтактных манометров, мановакуумметров и вакуумметров указатели задачи сигнальных устройств должны быть установлены за пределами отметок шкалы так, чтобы они не препятствовали свободному движению стрелки; при проверке погрешности самоизлучающих приборов синхронный двигатель должен быть выключен.

Прибор соответствует классу точности и может быть предъявлен для метрологической проверки, если полученные в результате лабораторной проверки наибольшие значения приведенной погрешности и вариации показания (разность показаний прибора при прямом и обратном ходе при одном и том же входном сигнале) не превышают величины допустимой основной приведенной погрешности.

Расчет погрешностей производится по следующим формулам:

абсолютная погрешность прибора

$$\Delta = A_{\text{пр}} - A;$$

относительная погрешность прибора

$$\delta = \frac{\Delta}{A} \cdot 100 \%;$$

приведенная погрешность прибора

$$\delta_{\text{п}} = \frac{\Delta}{A_{\text{шк}}} \cdot 100 \%,$$

здесь  $A_{\text{пр}}$  — показание прибора, градуировочное или расчетное значение;  $A$  — действительное значение измеряемой величины (показание образцового прибора);  $A_{\text{шк}}$  — длина шкалы прибора в единицах измеряемой величины.

Наибольшая допустимая абсолютная погрешность прибора определяется по формуле

$$\Delta_{\text{п}} = \pm \frac{K_{\text{п}} A_{\text{шк}}}{100},$$

где  $K_{\text{п}}$  — класс точности прибора.

Основная погрешность записи и срабатывания контактов сигнальных устройств рабочих приборов определяется техническими условиями и, как правило, не превышает основной погрешности показаний следующего низшего класса точности.

В случае, если погрешности превышают допустимое значение, производят регулировку приборов. Регулировка приборов состоит

в наметпешни параметров электрической схемы (регулировка с помощью установочных и подгоночных резисторов) и механической системы (регулировка с помощью сердечника индукционной катушки, указателя прибора и т. п.). Указанные регулировки заменяют показания прибора по всей шкале. В случае, если погрешности на крайних точках шкалы минимальны, а на промежуточных точках больше допустимых, то уменьшить эти погрешности обычными способами регулировок не удастся. Причинами этого явления может быть нелинейность реохорда (для мостов и потенциометров), дефект магнитной системы (для милливольтметров и логометров), отсутствие плавности профиля кулачка (для дифтрансформаторных приборов) и др.; в указанных случаях составляется акт дефектов.

Проверка работы переключателя входных каналов производится для многоточечных приборов. Для проверки объединяют по входу все каналы переключателя (например, соединяют между собой все «плюсы» и «минусы»), затем подают контрольный сигнал на одну из точек; наблюдая за показаниями прибора при последовательном переключении точек, оценивают работу переключателя. При наличии разброса показаний производят чистку переключателя.

Определение погрешности срабатывания контактов сигнальных устройств прибора производится для всех указателей задачи как при плавном увеличении, так и при плавном уменьшении измеряемой величины. Схема проверки приведена на рис. 2-8. Проверку рекомендуется производить при положении указателей задачи, соответствующем карте уставок технологических защит и сигнализации.

Погрешность срабатывания контактов, определяемая как разность между номинальным значением показания соответствующего указателя задачи и действительным значением измеряемой величины в момент срабатывания контактов, не должна превышать величины, указанной в монтажно-эксплуатационной инструкции прибора. Так, для показывающих манометров, вакуумметров и мановакуумметров погрешность срабатывания сигнального устройства не должна превышать 1,5-кратного значения величины основной допустимой погрешности.

Логика сигнальных устройств («много», «мало», «норма») должна соответствовать технологическим условиям.

Проверка работы дополнительных устройств. Практически проверке подлежит только интегратор суммирующего устройства. Описание проверки приведено в § 5-5.

Проверка работы лентопротяжного механизма и качества записи. Для проверки направляют прибор диаграммной лентой; для одготочечных приборов с записью чернилами заполняют чернильницу и производят подсосывание чернил со стороны накопечника пера. Далее проверяют совпадение пера с начальной линией диаграммы при положении указателя прибора на начальной отметке шкалы (при несовпадении смещают перо до совмещения с начальной линией диаграммы) и перпендикулярность пера по отношению к бумаге. После этого включают прибор на запись, проверяют движение диаграммы, подачу чернил и качество записи. Движение диаграммы должно происходить без перекосов, смятия и разрывов перфорации. При неудовлетворительной подаче чернил прочищают капилляр пера

тонкой проволокой; при значительном загрязнении перо промывают водой или спиртом. При плохом качестве записи проверяют нажим на перо; при царапании диаграммы наконечником пера производят притирку пера. При значительном намокании диаграммной бумаги перо следует заменить.

В многоточечных приборах проверяют соответствие наносимых на диаграмму цифровых или цветовых отметок положению многоточечного переключателя.

Выявленные в результате лабораторной проверки дефекты приборов устраняются заказчиком или заводом-изготовителем. В последнем случае составляется акт дефектов для предъявления его заводу-изготовителю.

### 3-2. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ПОВЕРКА

Организация и порядок проведения работ по метрологической проверке средств измерения (мер и измерительных приборов, измерительных преобразователей и других) устанавливается ГОСТ 8.002-71.

Все средства измерений подлежат обязательной государственной или ведомственной проверке, по результатам которой устанавливается пригодность средств измерений к применению. Проверки производятся органами государственной метрологической службы (ГМС) или органами ведомственной метрологической службы предприятия (ВМС).

Из числа рабочих КИП, используемых на тепловых электростанциях, обязательной государственной проверке подлежат учетные и коммерческие расходомеры, а также приборы давления, установленные на сосудах, подведомственных Госгортехнадзору. Перечень приборов давления (технических и дистанционных манометров), подлежащих обязательной госповерке, согласовывается с органами Госгортехнадзора (ГГТН) и службой техники безопасности электростанции. К числу таких приборов относятся приборы, измеряющие давление в паровом пространстве барабана котла, давление среды до встроенной задвижки, давление редуцированного пара, давление в надводном пространстве деаэратора. Приборы, предназначенные для всех других измерений, за исключением индикаторов, подлежат ведомственной проверке. Индикаторы проверке не подлежат.

Государственные проверки производятся в органах ГМС или на предприятии.

В табл. 3-1 приведена периодичность проверки рабочих КИП. Для приборов, поступивших для наладки со склада после транспортировки и хранения, рекомендуется проводить внеочередную поверку.

Проверки проводятся в соответствии с ГОСТ, инструкциями и методическими указаниями Госстандарта СССР.

При проверке приборов для измерения температуры стандартных градуировок отдельно поверяются термоприемники и отдельно измерительные приборы к ним.

Технические термомпары и термометры сопротивления, выпущенные из производства и имеющие действующий гарантийный срок службы, монтируются без предъявления в поверку. При истечении гарантийного срока эти приборы должны поверяться органами ведомственной метрологической службы предприятия.

На средства измерения, признанные по результатам поверки пригодными к применению, выдаются паспорта с отметкой результатов поверки, наносится клейма, и производится их пломбирование. Формы паспортов для расходомеров (переменного перепада) и для разных мер и измерительных приборов приведены в приложениях 8 и 9. Для технических манометров результаты поверки допускается отмечать в специальном журнале.

Таблица 3-1

## Периодичность поверки рабочих КИП

Рабочие приборы	Кто проводит поверки	Периодичность поверки (не реже)
Дифманометры-расходомеры учетные и коммерческие	ГМС	1 раз в год
То же технологические	ВМС	1 раз в год
Приборы давления по перечню ГГТН	ГМС	1 раз в год
Технические манометры	ВМС	1 раз в год
Приборы для измерения давления, разрежения, перепада и папора; технологические уровнемеры.	То же	1 раз в один или в два года
Жидкостные термометры	То же	1 раз в четыре года
Погометры, милливольтметры	То же	1 раз в один или в два года
Прочие температурные приборы	То же	1 раз в два года

Примечание. Для приборов, подлежащих ведомственной поверке; в таблице указана наиболее распространенная периодичность поверки.

**Выбор образцового прибора для определения погрешности поверяемого прибора.** При выборе образцового прибора должны выполняться следующие условия:

1) верхний предел измерений образцового прибора должен быть равен или больше верхнего предела измерений поверяемого прибора;

2) точность образцового прибора должна соответствовать указанной в табл. 3-2.

При измерении, производимом одним прибором, абсолютная погрешность в определении измеряемой величины принимается равной наибольшей допустимой абсолютной погрешности прибора  $\Delta_{п}$ ; относительная погрешность измерения  $\delta$  равна:

$$\delta = \frac{\Delta_{п}}{A} \cdot 100 \%.$$

Таблица 3-2

## Требования к точности образцовых приборов

Поверяемый прибор	Требование к точности образцового прибора
Милливольтметр, автоматический потенциометр	$\Delta_{о.п} \leq \frac{1}{3} \Delta_{п},$ <p>где <math>\Delta_{о.п}</math> — допустимая абсолютная погрешность образцового прибора;  <math>\Delta_{п}</math> — то же поверяемого прибора</p>
Логометр, автоматический мост	<p>1) <math>\Delta_{о.п} \leq \frac{1}{5} \Delta_{п}</math>, при использовании образцового прибора с поправками</p> $\Delta_{о.п} \leq \frac{1}{2,5} \Delta_{п}$ <p>2) Наименьшая ступень изменения сопротивления образцового магазина</p> $\Delta R_{о.п} \leq \frac{1}{5} K_{п} \frac{\Delta R}{100}, \text{ Ом},$ <p>где <math>K_{п}</math> — класс точности поверяемого прибора; <math>\Delta R</math> — диапазон измерения по шкале поверяемого прибора, Ом</p>
Технический пружинный манометр, вакуумметр, мановакуумметр	<p>1) Если для образцового прибора указан класс точности <math>K'_{о.п}</math>, погрешность образцового прибора</p> $\delta'_{о.п} \leq \frac{1}{4} \delta'_{п},$ <p>где <math>\delta'_{п}</math> — допустимая приведенная погрешность поверяемого прибора;  <math>\delta'_{о.п}</math> — относительная погрешность образцового прибора при давлении, равном верхнему пределу измерений поверяемого прибора</p> $\delta'_{о.п} = \frac{K'_{о.п} A_{шк. с. п.}}{A_{шк. п.}}$

Продолжение табл. 3-2

Поверяемый прибор	Требование к точности образцового прибора
Технический пружинный манометр, вакуумметр, мановакуумметр	<p>где <math>A_{\text{шк. о. п.}}</math>, <math>A_{\text{шк. п.}}</math> — длина шкалы образцового и поверяемого приборов соответственно.</p> <p>2) Если для образцового прибора нормируется относительная погрешность</p> $\delta_{\text{о. п.}} \leq \frac{1}{2} \delta_{\text{п.}}$
Тягомер, напоромер, тягонапоромер, дифманометр-перепадомер	<p>Те же, что и для поверки манометра. Как исключение допускается</p> $\delta_{\text{о. п.}} \leq \frac{1}{3} \delta_{\text{п.}}$
Дифманометр-расходомер	<p>Те же, что и для поверки манометра; здесь <math>\delta_{\text{о. п.}}</math> — относительная погрешность образцового прибора при давлении, равном предельному номинальному перепаду давления дифманометра <math>\Delta P_{\text{н}}</math>:</p> $\delta_{\text{о. п.}} = \frac{K_{\text{о. п.}} P_{\text{шк. о. п.}}}{\Delta P_{\text{н}}}$
Интегратор с электрическим приводом	<p>Механический секундомер класса 1,0 и частотомер класса 0,2 или электрический секундомер, погрешность которого не превышает погрешности механического секундомера класса 1,0</p>
Интегратор с механическим приводом	<p>Механический секундомер класса 1,0</p>

Таблица 3-3  
Технические характеристики образцовых электроизмерительных приборов и мер

Образцовый прибор или мера	Тип	Класс точности	Верхний предел измерений	Значение ступени последней декады или цена деления реохорда	Погрешность не более
Переносный потенциометр постоянного тока с тремя пределами измерения	ПП-63	0,05	25 мВ 50 мВ 100 мВ	0,025 мВ 0,05 мВ 0,1 мВ	$\Delta = \pm (5 \cdot 10^{-4} U + 0,5 \Delta U)$ , мВ, где $U$ — показание потенциометра, мВ; $\Delta U$ — цена деления реохорда, мВ
	КП-59	0,05	50 мВ 100 мВ	0,05 мВ 0,1 мВ	
То же с двумя пределами измерения	НЭ-П (НЭ-65)	0,005	Номинальное значение 4,01860 В	—	Действительное значение Э. Д. С. указывается в свидетельстве о поверке
Магазин сопротивления десятидекадный	МСР-60	0,02	11 111 Ом	0,01 Ом	$\Delta = \pm \left( 0,02 + 0,1 \frac{m}{R} \right) R \times 10^{-3}$ , Ом, где $m$ — число включенных декад; $R$ — установленное сопротивление, Ом

Продолжение табл. 3-3

Образцовый прибор или мера	Тип	Класс точности	Верхний предел измерения	Значение ступеней decade или цена деления реохорда	Погрешность не более
Магазин сопротивления семидекадный	МСР-63	0,05	111111,1 Ом	0,01 Ом	$\Delta = \pm \left( 0,05 + 0,02 \frac{m}{R} \right) R \times 10^{-2}, \text{ Ом}$
Мост постоянного тока	МО-62	0,1 в диапазоне 1—10 <sup>4</sup> Ом	10 <sup>6</sup> Ом	0,01 Ом	$\pm 0,2\%$ в диапазоне 0,1—1 Ом; $\pm 0,1\%$ в диапазоне 1—10 <sup>4</sup> Ом; $\pm 1,0\%$ в диапазоне 10 <sup>4</sup> —10 <sup>5</sup> Ом
Образцовая катушка сопротивления	Р-321	0,01	Номинальное значение 10,0 Ом	—	Действительное значение сопротивления должно быть указано в свидетельстве о поверке
	То же	0,01	Номинальное значение 1,0 Ом	—	

Продолжение табл. 3-3

Образцовый прибор или мера	Тип	Класс точности	Верхний предел измерения	Значение ступени послед- ней декады или цена деления резистора	Погрешность не более
Универсальный переносный прибор, используемый как: а) потенциометр б) магазин сопротивлений в) мост постоянного тока	УПИП-60М	0,05	Аналогично техническим данным для ПП-63		
		0,05	1111,2 Ом	0,01 Ом	$\Delta = \pm \left( 0,05 + 0,02 \frac{m}{R} \right) R \times 10^{-3}, \text{ Ом}$
		0,1 в диапазоне 0,1— 10 <sup>4</sup> Ом	10 <sup>6</sup> Ом	0,01 Ом	$\pm 0,2\%$ в диапазоне 0,01—0,1 Ом; $\pm 0,1\%$ в диапазоне 0,1—10 <sup>4</sup> Ом; $\pm 1,0\%$ в диапазоне 10 <sup>4</sup> —10 <sup>6</sup> Ом
Амперметр	M1104	0,2	7,5; 30 мА	—	$\Delta = \pm K_{\text{П}} A_{\text{Дшк}} \cdot 10^{-3}$
Вольтамперметр	M1107	0,2	7,5; 30 мА	—	
Милливольтмиллиамперметр	M1109	0,2	6; 60 мА	—	
Амперметр	M1150	0,1	7,5; 30 мА	—	

Таблица 3-4

Технические характеристики образцовых приборов для измерения давления и разрежения

Образцовый прибор	Тип	Диапазон измерений	Погрешность или класс точности
Образцовый микроманометр	ММ-250	0—250 кгс/м <sup>2</sup>	±0,05 мм вод. ст.
Мановакуумметр	ППР-2М	При измерении давления 0—1 000 мм вод. ст. или мм рт. ст.; при измерении вакуума 0—760 мм рт. ст.	±0,3%
Двухпоршневой мановакуумметр	МВП-2,5	-1 ÷ +2,5 кгс/см <sup>2</sup>	0,05
Грузопоршневой манометр	МП-2,5 МП-6 МП-60 МП-600	0—2,5 кгс/см <sup>2</sup> 0—6 кгс/см <sup>2</sup> 0—60 кгс/см <sup>2</sup> 0—600 кгс/см <sup>2</sup>	0,05 и 0,2 0,05 и 0,2 0,05 и 0,2 0,05 и 0,2
Вакуумметр образцовый	ВО модель 1215	-1 ÷ 0 кгс/см <sup>2</sup>	0,4
	ВО модель 1227	-1 ÷ 0 кгс/см <sup>2</sup>	0,16 и 0,25
Манометр образцовый	МО модель 1215	0—1; 0—1,6; 0—2,5; 0—4 кгс/см <sup>2</sup>	0,4
	МО модель 1213	0—6; 0—10; 0—16; 0—25 кгс/см <sup>2</sup>	0,4
	МО модель 1214	0—40; 0—60; 0—100; 0—160; 0—250; 0—400; 0—600 кгс/см <sup>2</sup>	0,4
	МО модель 1227	0—1; 0—1,6; 0—2,5; 0—4; 0—6; 0—10; 0—16; 0—25 кгс/см <sup>2</sup>	0,16 и 0,25
	МО модель 1226	0—40; 0—60; 0—100; 0—160; 0—250; 0—400; 0—600 кгс/см <sup>2</sup>	0,16 и 0,25

Таблица 3-5

## Примеры выбора образцовых электронизмерительных приборов

Наименование	Поверяемый прибор				Образцовый прибор		
	Класс точности	Градусы пров-ка	Шкала, °С	Допустимая погрешность $\Delta_{\text{п}}$	Допустимая погрешность $\Delta_{\text{д.п}}$ (см. табл. 3-2)	Тип	Погрешность не более
Автоматический потенциометр	0,5	ХА	200—600	$\pm 0,084$ мВ	$\pm 0,028$ мВ	ПП-63	$\pm 0,025$ мВ (на пределе 25 мВ)
Автоматический потенциометр	0,5	ХА	0—600	$\pm 0,125$ мВ	$\pm 0,041$ мВ	ПП-63	$\pm 0,025$ мВ (на пределе 25 мВ); $\pm 0,037$ мВ (на пределе 50 мВ)
						КП-59	$\pm 0,037$ мВ (на пределе 50 мВ)
Автоматический мост	0,5	гр23	0—100	$\pm 0,113$ Ом	$\pm 0,022$ Ом	МСР-60	$\pm 0,019$ Ом
					$\pm 0,045$ Ом для приборов с поправками	МСР-63 с поправками	$\pm 0,039$ Ом
Автоматический мост	0,5	гр21	0—400	$\pm 0,347$ Ом	$\pm 0,069$ Ом	МСР-63	$\pm 0,058$ Ом

Таблица 3-6

## Примеры выбора образцовых теплотехнических приборов

Поверяемый прибор			Образцовый прибор				
Наименование	Класс точности	Шкала	Допустимая погрешность $\delta'_{о.п}$ или $\Delta_{о.п}$ (см. табл. 3-2)	Наименование, тип	Погрешность или класс точности	Верхний предел измерения	Погрешность $\delta'_{о.п}$ или $\Delta_{о.п}$ не более
Манометр	1,6	0—16 кгс/см <sup>2</sup>	$\delta'_{о.п} = \pm 0,4\%$	Манометр МО	0,4 0,25 0,16	16 кгс/см <sup>2</sup> 25 кгс/см <sup>2</sup> 40 кгс/см <sup>2</sup>	$\delta'_{о.п} = \pm 0,4\%$ $\delta'_{о.п} = \pm 0,39\%$ $\delta'_{о.п} = \pm 0,4\%$
Мановакуумметр	1,6	-1 ÷ +1,6 кгс/см <sup>2</sup>	Манометрическая часть $\delta'_{о.п} = \pm 0,65\%$	Манометр МО	0,4 0,4 0,25	1,6 кгс/см <sup>2</sup> 2,5 кгс/см <sup>2</sup> 4,0 кгс/см <sup>2</sup>	$\delta'_{о.п} = \pm 0,4\%$ $\delta'_{о.п} = \pm 0,625\%$ $\delta'_{о.п} = \pm 0,625\%$
			Вакуумная часть $\delta'_{о.п} = \pm 1,04\%$	Вакуумметр ВО	0,4	—1,0 кгс/см <sup>2</sup>	$\delta'_{о.п} = \pm 0,4\%$

Продолжение табл. 3-6

Поверяемый прибор		Образцовый прибор					
Наименование	Класс точности	Шкала	Допустимая погрешность $\delta_{o.п}$ или $\Delta_{o.п}$ (см. табл. 3-2)	Наименование, тип	Погрешность или класс точности	Верхний предел измерений	Погрешность $\delta_{o.п}$ или $\Delta_{o.п}$ не более
Дифференциально-тягоснарядное мер	1,6	$-12,5 \div +12,5$ кгс/м <sup>2</sup>	$\Delta_{o.п} = \pm 0,1$ кгс/м <sup>2</sup> (как исключение) $\Delta_{o.п} = \pm 0,13$ кгс/м <sup>2</sup>	Микроманометр ММ-250	$\pm 0,05$ мм вод. ст.	250 мм вод. ст.	$\Delta_{o.п} = \pm 0,05$ кгс/м <sup>2</sup>
				Мановакуумметр типа ППР-2М	$\pm 0,3\%$	1 000 мм вод. ст.	$\Delta_{o.п} = \pm 0,0375$ кгс/м <sup>2</sup>
Дифференциальный измерительный сосуд с частично обогретым «плюсом» (см. пример 2 к рис. 5-б, б)	1,6	$-315 \div +315$ мм столба измеряемой жидкости (перепад измерительного сосуда 477—162 кгс/м <sup>2</sup> )	$\Delta_{o.п} = \pm 1,26$ кгс/м <sup>2</sup> (как исключение) $\Delta_{o.п} = \pm 1,68$ кгс/м <sup>2</sup>	То же	$\pm 0,3\%$	1 000 мм вод. ст.	$\Delta_{o.п} = \pm 1,43$ кгс/м <sup>2</sup>

Если для определения измеряемой величины используется  $n$  приборов, для которых известны отдельные относительные погрешности  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ , носящие случайный характер, то согласно теории погрешностей относительная погрешность с вероятностью 99,73% может быть принята равной среднему квадратичному из относительных погрешностей отдельных приборов, определяемому по формуле

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}.$$

Технические характеристики образцовых электроизмерительных приборов и мер приведены в табл. 3-3, теплотехнических — в табл. 3-4.

Примеры выбора образцовых приборов приведены в табл. 3-5 и 3-6.

## РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

### НАЛАДКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

#### 4-1. ПЕРВИЧНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Область применения первичных приборов для измерения температуры приведена в табл. 4-1.

Основные технические характеристики приборов для измерения температуры приведены в табл. 4-2—4-14.

#### 4-2. НАЛАДКА ПЕРВИЧНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

В объем наладки входит лабораторная поверка и проверка монтажа термощупов.

В лабораторную поверку входит внешний осмотр, проверка сопротивления изоляции токоведущих частей, опробование прибора.

*При внешнем осмотре проверяется:*

для стеклянных термометров отсутствие разрывов жидкости в капилляре;

для стеклянных термометров с электроконтактным устройством возможность регулировки подвижного контакта для термометров типа ТПК, соответствие уставок для термометров типа ТЭК;

для манометрических термометров отсутствие перегибов капилляра с радиусом менее 50 мм и отсутствие пережимов;

для термометров сопротивления и терморезисторов наличие маркировки, наносимой на головку прибора.

Таблица 4-1  
Область применения первичных приборов для измерения температуры

Группы приборов	Основные разновидности	Пределы измерения, °С	Назначение	Измеряемая среда
Термометры расширения	Жидкостные ртутные стеклянные	-35 ÷ +500	Контроль по месту, сигнализация	Окружающий воздух, охлаждающая вода, масло, мазут
	Термореле	0 ÷ 200	Сигнализация, защита	Масло, воздух
Манометрические термометры	Парожидкостные	0 ÷ 250	Контроль по месту, сигнализация, защита	Масло, водород, аэросмесь, угольная пыль
	Газовые	0 ÷ 400		
Термометры сопротивления	Медные	-50 ÷ +180	Дистанционный контроль	Воздух, аэросмесь, охлаждающая и сетевая вода, конденсат, мазут, природный газ, масло, обмотки и железо электрических машин, тело подшипников механизмов
	Платиновые	-200 ÷ +750		
	Полупроводниковые	-70 ÷ +180	Сигнализация	Тело подшипников и обмотки электрических машин

Группы приборов	Основные разновидности	Пределы измерения, °С	Назначение	Измеряемая среда
Термомары	Хромель-копелевые	-50 ÷ +600	Дистанционный контроль	Горячий воздух, уходящие дымовые газы, разность температур дымовых газов и воздуха на регенеративных воздухоподогревателях, пылевоздушная смесь, питательная вода, пар, металл барабанов котлов
	Хромель-алюмелевые	-50 ÷ +1 000		То же и дымовые газы в поворотной камере котла, перичный и вторичный пар, металл поверхностей нагрева котлов, трубопроводов, цилиндров турбин
	Платинородий-платиновые	-20 ÷ +1 300		Дымовые газы в поворотной камере котла

Таблица 4-2

Ртутные технические стеклянные термометры  
типа ТТ (ГОСТ 2823-59)

Тип	Пределы измерений, °С	Цена деления, °С	Тип	Пределы измерений, °С	Цена деления, °С
ТТ-1	0—50	0,5; 1	ТТ-7	0—300	2; 5; 10
ТТ-2	-35 ÷ +50	0,5; 1; 2	ТТ-8	0—350	5; 10
ТТ-3	0—100	1; 2	ТТ-9	0—400	5; 10
ТТ-4	0—150	1; 2; 5	ТТ-10	0—450	5; 10
ТТ-5	0—200	2; 5	ТТ-11	0—500	5; 10
ТТ-6	0—250	2; 5; 10			

Примечание. Основная погрешность приборов не превышает  $\pm 1$  деления шкалы.

Таблица 4-3

Ртутные технические стеклянные термометры типа ТПК  
с электроконтактным устройством (ГОСТ 9871-61)

Тип	Интервалы контактирования, °С	Тип	Интервалы контактирования, °С
ТПК-1	0—50	ТПК-5	50—150
ТПК-2	50—100	ТПК-6	100—200
ТПК-3	-30 ÷ +70	ТПК-7	150—250
ТПК-4	0—100	ТПК-8	200—300

Примечания: 1. Основная погрешность приборов не превышает  $\pm 1$  деления шкалы.

2. Перемещение контакта термометра ТПК производится с помощью магнитной регулировки.

3. Термометр типа ТЭК может иметь одну, две или три заданные температуры контактирования в интервале температур от -35 до +300 °С.

4. Мощность контактов термометров ТПК и ТЭК не более 2 Вт при токе не более 0,2 А.

Таблица 4-4

Электроконтактные парожидкостные термометры  
(ГОСТ 8624-64) и термосигнализаторы типа ТС, ТСМ

Тип	Давление измеряемой среды, кгс/см <sup>2</sup>	Пределы измерений, °С	Класс точности	Длина термобаллона, мм
ЭКТ-1	25	0—250	2,5	65
ТПП-СК	64	0—200	1,6	78
ТС-100	25	0—100	4,0	100
ТСМ-100	25	0—100	2,5	105
ТС-200	25	100—200	4,0	100
ТСМ-200	25	100—200	2,5	105

Примечания: 1) Класс точности для парожидкостных термометров устанавливается для последних 2/3 шкалы; на первой трети шкалы должен быть последующий низший класс точности. Точность показаний прибора в момент срабатывания контактного устройства должна соответствовать точности следующего низшего класса точности.

2) Шкала термометров неравномерная. Показатель тепловой инерции  $\epsilon_{\infty}$  не более 30 с.

3) Термобаллон заполнен низкокипящей жидкостью (фреон-12, хлорэтил, хлорметил, ацетон, бензол).

4) Мощность контактов приборов ЭКТ, ТПП 10 В · А при напряжении ~ 380 В и 10 Вт при напряжении ~ 220 В; для сигнализаторов ТС сила тока не более 0,2 А при напряжении ~ 220 В.

Таблица 4-5

Электроконтактные газовые термометры (ГОСТ 8624-64)

Тип	Давление измеряемой среды, кгс/см <sup>2</sup>	Пределы измерений, °С	Класс точности	Длина термобаллона, мм
ЭКТ-2	25	0—400	2,5	320
ТПП-СК	64	0—400	1,6	125—400

Примечания: 1) Шкала термометров равномерная. Показатель тепловой инерции  $\epsilon_{\infty}$  не более 15 с.

2) Термосистема заполнена азотом или гелием.

3) Мощность контактов 10 В · А при напряжении ~ 380 В и 10 Вт при напряжении ~ 220 В.

Таблица 4-6

Технические термометры сопротивления (ГОСТ 6651-59)

Тип термометра сопротивления	Обозначение градуй- ровки	Диапазон измерения, °С	R <sub>0</sub> , Ом	Допустимые отклоне- ния R <sub>0</sub> , ± Ом для классов точности			$\frac{R_{100}}{R_0}$	Допустимые отклонения R <sub>100</sub> /R <sub>0</sub> , ± для классов точности		
				К-I	К-II	К-III		К-I	К-II	К-III
Платиновый ТСП	гр20	0 ÷ 650	10							
	гр21	-200 ÷ +750	46	0,05	0,1	—	4,394	0,0007	0,001	—
	гр22	-200 ÷ +750	100							
Медный ТСМ	гр23	-50 ÷ +180	53		0,1	0,1	4,426		0,001	0,002
	гр24	-50 ÷ +180	100							

Примечание. Термометры в пределах одной градуировки и класса точности взаимозаменяемы.

Таблица 4-7

Градуировочная таблица платиновых термометров сопротивления

Сопротивление термометров, Ом, для гра- дуировок	Температура, °С												
	0	30	60	90	100	120	150	180	200	240	250	300	400
гр21	46,0	51,45	56,86	62,21	63,99	67,52	72,78	77,99	81,43	88,26	89,96	98,34	114,72
гр22*	100,00	111,85	123,60	135,24	139,10	146,78	158,21	169,54	177,03	191,88	195,56	213,79	249,38

\* Для термометров градуировки гр20 (R<sub>0</sub> = 10 Ом) все значения разделить на 10.

Таблица 4-8

Градуировочная таблица медных термометров сопротивления

Температура, °C	0	20	40	50	60	80	100	120	150
Сопротивление термометров, Ом, для градуировок	гр23	53,00	57,52	62,03	64,29	66,55	71,06	80,09	86,87
	гр24	100,0	108,52	117,04	121,30	125,56	134,08	142,60	163,90

Таблица 4-9

Основные модификации термометров сопротивления

Тип термометра сопротивления	Групповка	Класс точности	Показатель тепловой инерции $\tau_0$ не более	Верхний предел измерения, °C	Условное давление $P_y$ , кгс/см <sup>2</sup>	Длина погружаемой части, мм	Материал защитной арматуры	Особенности конструкции; область применения
ТСП-I ТСП-III ТСМ-X	гр21	K-II	4'	500	40	160—1 250	Сталь 20 или 1X18H9T	Штуцер неподвижный (ШН) Штуцер подвижный (ШП) ШН
	гр24	K-II	4'	500	40	500—2 000		
	гр23	K-III	4'	400	40	80—1 250		
ТСМ-XI	гр23	K-III	4'	100	40	100—320	Латунь Л62	ШН; без головки; вывод кабелем

Продолжение табл. 4-9

Тип термометра сопротивления	Группировка	Класс точности	Показатель тепловой инерции $\tau_{0.95}$ не более	Верхний предел измерения, °С	Условное давление $P_{\text{у}}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Длина погружаемой части, мм	Материал защитной арматуры	Особенности конструкции, область применения
ТСП-085	гр21	К-II	40"	100	Негерметичный	60—250; длина кабеля 2 500	Сталь 20	Виброустойчивый; ШП; без головки; вывод кабелем
ТСП-138	гр21	К-II	80"	120	То же	22; длина кабеля 120, 600	Медь МЗ или латунь ЛТ96	Без пупера; устанавливается в гнезде подшипника; без головки; вывод кабелем
ТСМ-148	гр23	К-III	80"	120	То же	135; 785	Латунь ЛТ96	То же вывод проводом
ТСП-276	гр21	К-II	60"	120	4,0	120—400; длина кабеля 2 000—3 000	Сталь 1Х18Н9Т	ШП; устанавливается в гнезде подшипника; вывод кабелем
ТСП-783	гр21	К-II	40"	100	Негерметичный	80—320; общая длина с кабелем 1 900—3 400	Сталь 20	ШП; без головки; вывод кабелем

Продолжение табл. 4-9

Тип термометра сопряжения	Гранировка	Класс точности	Показатель температуры в градусах Цельсия	Верхний предел измерения, °С	Условное давление Р, кгс/см <sup>2</sup>	Длина погружаемой части, мм	Материал защитной арматуры	Особенности конструкции; область применения
ТСП-753	гр21	К-II	40"	300	10	60—250; длина шланга 1 600	Сталь 1Х18Н9Т	ШН; без головки; вывод шлангом со штепсельным разъемом
ТСП-5071	гр21	К-II	80"	750	Негерметичный	320—2 000	Сталь ОХ20Н14С2	Головка водозащитная (ВЗ); без плунжера; виброустойчивый
	гр22							Головка ВЗ; ШП и ШН; виброустойчивый
ТСП-5071А	гр21	К-II	80"	750	Для типа ШП — 64; ШН — 250	120—2 000	Сталь ОХ20Н14С2	Головка ВЗ; ШП и ШН; виброустойчивый
	гр22							Головка ВЗ; ШП и ШН; виброустойчивый
ТСП-5071Б	гр21	К-II	20"	600	Для типа ШП — 64; ШН — 250	120—320	Сталь ОХ13 или 1Х18Н9Т	Головка ВЗ; ШП и ШН; для скоростей до 120 м/с — ШН
	гр22							Головка ВЗ; ШП и ШН; для скоростей до 120 м/с — ШН

Примечание. Для погружных термометров типа ТСП длина чувствительного элемента 100 мм, для термометров типа ТСМ она равна 40 мм.

Таблица 4-10  
Устройства температурной сигнализации с применением полупроводниковых термометров  
сопротивления (ГОСТ 10688-63)

Тип устройства	Число точек измерения	Диапазон настроек, °С	Напряжение сети, В	Потребляемая мощность, В · А
АТВ-229	10	30—125	~ 220, ~ 380	60
УТС-1	50	60—70	~ 220	150

Таблица 4-11

Технические термомары (ГОСТ 6616-61)

Тип термомары	Обозначение градуировки	Диапазон применения, °С	Средняя крутизна термодифференциальной характеристики, мкВ/°С	Е (100°, 0°), мВ	Допустимые отклонения в л. с. термомар от градуировочных таблиц, ± мВ	
					до 300 °С	свыше 300 °С
Хромель-алюмелевая ТХА	ХА	-50 ÷ +1 000	40,3	4,10	0,16	0,16 + 2 · 10 <sup>-4</sup> (t - 300)
Хромель-копелевая ТХК	ХК	-50 ÷ + 600	83,0	6,95	0,20	0,20 + 6,0 · 10 <sup>-4</sup> (t - 300)
Платинородий-платиновая ТПП	ПП-1	-20 ÷ +1 300	10,1	0,643	0,01	0,01 + 2,5 · 10 <sup>-5</sup> (t - 300)

Примечание. В пределах одной градуировки термомары взаимозаменяемы.

Таблица 4-12 Термоэлектродные материалы, используемые для термомпар

Материал	Состав	Удельное электрическое сопротивление при 20°C, Ом · мм <sup>2</sup> /м	Температурный коэффициент трического сопротивления при 20°C, Ом · мм <sup>2</sup> /м · град <sup>-1</sup>	Материал	Состав	Удельное электрическое сопротивление при 20°C, Ом · мм <sup>2</sup> /м	Температурный коэффициент электрического сопротивления при 20°C, Ом · мм <sup>2</sup> /м · град <sup>-1</sup>
Хромель	89% Ni; 8,9% Cr, остальное Fe, Mn	0,66	0,5 · 10 <sup>-3</sup>	Копель	56% Cu, 44% Ni	0,47	0,1 · 10 <sup>-3</sup>
Алюмель	94% Ni, 5% (Al, Mn, Si), остальное Co, Fe, Cr	0,31	1 · 10 <sup>-3</sup>	Платинородий	90% Pt, 10% Rh	0,49	4,67 · 10 <sup>-3</sup>
				Платина	Pt	0,099	3,94 · 10 <sup>-3</sup>

Таблица 4-13 Градуировочные таблицы термомпар при температуре свободных концов 0°C

Термо-в. д. с., мВ, для градуировок	Температура рабочего конца, °C												
	0	100	200	300	400	500	600	700					
Термо-в. д. с., мВ, для градуировок	ХА	0	4,1	8,13	12,21	16,40	20,65	24,91	29,15				
	ХН	0	6,95	14,66	22,91	31,49	40,16	49,02	—				
	ПП-1	0	0,643	1,436	2,314	3,249	4,218	5,220	6,256				
Термо-в. д. с., мВ, для градуировок	Температура рабочего конца, °C							1 000	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600
	ХА	33,32	37,37	41,92	45,16	48,87	52,43	—	—	—	—	—	
	ХН	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ПП-1	7,325	8,428	9,564	10,732	11,923	13,129	14,338	15,537	16,744	—	—	—	

Таблица 4-14

## Основные модификации термомпар

Тип термомпары	Показатель тепловой инерции $\tau_{00}$ не более	Верхний предел измерения, °С	Условное давление Р, кгс/см <sup>2</sup>	Длина погружаемой части, мм	Материал защитной арматуры	Особенности конструкции; область применения
<i>Погружаемые термомпары</i>						
ТПП-II	3,5'	1 300	Негерметичная	500—2 000	Фарфор	Термомпара вмуровывается в футеровку
ТПП-0565	3,5'	1 300	То же	500—2 000	Сплав Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и 1% TiO <sub>2</sub>	Головка водозащищенная (ВЗ); крепление на замазке
ТХА-VIII	3,5'	800—1 000 600	40	160—1 250		Штуцер неподвижный (ШН)
ТХК-VIII						
ТХА-XIII	3,5'	800—1 000 600	Негерметичная	500—3 200	Сталь Х25Т или 4Х18Н9Т (для ХА) и сталь 20 или 4Х18Н9Т (для ХК)	Без штупера (без крепления)
ТХК-XIII						
ТХА-631	3,5'	900 600	То же	500—3 200		Двойная термомпара; головка ВЗ; штуцер подвижный (ШП)
ТХК-631						

Продолжение табл. 4-14

Тип термометры	Показатель тепловой инерции $\epsilon_{\text{со}}$ не более	Верхний предел измерения, °С	Условное давление Р, кгс/см <sup>2</sup>	Длина погружаемой части, мм	Материал защитной арматуры	Особенности конструкции; область применения
ТХА-284 ТХК-284	1'	600	500	120—320	Сталь Х25Т или 1Х18Н9Т (для ХА) и сталь 20 или 1Х18Н9Т (для ХК)	Головка ВЗ; виброустойчивая; ПН; применяется при скоростях потока до 60 м/с
ТХА-081	1'	660	800	80—200	Сталь 12Х1МФ	То же при скорости до 50 м/с ПН; рабочий спай ка- сается чехла
ТХА-V-XV ТХК-V-XV	10"	600	200	120—320	Сталь 2Х13	
ТХА-146	40"	800	Негерметичная	500—2 000	Сталь 1Х18Н9Т	Без штуцера; рабочий спай приварен к чехлу
ТХК-146		600		500—1 250		
ТХА-0515В ТХК-0515В	20"	600	Для типа ПН—64; ПН—250	120—320	Сталь ОХ13	Головка ВЗ; ПН и ПН; при скоростях до 120 м/с—ПН

Продолжение табл. 4-14

Тип термомоары	Показатель тепловой инерции $\tau_{\text{со}}$ не более	Верхний предел измерения, °С	Условное давление $P$ , кгс/см <sup>2</sup>	Длина погружаемой части, мм	Материал защитной арматуры	Особенности конструкции; область применения
ТХАП-15М	Не нормируется	900	—	Общая длина 15 000	Без защитной арматуры	Без головки; без штуцера. Устанавливается на трубах пароперегревателей котлов
		600				
ТХАП-551 ТХНП-551	3,5'	600	—	Общая длина 174	Сталь 20	Головка ВЗ. Устанавливается на трубопроводах высокого давления
ТХНП-ХVIII	3,5'	400	—	Общая длина с проводом 5 300	Сталь 1Х18Н9Т	Без головки; без штуцера; вывод компенсационным проводом. Устанавливается на стенках барабанов котлов

## Поверхностные термомоары

Для измерения сопротивления изоляции манометрических электроконтактных термометров применяют мегомметры напряжением 1 000 В; для термометров сопротивления и термопар 500 В; для закладных термометров сопротивления, используемых для контроля температуры меди и железа электрических генераторов 250 В (для термопар, у которых рабочий конец соединен с защитным чехлом, измерение сопротивления изоляции не производится).

Сопротивление изоляции токоведущих частей приборов в соответствии с требованиями ГОСТ должно быть:

а) для электроконтактных термометров и термометров сопротивления обычного исполнения не менее 20 МОм при  $t = 20 \pm 5^\circ \text{C}$  и относительной влажности до 80%; для термометров сопротивления при температуре верхнего предела измерений  $t_{\text{в.пр.изм}} \leq 300^\circ \text{C}$  — не менее 2 МОм; при  $t_{\text{в.пр.изм}} \leq 500^\circ \text{C}$  — не менее 1 МОм; при  $t_{\text{в.пр.изм}} > 500^\circ \text{C}$  — не менее 0,5 МОм;

б) для термопар обычного исполнения не менее 5 МОм при  $t = 20 \pm 5^\circ \text{C}$  и относительной влажности до 80%; для влаго- и водозащищенных термопар не менее 0,5 МОм при  $t = 35^\circ \text{C}$  и относительной влажности до 95%.

Сопротивление изоляции нагретой термопары должно быть не менее:

$$R_{\text{из}} \geq \frac{R_{1\text{м}}}{l},$$

где  $l$  — длина нагретой части термопары;  $R_{1\text{м}}$  — сопротивление 1 м длины нагретой термопары.

Величина  $R_{1\text{м}}$  должна быть не менее:

$$\begin{aligned} 70 \text{ кОм} \cdot \text{м} & \text{ при } t_{\text{в.пр.изм}} = 600^\circ \text{C}; \\ 25 \text{ кОм} \cdot \text{м} & \text{ при } t_{\text{в.пр.изм}} = 800^\circ \text{C}; \\ 5 \text{ кОм} \cdot \text{м} & \text{ при } t_{\text{в.пр.изм}} = 1\,000^\circ \text{C}. \end{aligned}$$

Опробование первичных приборов для измерения температуры производят при нагревании прибора в водяном, масляном или солевом термостате и выполняют для стеклянных и манометрических термометров сравнением показаний поверяемого и контрольного термометра не менее чем в двух точках шкалы для стеклянных термометров и в трех-четыре точки для манометрических термометров; для термометров сопротивления опробование производят сравнением сопротивления термометра при температуре помещения с градуировочным значением; для термопар опробование производят сравнением термо-э. д. с. термопары, помещенной в кипятильник, с градуировочным значением с учетом поправки на температуру свободных концов.

При опробовании манометрических электроконтактных термометров указатели задачи сигнальных устройств должны быть установлены за пределами отметок шкалы так, чтобы они не мешали свободному движению стрелки прибора. Проверка работы сигнальных устройств производится как при сближении, так и при разведении указателя сигнального устройства со стрелкой прибора. Схема электрических цепей манометрических термометров приведена на рис. 4-1.

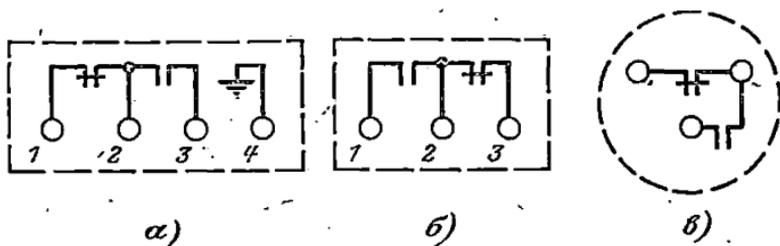


Рис. 4-1. Схема подключения электрических цепей манометрических термометров.

а — ЭКТ; б — ТПЧ-СК, ТПГ-СК; в — ТС.

При измерении «термо-э. д. с. термопары по направлению движения стрелки контрольного прибора проверяется маркировка полярности термопары. При соединении «плюса» контрольного прибора с «плюсом» термопары показания контрольного прибора будут положительными.

Возможные неисправности первичных приборов для измерения температуры и способы их устранения приведены в табл. 4-15.

**Проверка монтажа термоприемников.** Установка термоприемников должна обеспечивать равенство температуры измеряемой среды и термоприемника, для чего теплоотдача от среды к термоприемнику должна быть наибольшей, а утечка тепла по термоприемнику во внешнюю среду должна быть наименьшей.

При измерении температуры воды, пара и металла поверхностей нагрева погрешность измерения в основном определяется утечкой тепла во внешнюю среду по чувствительным элементам и защитной арматуре термоприемников.

При измерении температуры дымовых газов и воздуха погрешность в основном определяется лучистым теплообменом между термоприемником и поверхностями нагрева, расположенными по газозадушному тракту.

В зависимости от величины давления среды термоприемники устанавливаются непосредственно в измеряемую среду или в защитных гильзах. При измерении температуры среды в технологических трубопроводах термоприемники монтируют с помощью бобышек, привариваемых к трубопроводам.

Установка термоприемников должна соответствовать нормам машиностроения (МН) и отраслевым нормалам общепромышленного назначения (МВН). При проверке монтажа необходимо обратить внимание на соответствие необходимой глубины погружения термоприемника и длины погружаемой части, обозначенной в маркировке термоприемника.

Для парожидкостных термометров при наличии разности уровней термобаллона и показывающего прибора учитывают гидростатическую погрешность [Л.11]. Теплофизические свойства наполнителей (зависимость плотности  $\rho$  и давления  $P$  насыщенных паров от температуры  $t$ ), необходимые для определения поправок к показаниям приборов, приведены в [Л.15].

Таблица 4-15

Прибор	Внешние признаки неисправности	Неисправный элемент прибора	Характер неисправности	Способ устранения неисправности
Стеклый термометр	Завышение показаний	Капилляр	Разрыв жидкости	Нагреть термометр до соединения всей жидкости и медленно охладить
Манометрический термометр	Резко заниженные показания Потеря чувствительности	Термосистема Капилляр	Нарушение герметичности Закупорка канала капилляра	Заменить
Термометр сопротивления	Сопротивление термометра равно бесконечности	Чувствительный элемент или выводы	Обрыв	Заменить термометр или устранить поврежденные выводы
	Сопротивление термометра значительно меньше градуировочного значения		Замыкание	
Термопара	Полная потеря чувствительности Частичная потеря чувствительности	Термоэлектроды	Обрыв Нарушение изоляции	Заменить

**Пример.** Термобаллон термометра ЭКТ-1 со шкалой 0—100° С установлен ниже показывающего прибора на 5 м. Показания прибора 40° С. Температура окружающей среды 20° С. Заполнитель термометра — фреон (при  $t = 20^\circ \text{C}$  плотность  $\rho_{20} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^3$ ). По кривой  $P(t)$  [Л.15] для температуры 40° С определяем давление паров заполнителя в трубчатой пружине прибора:  $P_{\text{приб}} = P_{40} = 9,5 \text{ кгс/см}^2$ . Гидростатическая поправка  $\rho H = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = 0,8 \text{ кгс/см}^2$ . Давление в термобаллоне  $P_t = P_{\text{приб}} + \rho H = 9,5 + 0,8 = 10,3 \text{ кгс/см}^2$ . Температура измеряемой среды  $t = 44^\circ \text{C}$ .

### 4-3. ВТОРИЧНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Основные модели и технические характеристики милливольтметров (ГОСТ 9736-68), работающих в комплекте с термопарами стандартных градуировок и датчиками э. д. с., приведены в табл. 4-16.

Основные схемы включения термопар и вторичных приборов приведены на рис. 4-2. Встречное включение двух термопар возможно в случае отсутствия заземленных рабочих концов у обоих термопар. Кроме указанных схем, применяются схемы последовательного и параллельного соединения двух и более термопар, измеряющих температуру одной среды.

Принципиальная схема милливольтметра приведена на рис. 4-3. Внешнее сопротивление  $R_{\text{вн}}$  определяется по формуле

$$R_{\text{вн}} = R_{\text{T}} + R_{\text{П}} + R_{\text{п.к.}}$$

Где  $R_{\text{T}}$  — сопротивление термопары;  $R_{\text{П}}$  — сопротивление соединительных проводов;  $R_{\text{п.к.}}$  — сопротивление подгоночной катушки.

Внутреннее сопротивление прибора  $R_{\text{пр}}$  определяется по формуле

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{д}} + R_{\text{р}}$$

где  $R_{\text{д}}$  — сопротивление добавочной катушки;  $R_{\text{р}}$  — сопротивление рамки прибора.

Для уменьшения влияния внешнего сопротивления на показания милливольтметра рекомендуется применять милливольтметры с большим внутренним сопротивлением  $R_{\text{пр}} \geq (5-10) R_{\text{вн}}$ . При невыполнении этого условия подгоночку сопротивления внешней цепи производят более точно.

Температурный коэффициент прибора без специальной температурной компенсации определяется по формуле

$$\alpha = 0,4 \cdot 10^{-2} \frac{R_{\text{р}}}{R_{\text{д}} + R_{\text{р}}}$$

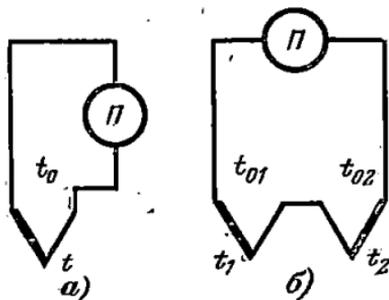


Рис. 4-2. Схемы включения термопар.

а — включение прибора в свободные концы термопары,  $E(t, t_0) = E(t) - E(t_0)$ ; б — встречное включение двух термопар,  $E = E(t_1) - E(t_2)$ ; П — прибор.

Таблица 4-16

Милливольтметр	Тип	Класс точности	Внутреннее сопротивление не менее, Ом	Примечание
Показывающий щитовой профильный	МПЩПр-54м; М-64	1,5	200	—
Самопишущий щитовой профильный с ленточной диаграммой	МСЩПр-00-18	1,0	300	Число точек измерения до шести. Одноточечный прибор имеет фотоэлектрическое регулирующее устройство. Скорость диаграммы 20—80 мм/ч; цикл записи 20 с. Питание ~ 220 В; потребляемая мощность 15 В·А
Малогабаритный в круглом корпусе	ММ-06	2,0	30	С биметаллическим компенсатором температуры. Внешнее сопротивление 10 Ом
То же с многоточечным переключателем на 4, 8, 10, 12 точек	ММП-06			
Щитовой профильный показывающий с двухпозиционным регулирующим устройством	МР1-02М; МР-64-02	1,5	200	Бесконтактное сигнальное устройство, работающее на срыве генерации высокой частоты. Питание от сети ~ 220 В

Примечания: 1. Внешнее сопротивление приборов 5, 15, 25 Ом.

2. В самопишущем приборе запись выполняется с помощью красящих лент; привод кинематической схемы от синхронного микродвигателя типа СД-2, ДСД-2.

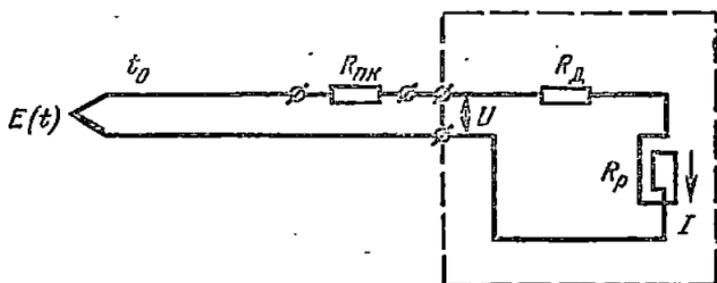


Рис. 4-3. Принципиальная схема милливольтметра.

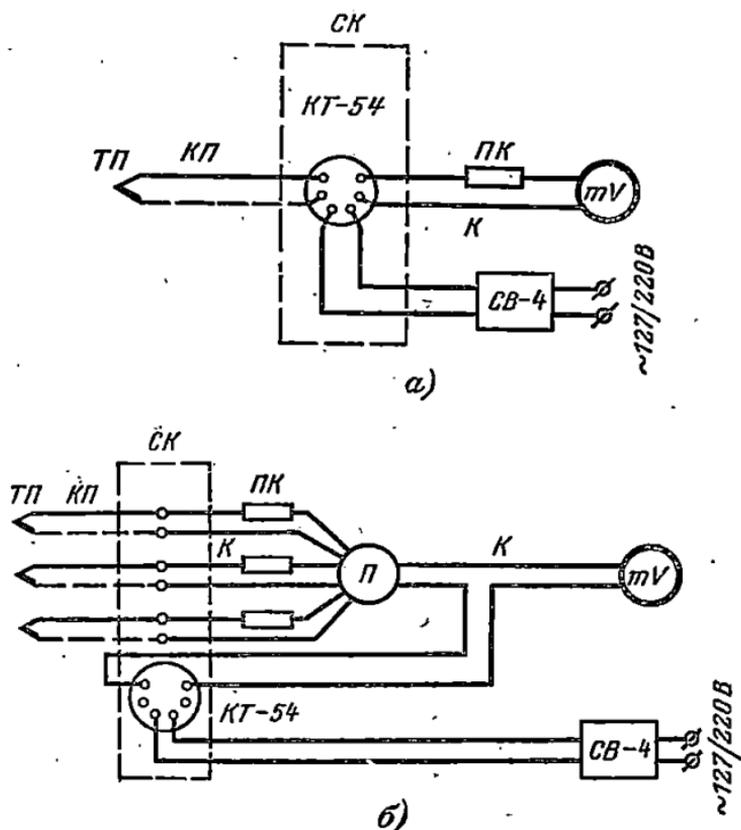


Рис. 4-4. Схемы соединения тер

а — схема с коробкой КТ-54; б — схема с переключателем; в — прямоделю типа СВ-4;  $mV$  — милливольтметр; П, П1, П2 — переключатели; КП — компенсационные провода; К —

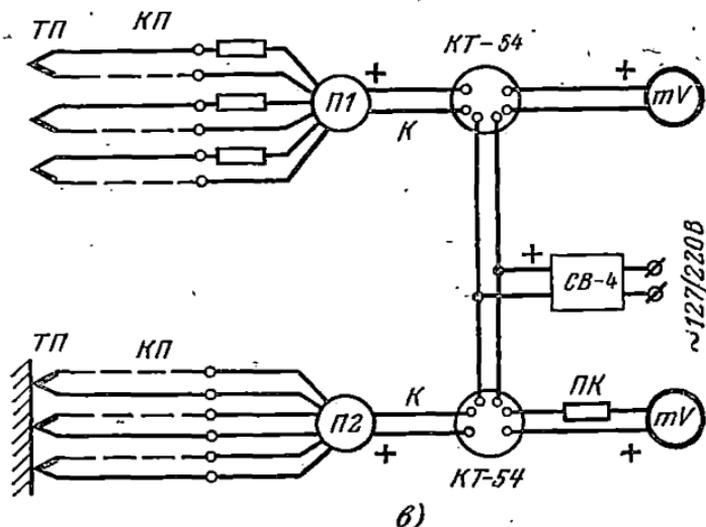
Дополнительная температурная погрешность милливольтметра при изменении температуры окружающей среды от  $+20^{\circ}\text{C}$  на каждые  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  не должна превышать половины основной допустимой погрешности. При этом отношении  $R_{\text{д}}/R_{\text{р}}$  должно быть не менее значений, указанных ниже:

Класс точности прибора	$R_{\text{д}}/R_{\text{р}}$ не менее
0,5 . . . . .	15
1,0 . . . . .	7
1,5 . . . . .	4,2
2,5 . . . . .	2,3

При переградуировке милливольтметра на меньший предел измерения за счет уменьшения  $R_{\text{д}}$  необходимо обращать внимание на величину отношения  $R_{\text{д}}/R_{\text{р}}$ .

Для уменьшения влияния  $R_{\text{пр}}$  применяется температурная компенсация с помощью термисторов (милливольтметры типа МСЩПр-00-18; М-64; ММ-06).

Термопары с милливольтметрами соединяются компенсационными проводами. На рис. 4-4 приведены схемы соединения термопар с милливольтметрами. В схеме на рис. 4-4, а компенсационный провод подключается не к прибору, а к промежуточной соединительной коробке, от которой связь с прибором осуществляется кабелем. Поправка на температуру свободных концов термопары учитывается введением компенсирующего напряжения от коробки КТ-54.



Мопар с милливольтметрами.

схема подключения двух коробок КТ-54 к одному сетевому выключателю; ПК — подгоночные катушки; ТП — термопары; кабель; СВ — соединительная коробка,

На рис. 4-4, б изображена схема с переключателем, применяемая при массовом температурном контроле. На рис. 4-4, в изображена схема соединения нескольких коробок типа КТ-54, работающих от одного сетевого выпрямителя. Схема может применяться при отсутствии заземленных рабочих концов термопар, подключенных к переключателям П1 и П2. При этом термопары, подключаемые к одному переключателю, могут иметь заземленные рабочие концы.

В милливольтметрах типа ММ-06, ММП-06 для введения поправки на температуру свободных концов термопар имеется биметаллический компенсатор. Подключение термопар к приборам с биметаллическими компенсаторами должно производиться компенсационными проводами, что при массовом температурном контроле приводит к усложнению и удорожанию монтажных работ. Необходимо также учитывать, что наличие биметаллического компенсатора загромождает подвижную систему прибора. С учетом вышесказанного применение биметаллических компенсаторов для милливольтметров, установленных на групповых тепловых цитах, является неоправданным. Рекомендуется биметаллический компенсатор демонтировать; подключение термопар к милливольтметру производить по схеме на рис. 4-4, б.

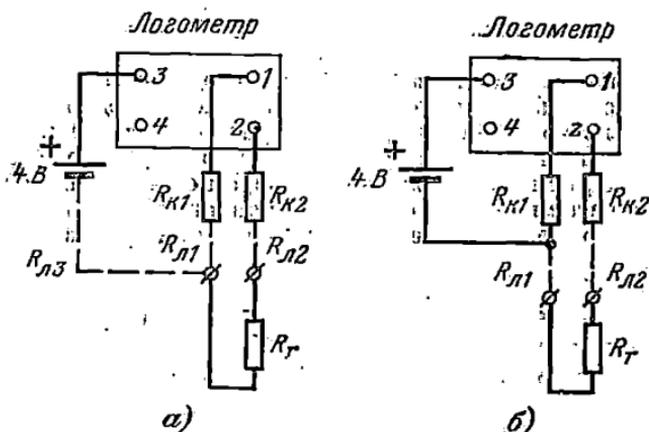


Рис. 4-5. Схемы соединений термометров сопротивления с логометрами типа ЛПР-53М.

а — трехпроводная схема; б — двухпроводная схема;  $R_T$  — термометр сопротивления;  $R_{Л1}$ ,  $R_{Л2}$ ,  $R_{Л3}$  — сопротивление соединительных проводов;  $R_{К1}$ ,  $R_{К2}$  — подгоночные катушки.

Основные модели и технические характеристики логометров (ГОСТ 9736-68), работающих в комплекте с термометрами сопротивления стандартных градуировок, приведены в табл. 4-17.

Термометры сопротивления с логометрами соединяются с помощью кабеля. Не допускается в одном кабеле объединять цепи термометров сопротивления с другими цепями.

Применяются двухпроводная (рис. 4-5, б) и трехпроводная (рис. 4-5, а) схемы соединений.

Недостатком двухпроводной схемы является погрешность измерения, вызванная изменением сопротивления соединительных

проводов при изменении температуры внешней среды. Если эта погрешность более  $1/3$  допустимой, применение двухпроводной схемы не рекомендуется:

Так, для кабеля с медными жилами сечением  $1,5 \text{ мм}^2$ , длиной 100 м при изменении температуры внешней среды на  $30^\circ \text{C}$  изменение сопротивления двух проводов равно  $0,28 \text{ Ом}$ , что для термометров сопротивления гр21 приводит к погрешности измерения на  $1,5^\circ \text{C}$ , а для термометров-сопротивления гр23 на  $1,2^\circ \text{C}$ . При указанных величинах погрешностей двухпроводную схему можно применять для логометров класса точности 1,5 при верхнем пределе измерений не менее  $300^\circ \text{C}$ .

Таблица 4-17

Логометр	Тип	Класс точности	Примечание
Показывающий щитовой профильный	ЛПр-53м; Л-64	1,5	—
Самопишущий щитовой профильный с ленточной диаграммой	ЛСЦПр-00-18	1,0	Число точек измерения до шести. Одноточечный прибор имеет фотоэлектрическое регулирующее устройство. Скорость диаграммы 20—80 мм/ч; цикл записи 20 с. Питание $\sim 220 \text{ В}$ ; потребляемая мощность 18 В·А
Малогабаритный в круглом корпусе	ЛМ-06	2,0	Питание 4 В постоянного тока
Малогабаритный со встроенным преобразователем сетевого питания	ЛМ-08	2,0	Питание $\sim 127, 220 \text{ В}$
Малогабаритный с многоточечным переключателем	ЛМП-06	2,0	Питание от сети $\sim 127, 220 \text{ В}$ через встроенный преобразователь. Переключатель на 4, 8, 10, 12 точек
Щитовой профильный показывающий с двухпозиционным регулирующим устройством	ЛР1-02М; ЛР-64-02	1,5	Бесконтактное сигнальное устройство, работающее на срыве генерации высокой частоты. Питание от сети $\sim 220 \text{ В}$

Примечания: 1. Внешнее сопротивление приборов 5, 15 Ом.

2. В самопишущем приборе запись выполняется с помощью красящих лент; привод кинематической схемы от синхронного микродвигателя типа СД-2, ДСД-2.

Таблица 4-18

Характеристика прибора	Тип прибора		Длина шкалы, мм	Класс точности	Число точек измерения (записи)	Число каналов регулирования	Напряжение питания прибора, В	Потребляемая мощность, Вт
	Потенциометр	Мост						
Крупногабаритный с ленточной диаграммой показывающий самопишущий	ЭП-09МЗ	ЭМП-09МЗ	275	0,5	1, 3, 6, 12, 24	—	220	130
	ЭПР-09МЗ	ЭМР-09МЗ			3, 6, 12	1; с блоком задачи 6, 12		
То же со складывающейся диаграммой	КСП-4	КСМ-4	250	0,25; 0,5	1, 3, 6, 12	До 12	220	40
Крупногабаритный с круговой шкалой показывающий сигнализрующий	—	ЭМДС-26	Диаметр 300	0,5	12	Общая задача для всех 12 точек	127	60

Продолжение табл. 4-18

Характеристика прибора	Тип прибора		Длина шка- лы, мм	Класс точ- ности	Число точек измерения (записи)	Число кана- лов регули- рования	Напряженье питания пе- ременного тока, В	Потребляе- мая мощность не более, В·А
	Потенциометр	Мост						
Малогабаритный с ленточной диаграммой показывающий самопишущий	ПС1	МС1	160	0,5	1, 2, 3, 4, 6, 12	— 1	127, 220	60
	ПСР1	МСР1						
	КСП2	КСМ2			1, 3, 6, 12	1	220	30
Малогабаритный с вращающейся шкалой показывающий	ЭПВ2	ЭМВ2	660	0,5	1, 6, 12	1	127, 220	50
Миниатурный с ленточной диаграммой показывающий самопишущий	ПСМ2	МСМ2	100	1,0	1	— 1	127	50
	ПСМР2	МСМР2						
Миниатурный с круговой шкалой показывающий	ПП4	МП4	315	0,5	1	— 1	127	50
	ППР4	МНР4						

Таблица 4-19

Тип базового прибора	Питание измерительной схемы		Тип двигателя		Время пробега указателем всей шкалы, с	Длины печати (для многоотечных приборов), с	Скорость диаграммы, мм/ч
	Потенциометра	Моста	Реверсивного	Синхронного			
ЭПП-09МЗ	ИПС-06	~ 1,5 В (тип 109); ~ 6,3 В (тип 209)	РД-09	СД-09Л	1; 2,5; 8	0,75—30	20—9 600
КС-4	ИПС-148П	~ 6,3 В	РД-09	СД-54	1; 2,5; 10	1, 4, 12	20—54 000
ЭМДС-26	—	~ 6,3 В	РД-09	СД-54 (перемещение точек)	9	Цикл переключения 120 с	—
ПС1	ИПС-020	~ 6,3 В	Д-249; РД-09А	СД-54	2,5; 8	3,2—12,8	20—360
КС2	ИПС-101	~ 6,3 В	РД-09П2	ДСМ2	1,5—10	1, 3, 9	20—3 600
ЭПВ2	ИПС-020	~ 1,5 В (тип 109); ~ 6,3 В (тип 200)	РД-09	—	8	—	—
ПСМ2	ИПС-148П	~ 6,3 В	РД-09А	СД-2; ДСД-2	1—6	—	20—120
ПП4	ИПС-148	~ 6,3 В	РД-09	—	3,5	—	—

Трехпроводная схема в случае симметричного измерительного мостика (при равенстве постоянных сопротивлений прилежащих плеч) не обладает вышеуказанным недостатком.

Основные модели и технические характеристики потенциометров (ГОСТ 7164-71), работающих в комплекте с термопарами стандартных градуировок и датчиками э. д. с., приведены в табл. 4-18, 4-19.

Принципиальная схема потенциометра приведена на рис. 4-6. Измерительная схема питается от источника стабилизированного питания. Соединение термопары с потенциометром производится компенсационными проводами.

Введение поправки на температуру свободных концов термопары производится автоматически с помощью медной катушки, включенной в измерительную схему. Медная катушка компенсирует отклонение температуры свободных концов от  $30^{\circ}\text{C}$ ; величина сопротивления катушки зависит от градуировки потенциометра.

В многоточечных потенциометрах применяется схема с компенсационной термопарой, попеременно включаемой последовательно с каждой из рабочих термопар (рис. 4-7, а). Одноточечные потенциометры, применяемые для массового контроля, подключаются по схеме на рис. 4-7, б, где  $\Pi$  — выносной переключатель.

Схема соединения термопар для измерения разности температур приведена на рис. 4-2, б. Технические данные потенциометров для измерения разности температур приведены в табл. 4-20.

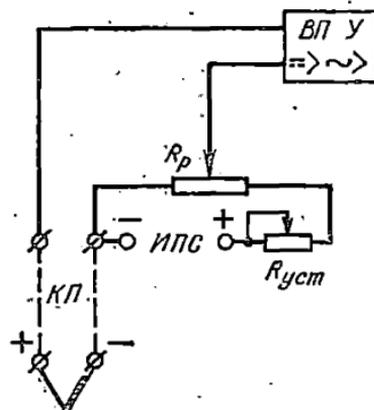


Рис. 4-6. Принципиальная схема автоматического потенциометра.

КП — компенсационные провода; ВП — вибропреобразователь; У — усилитель;  $R_p$  — реохорд;  $R_{уст}$  — резистор установки рабочего тока; ИПС — источник питания стабилизированный.

Таблица 4-20

Тип прибора	Градуировка	Класс точности	Число точек измерения	Шкала прибора, $^{\circ}\text{C}$	Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$
ПСР1-43	ХА	2,0	6	$-150 \div +150$	50—250
ПСР1-44	ХА	1,0	12	$-150 \div +150$	250—650

Основные модели и технические характеристики электронных автоматических уравновешенных мостов (ГОСТ 7164-71), работа-

ющих в комплекте с термометрами сопротивления стандартных градуировок, приведены в табл. 4-18 и 4-19. Принципиальная схема моста приведена на рис. 4-8.

По роду источника питания (ИП) измерительной схемы различают мосты постоянного и переменного тока.

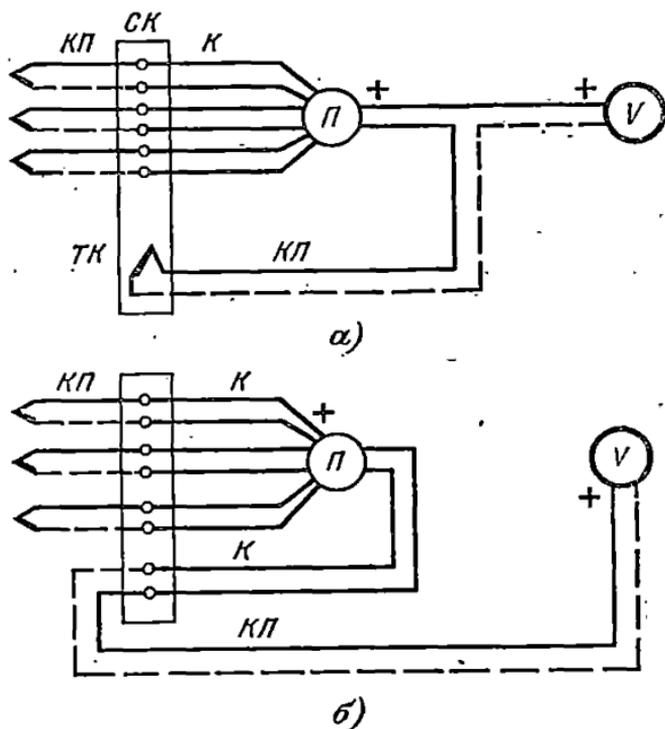


Рис. 4-7. Схемы соединения потенциометров с термопарами при массовом температурном контроле.

*а* — схема многоточечного потенциометра с компенсационной термопарой; *б* — схема одноточечного потенциометра с переключателем; КП — компенсационные провода; К — кабель; П — переключатель; ТК — компенсационная термопара; V — потенциометр.

Мосты постоянного тока применяются при наличии в зоне измерения сильных магнитных полей переменного тока (электрические машины) или для измерения во взрывоопасных помещениях. Питание измерительной схемы производится от источника постоянного тока напряжением 1,5 В (сухой элемент или источник стабилизированного питания). Усилитель моста постоянного тока состоит из вибропреобразователя, входного трансформатора и усилителя переменного тока.

Питание мостов переменного тока производится напряжением 6,3 В от дополнительной обмотки силового трансформатора

Принципиальная схема моста для измерения разности температур приведена на рис. 4-9.

Соединение мостов с термометрами сопротивления производится по трехпроводной схеме. Двухпроводная схема может применяться при небольшой длине кабеля в помещениях с незначительным

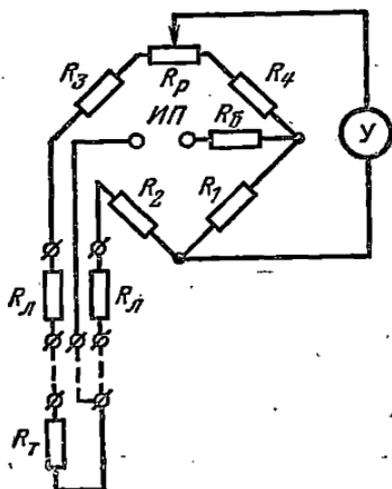


Рис. 4-8. Принципиальная схема автоматического уравновешенного моста.

$R_T$  — термометр сопротивления;  
 $U$  — усилитель;  $R_L$  — сопротивление плеча внешнее, равно 2,5 Ом.

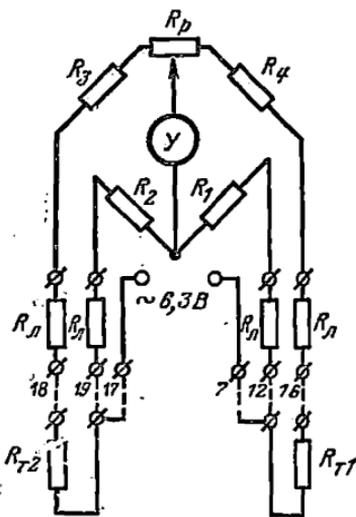


Рис. 4-9. Принципиальная схема моста для измерения разности температур.

Обозначения см. на рис. 4-8.

изменением температуры (погрешность при двухпроводной схеме см. выше).

Общие технические сведения по вспомогательной аппаратуре, используемой при измерении температуры, приводятся ниже.

Компенсационная коробка типа КТ-54 имеет погрешность компенсации в зависимости от градуировки не более (мВ):

Для градуировки ХА . . . . .	$\pm (0,04 + 0,004 \Delta t)$
Для градуировки ХК . . . . .	$\pm (0,65 + 0,0065 \Delta t)$
Для градуировки ПП-1 . . . . .	$\pm (0,015 + 0,0015 \Delta t)$ ,

где  $\Delta t$  — отклонение температуры окружающей среды от  $+ 20^\circ \text{C}$ .  
 При температуре окружающей среды  $50-70^\circ \text{C}$  работа коробок КТ-54 не допускается.

Схема включения коробки КТ-54 в цепь милливольтметра приведена на рис. 4-10. Отличие компенсационных коробок для термометр различной градуировки состоит в величине добавочного

резистора  $R_D$ . Дополнительное сопротивление, вносимое коробкой КТ-54 в цепь милливольтметра, при температуре  $20 \pm 5^\circ \text{C}$  не превышает  $(1 \pm 0,05) \text{ Ом}$ .

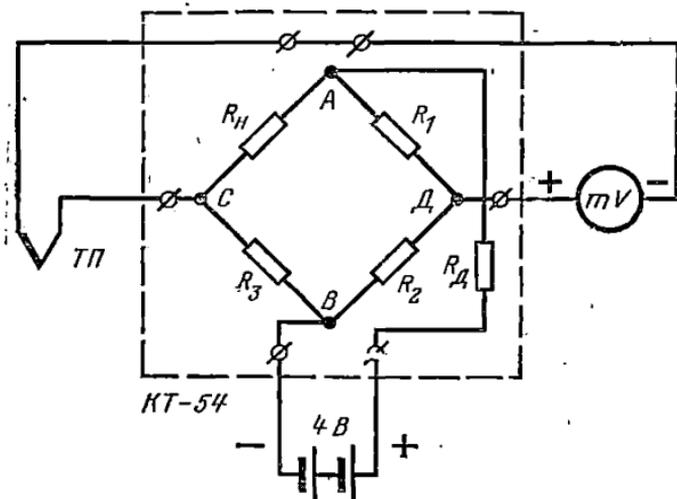


Рис. 4-10. Схема милливольтметра с компенсационной коробкой КТ-54.

ТП — термопара.

Потребление одной коробки при работе с милливольтметрами с внутренним сопротивлением более 50 Ом в зависимости от градуировки не превышает 42 мА — для градуировки ХА, 68 мА — для ХК, 6,2 мА — для ПП-1.

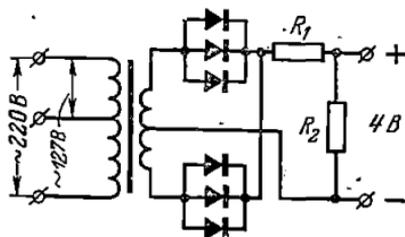


Рис. 4-11. Электрическая схема сетевого выпрямителя СВ-4.

Сетевой выпрямитель типа СВ-4, СВ-4М используется для питания логометров и компенсационных коробок. Электрическая схема выпрямителя приведена на рис. 4-11. Допустимая нагрузка по постоянному току 0,5 А.

Переключатель многоточечный щитовой типа ПМТ предназначен для подключения термометров сопротивления или термопар к измерительному прибору.

Количество точек подключения равно 4, 6, 8, 12, 20. Тип штепсельного разъема — прямой или угловой. Переходное сопротивление контактов 0,01 Ом. В табл. 4-21 указана диаграмма работы переключателя.

Таблица 4-21

Позиция переключателя	Что подклю-чается	Номера контактов или буквенные обозначения птисельного разъема при количестве точек подключения				
		4	6	8	12	20
0	Контрольный сигнал	1-2, А-В	1-2 А-В	1-2 —	1-2 —	1-2 —
1	Термометр (термомара)	3-4 В-Г	3-4 В-Г	3-4 —	3-4 —	3-4 —
2	То же	5-6 Д-Е	5-6 Д-Е	5-6 —	5-6 —	5-6 —
.....						
<i>n</i>	Термометр (термомара)	$(2n+1)$ — $(2n+2)$	$(2n+1)$ — $(2n+2)$	$(2n+1)$ — $(2n+2)$	$(2n+1)$ — $(2n+2)$	$(2n+1)$ — $(2n+2)$
Подключение к прибору		11-12 Л-М	15-16 П-Р	19-20 —	27-28 —	43-44 —

Таблица 4-22

Обозначение провода	Применяется с термопарами	Положительная жила		Отрицательная жила		Термо-в. д. с. в паре между жилами $E (100^\circ, 0^\circ)$ , мВ	Сопротивление 1 м провода, Ом, при сечении (мм <sup>2</sup> )		
		Материал	Расцветка	Материал	Расцветка		1,0	1,5	2,5
М	ТХА	Медь	Красная или розовая	Константан	Коричневая	$4,10 \pm 0,15$	0,52	0,35	0,21
ХА	ТХА	Хромель	—	Алюмель	—	$4,10 \pm 0,15$	0,92	0,63	0,38
ХН	ТХН	Хромель	Фиолетовая или черная	Копель	Желтая или оранжевая	$6,90 \pm 0,3$	1,15	0,77	0,46
П	ТПП	Медь	Красная	Сплав ТП (Cu 99,4%; Ni 0,6%)	Зеленая	$0,64 \pm 0,03$	0,05	0,03	0,02

Таблица 4-23

Марка провода	Характеристика провода	Обозначение материала жил	Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Рабочая температура не выше
ПКВ	Провод компенсационный с поливинилхлоридной изоляцией в поливинилхлоридной оболочке	М ХК П	2,5	65 °С; при влажности 98% не выше 40 °С
ПКТВ	То же гибкий	М ХК П	1,0; 1,5; 1,8; 2,5	
ПКВП	Провод компенсационный с поливинилхлоридной изоляцией в поливинилхлоридной оболочке в оплетке из стальной проволоки	М ХК П	1,0	
ПКЛ	Провод компенсационный с изоляцией из лавсановой пленки с обмоткой стекловолокном или волокном лавсан в общей оплетке из волокна лавсан, подклеенной клеем БФ-2	М ХК	1,5; 1,8; 2,5	120 °С (теплостойкий)
ПКЛЭ	То же экранированный	М ХК	1,5; 1,8	
ПКСЛ	Провод компенсационный с изоляцией из стекловолокна или волокна лавсан в общей оплетке из волокна лавсан, подклеенной клеем БФ-2	М ХК	1,5; 1,8; 2,5	
ПКСЛЭ	То же экранированный	М ХК	1,5; 1,8; 2,5	
КТМС	Кабель терморезистивный с минеральной изоляцией в общем гибком жаропрочном чехле из нержавеющей стали	ХА ХК	Двухжильного: 0,3; 0,5; 0,6; 0,9; четырехжильного: 0,44; 1,13	Для провода с жилами ХА до 800 °С; с жилами ХК до 600 °С

В качестве контрольного сигнала применяется: для логометров — катушка с сопротивлением, соответствующим началу шкалы (см. § 4-4); для милливольтметров — установочная закоротка между контактами 1—2 (А—Б).

*Переключатель пластинчатый (двужконый) типа ПД-6.* Количество точек подключения до трех. Переходное сопротивление каждой пары контактов не более 0,01 Ом.

*Компенсационные провода* предназначены для соединения термомпар и вторичных приборов. В интервале температур 0—100° С они развивают такую же термо-э. д. с., как и применяемая термопара, что позволяет отвести холодный спай термопары в зону более низких и стабильных температур.

Электрические характеристики компенсационных проводов приведены в табл. 4-22, основные марки компенсационных проводов в табл. 4-23.

#### 4-4. НАЛАДКА ВТОРИЧНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

В объем наладки вторичных приборов входит: лабораторная поверка; проверка монтажа электрических соединительных линий; опробование приборов при неработающем агрегате; проверка показаний приборов при работающем агрегате; устранение неисправностей приборов.

В объем лабораторной поверки входит: внешний осмотр; ревизия прибора; проверка сопротивления изоляции токоведущих частей; определение основной погрешности и вариации показаний; проверка работы переключателя входных каналов; определение погрешности срабатывания контактов сигнальных устройств; проверка работы лентопотяжного механизма и качества записи (см. § 3-1). Для стрелочных милливольтметров и логометров дополнительно проверяется уравновешенность подвижной части.

*Уравновешенность подвижной части* милливольтметров и логометров проверяют для трех оцифрованных отметок: в начале, середине и конце шкалы — путем наклона прибора в четыре стороны (вперед, назад, влево, вправо) на угол, величина которого зависит от исполнения прибора (для обыкновенных по механической устойчивости приборов угол наклона 10°). Погрешность показаний при этой проверке должна быть не более допустимой. В противном случае вскрывают прибор и производят балансировку прибора изменением плеч балансирных грузиков.

*Основная погрешность и вариация показаний* вторичных приборов для измерения температуры определяются для всех оцифрованных отметок шкалы приборов при прямом и обратном ходе.

Выбор образцовых приборов приведен в § 3-2. Погрешности прибора подсчитывают согласно табл. 4-24. В случае недопустимых погрешностей производят регулировку приборов.

Схема проверки милливольтметров приведена на рис. 4-12. Перед проверкой стрелку прибора корректором устанавливают на нуль, а при наличии биметаллического компенса-

тора — на отметку, указанную в заводской инструкции, после этого проверяют плавность хода и отсутствие затираний стрелки прибора.

Таблица 4-24

Подсчет погрешностей приборов для измерения температуры

Прибор	Размерность погрешности	Абсолютная погрешность	Допустимая погрешность
Милливольтметр с градусной шкалой	мВ	$E(t, 0^\circ)_{гр} - E_{ОП}$	
Автоматический потенциометр с градусной шкалой при проверке по схемам на рис. 4-20, а, б	мВ	$E(t, t_{лаб})_{гр} - E_{ОП}$	$\frac{K_{П}(E_{к} - E_{н})_{гр}}{100}$
То же по схеме на рис. 4-20, в	мВ	$E(t, 30^\circ)_{гр} - E_{ОП}$	
Логометр	Ом		
Автоматический мост при проверке установкой указателя на проверяемую отметку шкалы	Ом	$R_{гр} - R_{ОМ}$	$\frac{K_{П}(R_{к} - R_{н})_{гр}}{100}$
То же при проверке установкой градуировочных значений сопротивления	°С	$t - t_{ОМ}$	$\frac{K_{П}(t_{к} - t_{н})}{100}$

Примечание. Индексы в формулах обозначают: гр — градуировочное значение; ОП — образцового потенциометра; ОМ — образцового магавина сопротивлений; к, н — конец и начало шкалы.

Проверку основной погрешности производят путем установки стрелки прибора на проверяемую отметку шкалы с помощью ИРН. Величину э. д. с. на выходе ИРН определяют по образцовому потенциометру.

Для приборов градуировки ПП-1 с номинальным внешним сопротивлением 15 Ом при проверке отметок шкалы выше 1 000° С внешнее сопротивление следует увеличить на 1,2 Ом, т. е. до 16,2 Ом.

Градуировочные таблицы термопар при температуре свободных концов 0° С приведены в табл. 4-13,

Если проверка производится при температуре, отличающейся от  $20 \pm 5^\circ \text{C}$ , допустимая погрешность показаний прибора складывается из абсолютных значений допустимой основной погрешности и дополнительной температурной погрешности.

Регулировку диапазона шкалы прибора производят изменением сопротивления резистора  $R_d$ .

Схема проверки логометров приведена на рис. 4-13.

Перед определением основной погрешности проверяют плавность хода и отсутствие затираний стрелки прибора. Проверку установки прибора на контрольную отметку производят по схеме на рис. 4-16. При этом стрелка прибора должна установиться на контрольную отметку с погрешностью, не превышающей допустимую.

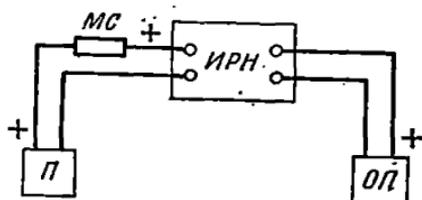


Рис. 4-12. Схема проверки милливольтметров.

МС — магазин сопротивлений для установки внешнего сопротивления  $R_{вн}$  (только для приборов с градусной шкалой); ИРН — источник регулируемого напряжения (выносной или встроенный в ОП); ОП — образцовый потенциометр; П — поверяемый прибор.

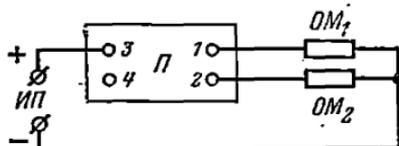


Рис. 4-13. Схема проверки логометров.

$ОМ_1$  и  $ОМ_2$  — образцовые магазины сопротивлений (сопротивление  $ОМ_1$  равно половине внешнего сопротивления; сопротивление  $ОМ_2$  равно сумме градуировочного значения термометра и половины внешнего сопротивления); ИП — источник питания; П — поверяемый прибор

Проверку основной погрешности производят путем установки стрелки поверяемого логометра на оцифрованную отметку шкалы. При этом делают отсчет по образцовому магазину сопротивления. Градуировочные таблицы для логометров различных градуировок приведены в табл. 4-7 и 4-8.

Регулировку диапазона шкалы логометра производят изменением сопротивления проволочных резисторов двух прилегающих плеч мостовой схемы логометра.

Схемы проверки автоматических потенциометров приведены на рис. 4-14. Прибор включают на прогрев в течение 1 ч. За это время проверяют его исправность, общую работоспособность, качество записи или печати.

Исправность прибора проверяют при нажатии кнопки «контроль». При этом указатель должен встать против начальной отметки шкалы в приборах с односторонней шкалой и против отметки «0» в приборах с двусторонней шкалой. Указатель должен устанавливаться возле положения равновесия после одного-двух полуколебаний. При большем числе полуколебаний производится регулировка чувствительности усилителя.

Далее проверяют плавность хода указателя прибора по всей шкале при плавном изменении измеряемой величины.

После прогрева потенциометра проверяют рабочий ток прибора согласно табл. 4-25; при необходимости рабочий ток устанавливают с помощью регулировочного резистора ИПС.

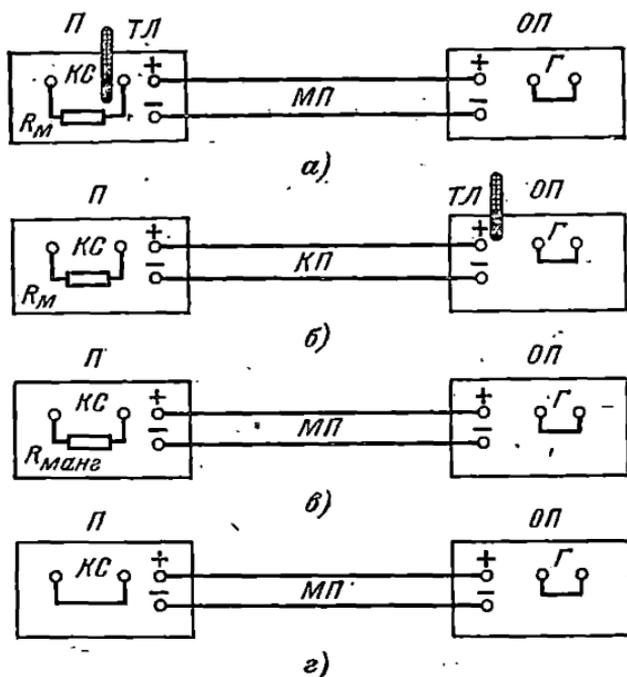


Рис. 4-14. Схемы проверки автоматических потенциометров.

П — прибор; ОП — образцовый потенциометр; МП — медные провода; КП — компенсационные провода; КС — зажимы поверяемого прибора.

Проверку основной погрешности производят путем установки указателя поверяемого потенциометра на оцифрованную отметку шкалы. Входную э. д. с. отсчитывают по образцовому потенциометру. В качестве образцового потенциометра используют переносный потенциометр типа КП-59 или ПП-63. На время проверки гальванометр потенциометра нужно закортить (зажимы Г). Внутреннее сопротивление образцового потенциометра должно быть меньше сопротивления внешней цепи, допускаемого для поверяемого прибора.

Рекомендуется применять схемы проверки на рис. 4-14 с использованием медной катушки  $R_M$  из комплекта прибора,

Схемой на рис. 4-14, а удобно пользоваться при лабораторной проверке в случае, когда  $R_M$  расположено на внешней колодке. Температуру в районе  $R_M$  измеряют лабораторным термометром  $T_L$ .

Схемой на рис. 4-14, б удобно пользоваться при проверке прибора, смонтированного на панели, и в случае, когда  $R_M$  расположено внутри прибора. Компенсационные провода подключают к внешней колодке.

Таблица 4-25

Тип источника питания	Параметры источника питания	Способ проверки рабочего тока источника питания
ИПС-06 ИПС-06М	1,026 В; 6 мА; $R_{нагр} = 173 \text{ Ом}$	Замерить напряжение на установочном резисторе. Оно должно быть равно $12,0 \pm 0,01 \text{ мВ}$
ИПС-020	$2 \pm 0,01 \text{ В}$ ; 5 мА; $R_{нагр} = 400 \text{ Ом}$	Замерить напряжение ИПС, выведенное на внешнюю колодку прибора
ИПС-148 ИПС-148П	5 В; 5 мА; $R_{нагр} = 1 \text{ 000 Ом}$	Замерить напряжение на резисторе контроля рабочего тока. Оно должно быть равно $1,019 \pm 0,003 \text{ В}$ . Измерение производят на внешней колодке прибора (ПСМ2, КСП4) или на специальном гнезде, выведенном на лицевую панель прибора ПП4, с помощью приставки контроля ПК-01. Возможно для измерения использовать образцовый потенциометр ПП-63: измеряемое напряжение подводят к зажимам К1 и К4 образцового потенциометра, переключатели нормального элемента и гальванометра устанавливают в положение «В», отсоединяют перемычку в кассете нормального элемента, переключатель устанавливают в положение «К»; при нажатии кнопок «грубо» или «точно» производят измерение напряжения

При проверке по схемам на рис. 4-14, а и б пользуются таблицами 4-26, 4-27 и 4-28. Знак «минус», указанный в этих таблицах, обозначает полярность зажима образцового потенциометра, подключаемого к зажиму «плюс» проверяемого прибора.

Таблица 4-26

Таблица для проверки потенциометров градуировки ХА

Температура медной катушки, °С	Расчетные значения э. д. с., мВ, для проверяемой отметки шкалы, °С						
	0	100	200	300	400	500	600
18	-0,72	3,38	7,41	11,49	15,68	19,93	24,19
19	-0,76	3,34	7,37	11,45	15,64	19,89	24,15
20	-0,80	3,30	7,33	11,41	15,60	19,85	24,11
21	-0,84	3,26	7,29	11,37	15,56	19,81	24,07
22	-0,88	3,22	7,25	11,33	15,52	19,77	24,03
23	-0,92	3,18	7,21	11,29	15,48	19,73	23,99
24	-0,96	3,14	7,17	11,25	15,44	19,69	23,95
25	-1,00	3,10	7,13	11,21	15,40	19,65	23,91
26	-1,04	3,06	7,09	11,17	15,36	19,61	23,87
27	-1,08	3,02	7,05	11,13	15,32	19,57	23,83
28	-1,12	2,98	7,01	11,09	15,28	19,53	23,79
29	-1,16	2,94	6,97	11,05	15,24	19,49	23,75
30	-1,20	2,90	6,93	11,01	15,20	19,45	23,71

Таблица 4-27

Таблица для проверки потенциометров градуировки ХК

Температура медной катушки, °С	Расчетные значения э. д. с., мВ, для проверяемой отметки шкалы, °С						
	0	100	200	300	400	500	600
18	-1,18	5,77	13,48	21,73	30,31	38,98	47,84
19	-1,24	5,71	13,42	21,67	30,25	38,92	47,78
20	-1,31	5,64	13,35	21,60	30,18	38,85	47,71
21	-1,38	5,57	13,28	21,53	30,11	38,78	47,64
22	-1,44	5,51	13,22	21,47	30,05	38,72	47,58
23	-1,51	5,44	13,15	21,40	29,98	38,65	47,51
24	-1,57	5,38	13,09	21,34	29,92	38,59	47,45
25	-1,64	5,31	13,02	21,27	29,85	38,52	47,38
26	-1,70	5,25	12,96	21,21	29,79	38,46	47,32
27	-1,77	5,18	12,89	21,14	29,72	38,39	47,25
28	-1,84	5,11	12,82	21,07	29,65	38,32	47,18
29	-1,91	5,04	12,75	21,00	29,58	38,25	47,11
30	-1,98	4,97	12,68	20,93	29,51	38,18	47,04

Таблица 4-28

Таблица для проверки потенциометров градуировки ПП-1

Температура медной катушки, °С	Расчетные значения в д. с., мВ, для проверяемой отметки шкалы, °С									
	0	200	400	600	800	1 000	1 200	1 400	1 600	
18	-0,101	1,335	3,148	5,119	7,224	9,463	11,822	14,237	16,613	
19	-0,107	1,329	3,142	5,113	7,218	9,457	11,816	14,231	16,607	
20	-0,112	1,324	3,137	5,108	7,213	9,452	11,811	14,226	16,602	
21	-0,118	1,318	3,131	5,102	7,207	9,446	11,805	14,220	16,596	
22	-0,124	1,312	3,125	5,096	7,201	9,440	11,799	14,214	16,590	
23	-0,131	1,305	3,118	5,089	7,194	9,433	11,792	14,207	16,583	
24	-0,137	1,299	3,112	5,083	7,188	9,427	11,786	14,201	16,577	
25	-0,143	1,293	3,106	5,077	7,182	9,421	11,780	14,195	16,571	
26	-0,149	1,287	3,100	5,071	7,176	9,415	11,774	14,189	16,565	
27	-0,155	1,281	3,094	5,065	7,170	9,409	11,768	14,183	16,559	
28	-0,161	1,275	3,088	5,059	7,164	9,403	11,762	14,177	16,553	
29	-0,167	1,269	3,082	5,053	7,158	9,397	11,756	14,171	16,547	
30	-0,173	1,263	3,076	5,047	7,152	9,391	11,750	14,165	16,541	

В схеме на рис. 4-14, в вместо медной катушки применяется манганиновая. Этой схемой удобно пользоваться в случае колебаний температуры в лаборатории и в некоторых других случаях. При расположении  $R_M$  внутри прибора подключение медных проводов, используемых для проверки, производят внутри прибора после токосъемных колец переключателя, вводя отрезки компенсационных проводов, смонтированных от внешней колодки до переключателя прибора.

Сопротивление манганиновой катушки  $R_{\text{манг}}$  должно быть равно сопротивлению медной катушки при  $30^\circ \text{C}$ ;  $R_{\text{манг}}$  для некоторых типов потенциометров приведено ниже:

Градуйровка	$R_{\text{манг}}$ , Ом, для приборов типа:	
	ПС1, КСП4 и др.	ЭПП-09М3, КСП2
ХА	$5,55 \pm 0,01$	$5,42 \pm 0,01$
ХК	$8,98 \pm 0,01$	$9,02 \pm 0,01$
ПП-1	$0,78 \pm 0,005$	$0,78 \pm 0,005$

При проверке по схеме на рис. 4-14, в в табл. 4-26, 4-27 и 4-28 используется строка для  $t = 30^\circ \text{C}$ .

Для потенциометров, измеряющих разность температур, применяют проверочную схему на рис. 4-14, г. Таблица для проверки таких потенциометров, работающих с термопарами ТХА, составлена путем усреднения градуировочной характеристики термопары ХА в диапазоне температур  $50-600^\circ \text{C}$  и приведена ниже:

Проверяемая от- метка шкалы, $^\circ \text{C}$	-150	-100	-50	0	50	100	150
Расчетное значение в. д. с., мВ . . .	-6,3	-4,2	-2,1	0	2,1	4,2	6,3

В случае, если погрешность потенциометра выходит за допустимые пределы, проверяют сопротивление реохорда (приведенное сопротивление реохорда равно 90, 100 или 300 Ом) и производят подгонку шкалы прибора. Способ уменьшения погрешности зависит от характера изменения погрешности вдоль шкалы: погрешность примерно одинакова по величине и неизменна по знаку — смещают шкалу или указатель относительно тросика; погрешность наибольшая на крайних точках шкалы — изменяют сопротивление подгоночных спиралек начала и конца шкалы; погрешность на крайних точках допустимая, а на промежуточных точках больше допустимой — заменяют реохорд.

Подгоночные спиральки выполнены из манганинового провода диаметром 0,2—0,3 мм. Их сопротивление изменяют перемещением с помощью нагретого паяльника перемычки, установленной на спиральке. Если показания прибора в крайней точке шкалы занижены, сопротивление соответствующей спиральки надо уменьшить, и наоборот. При этом надо учитывать, что изменение сопротивления одной спиральки смещает показания как в начале, так и в конце шкалы. Поэтому после изменения сопротивления одной спиральки

проверяют показания прибора по всей шкале, а затем, если требуется, изменяют сопротивление другой спиральки.

Если вариация показаний превышает допустимую величину, проверяют чувствительность прибора, электронные лампы и при необходимости напряжение трогания реверсивного двигателя.

Схема проверки автоматических мостов приведена на рис. 4-15. После включения прибора и прогрева электронных ламп проверяется исправность прибора нажатием кнопки «контроль». При этом указатель прибора должен встать против начальной отметки шкалы в приборах с односторонней шкалой и против отметки «0» в приборах с двусторонней шкалой. Для мостов типа ЭМДС-26 контрольная точка равна 10% шкалы. Указатель должен устанавливаться возле положения равновесия после одного-двух полуколебаний. При большем числе полуколебаний регулируется чувствительность усилителя.

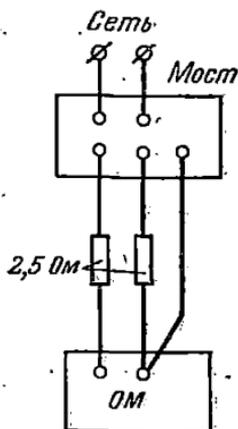


Рис. 4-15. Схема проверки автоматических мостов.

ОМ — образцовый магазин сопротивлений.

Далее проверяют плавность хода указателя прибора по всей шкале при плавном изменении измеряемой величины.

Проверку основной погрешности мостов производят одним из двух способов:

1) на ОМ устанавливают сопротивление, взятое из градуировочной таблицы для температуры, соответствующей проверяемой цифрованной отметке шкалы, проверку выполняют при возрастающих и убывающих значениях устанавливаемых сопротивлений, отсчет производят по шкале поверяемого моста;

2) указатель поверяемого моста устанавливают на цифрованную отметку шкалы, отсчет производят по образцовому магазину.

Для проверки мостов пользуются градуировочными таблицами (табл. 4-7 и 4-8). Таблицы для проверки мостов, измеряющих разность температур, приводятся в заводских инструкциях. Так, заводским данным для мостов типа МСМ2 (схема на рис. 4-9) со шкалой 0—150° С, работающих с двумя термометрами ТСН гр21, диапазон измерения температур первым термометром составляет 265—345° С; вторым термометром соответственно 220—265° С. При проверке  $R_{T1}$  постоянно и равно 83,15 Ом (соответствует 210° С); сопротивление  $R_{T2}$  изменяют согласно следующей зависимости:

Разность температур, °С	0	30	60	90	120	150
$R_{T2}$ , Ом	83,15	88,16	93,17	98,18	103,19	108,20

Подгонка градуировки моста производится так же, как и для потенциометра, в зависимости от характера изменения погрешности вдоль шкалы. Если показания прибора в крайней точке шкалы занижены, сопротивление соответствующей спиральки надо увеличить, и наоборот.

При проверке монтажа электрических соединительных линий обращается внимание на правильность подключения термоприемников ко вторичным приборам и вспомогательной аппаратуре, а также на состояние изоляции измерительных и силовых проводов к приборам; производится подгонка электрического сопротивления внешних цепей приборов.

Применяемые при монтаже контрольные кабели и компенсационные провода должны соответствовать проекту и [Л.27]. Кабели и провода от термопар и термометров сопротивления должны прокладываться отдельно от кабелей напряжением выше 24 В и в разных защитных трубах. Для автоматических потенциометров кабели и провода от термопар для исключения наводок должны прокладываться в стальных трубах, заземленных у прибора.

Правильность подключения термоприемников к вторичным приборам и вспомогательной аппаратуре определяется при проверке соединительных линий с помощью телефонных трубок; все соединительные линии при этом должны быть отключены от термоприемников и вторичных приборов.

Компенсационные провода подключаются к термопарам и вторичным приборам с соблюдением полярности — «плюс» провода подключается к «плюсу» термопары. Полярность установленной термопары при нагревом рабочем конце определяют по показаниям контрольного прибора, подключенного к термопаре. При отсутствии нагрева рабочего конца термопары определение полярности производят по следующим признакам: у термопары ТХА отрицательный электрод (алюмель) обладает заметными магнитными свойствами; у термопары ТХЖ электрод копель имеет более светлый цвет, чем хромель. При ошибочном подключении компенсационных проводов показания прибора будут занижены на величину  $2E(t_r, t_0)$ , где  $t_r$  — температура в месте подключения компенсационных проводов к головке термопары. Указанная ошибка может составлять 60—140° С.

Состояние изоляции электрических соединительных линий проверяют в соответствии с требованиями § 1-4.

При измерении сопротивления изоляции соединительные линии отключают от первичных и вторичных приборов и выключают питание коробок типа КТ-54. Кабели и компенсационные провода подключаются к сборкам зажимов соединительных коробок, щитов и шупльтов.

Сопротивление изоляции цепей от термоприемников к вторичным приборам должно быть не менее 0,5 МОм [Л.23].

При более низком сопротивлении, а также при отклонениях сопротивлений изоляции, указанных в § 1-4, при измерениях появляется дополнительная погрешность из-за ослабления «полезного» сигнала, поступающего от термоприемника. В этих случаях следует выяснить и устранить причину ухудшения изоляции вплоть до замены электропроводки.

При ухудшенной изоляции между жилами компенсационных проводов относительная погрешность показаний потенциометров  $\delta$  определяется по формуле

$$\delta \approx - \left( 1 - \frac{R_{и}}{R_{вн} + R_{и}} \right) \cdot 100 \% ,$$

где  $R_{\text{и}}$  — сопротивление изоляции между жилами компенсационных проводов, Ом;  $R_{\text{вн}}$  — внешнее сопротивление потенциометра, Ом.

Для  $R_{\text{и}} = 100R_{\text{вн}}$  относительная погрешность составляет  $-1\%$ .

Для милливольтметров при ухудшении изоляции компенсационных проводов  $\delta$  определяется по формуле

$$\delta \approx - \frac{R_{\text{вн}} R_{\text{пр}}}{R_{\text{вн}} R_{\text{и}} + R_{\text{вн}} R_{\text{пр}} + R_{\text{и}} R_{\text{пр}}} \cdot 100 \%,$$

где  $R_{\text{пр}}$  — сопротивление милливольтметра.

Для приборов с  $R_{\text{вн}} = R_{\text{пр}}$  при  $R_{\text{и}} = 100R_{\text{вн}}$   $\delta \approx -0,5\%$ ;

для приборов с  $R_{\text{вн}} = 0,1R_{\text{пр}}$  при  $R_{\text{и}} = 100R_{\text{вн}}$   $\delta \approx -0,9\%$ .

После проверки сопротивления изоляции все цепи подключают к приборам; следует обратить особое внимание на надежность подключения электрических цепей на головках термопар и термометров сопротивления.

*Подгонка электрического сопротивления соединительных линий* производится для милливольтметров, логометров и автоматических мостов до номинальной величины внешнего сопротивления прибора  $R_{\text{вн.н}}$  с помощью подгоночных катушек. Измерение внешнего сопротивления при этом производят с помощью измерительного моста.

При измерении внешнего сопротивления милливольтметра при наличии коробки КТ-54 последнюю закорачивают и величину сопротивления коробки принимают равным  $1$  Ом или измерение производят при выключенном питании коробки КТ-54.

Для милливольтметров с внутренним сопротивлением  $R_{\text{пр}} \geq \geq 100$  Ом общее сопротивление соединительных проводов и термопары (сопротивление линии  $R_{\text{л}}$ ) можно принять равным среднеарифметическому значению двух измерений со сменой полярности подключения внешней цепи к измерительному мосту:

$$R_{\text{л}} = \frac{R_{\text{л1}} + R_{\text{л2}}}{2},$$

при этом погрешность определения  $R_{\text{л}}$  прямо пропорциональна отношению термо-э. д. с. термопары к напряжению, приложенному к диагонали измерительного моста.

Для милливольтметров с внутренним сопротивлением  $R_{\text{пр}} < 100$  Ом подгонку внешнего сопротивления производят с учетом температуры соединительных линий на работающем агрегате.

Подгоночную катушку наматывают из манганинового провода (приложение 4) с точностью  $\pm 0,1$  Ом. Необходимая величина сопротивления подгоночной катушки определяется по формуле

$$R_{\text{ПК}} = R_{\text{вн.н}} - R_{\text{л}}.$$

Пайка манганинового провода при подгонке должна производиться припоем марки ПОС-30 или ПОС-40 с применением бескислотного флюса. В качестве флюса могут применяться кашифоль, растворенная на спирте, и паяльная мазь.

Проверка правильности подгонки внешнего сопротивления для милливольтметров с внутренним сопротивлением  $R_{\text{пр}} < 100$  Ом

может быть произведена следующим способом: замеряют потенциометром типа ПП-63 э. д. с. термопары  $E$ , шунтируют вход потенциометра резистором  $R$  и производят повторное измерение э. д. с.; показание потенциометра при втором измерении  $E_R$  будет меньше первоначального значения  $E$ ; внешнее сопротивление определяют по формуле (Ом)

$$R_{вн} = \left( \frac{E}{E_R} - 1 \right) R.$$

Внешнее сопротивление логометра состоит из сопротивления соединительных линий и двух подгоночных катушек.

Для определения сопротивления каждого соединительного провода измеряют сопротивления петли  $R_{л1} + R_{л2}$ .

Для более точного определения сопротивления проводов при использовании трехпроводной схемы делают три измерения  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ . Сопротивления  $R_{л1}$  и  $R_{л2}$  в этом случае подсчитываются по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= R_{л1} + R_{л2} \\ C_2 &= R_{л1} + R_{л3} \\ C_3 &= R_{л2} + R_{л3} \end{aligned} \right\} R_{л1} = \frac{C_1 + C_2 - C_3}{2}; \quad R_{л2} = \frac{C_1 + C_3 - C_2}{2}.$$

При применении трехпроводной схемы питающий провод не всегда можно подключить к головке термометра, например, при измерении температуры меди и железа генератора. В этом случае сопротивление проводов от головки термометра до колодки внешних соединений генератора можно учесть на основании заводских данных.

Сопротивление подгоночных катушек определяют по следующим формулам:

а) при двухпроводной схеме (рис. 4-5, б)

$$R_{к1} = R_{к2} + R_{л1} + R_{л2} = 0,5R_{вн.н};$$

б) при трехпроводной схеме (рис. 4-5, а)

$$R_{к1} + R_{л1} = R_{к2} + R_{л2} = 0,5R_{вн.н}.$$

Катушки наматываются из манганинового провода (приложение 4). Точность намотки катушек должна быть не ниже  $1/3$  допустимой погрешности. Практически рекомендуется выполнять намотку катушек для двухпроводной схемы с точностью  $\pm 0,1$  Ом; для трехпроводной схемы с точностью  $\pm 0,05$  Ом.

Подгонка внешнего сопротивления автоматических мостов производится аналогично подгонке сопротивления логометров. Намотку подгоночных катушек рекомендуется производить с точностью  $\pm 0,03$  Ом.

**Опробование приборов при неработающем агрегате.** Опробование комплектов приборов для измерения температуры производят путем включения в работу вторичных приборов и всей вспомогательной аппаратуры.

Для включения в работу милливольтметров разарретрируют стрелку прибора и подают напряжение на источник питания типа

СВ-4 и компенсационную коробку типа КТ-54; для включения логометров подают напряжение на источник питания типа СВ-4; для включения потенциометров и мостов подают напряжение на силовую часть этих приборов.

Для потенциометров и мостов, расположенных в пыльных помещениях (местные щиты пылеугольных котлов), рекомендуется производить заливку реохордов приборов трансформаторным маслом.

В комплекс дальнейшего опробования *милливольтметров* входит:

1) введение поправки на температуру свободных концов термопары, для чего стрелку милливольтметра при отключенной термопаре с помощью механического корректора устанавливают на отметку шкалы, соответствующую средней температуре свободных концов. При наличии коробки КТ-54 стрелку устанавливают на отметку  $20^{\circ}\text{C}$ . Проверку работы КТ-54 производят при закороченной термопаре, при этом показания милливольтметра должны быть равны температуре в районе коробки КТ-54;

2) проверка работы биметаллического компенсатора при отключенной термопаре. Показания прибора в этом случае должны быть равны температуре окружающей среды. В противном случае производят подкорректировку прибора.

В комплексе дальнейшего опробования *логометров* входит: 1) проверка напряжения питания — при отклонении напряжения более чем на  $\pm 20\%$  от номинального значения необходимо заменить источник питания; 2) проверка точности подгонки внешнего сопротивления

Рис. 4-16. Проверка подгонки внешнего сопротивления логометра.

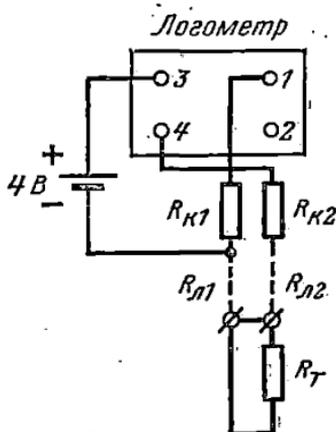
Обозначения см. на рис. 4-5.

по схеме, приведенной на рис. 4-16. Стрелка логометра при этой проверке должна установиться на контрольной отметке.

При применении в схеме измерения переключателей все свободные точки переключателя соединяют с «нулевой» точкой переключателя. К «нулевой» точке переключателя подключают катушку, сопротивление которой равно сопротивлению термометра при температуре начала шкалы логометра плюс номинальное внешнее сопротивление.

В комплекс дальнейшего опробования *потенциометров* входит: 1) проверка исправности прибора при нажатии кнопки «контроль»; 2) регулировка чувствительности усилителя; 3) проверка работы медной катушки (кроме приборов с безнулевой шкалой); 4) проверка целостности цепи термопары.

Для проверки работы медной катушки закорачивают концы термопары на колодке прибора, при этом указатель прибора должен показывать температуру медной катушки. Для проверки целостности цепи термопары закорачивают медную катушку, при этом



показания прибора должны уменьшиться на величину температуры медной катушки.

В комплекс дальнейшего опробования мостов входит: 1) проверка исправности прибора при нажатии кнопки «контроль»; 2) регулировка чувствительности усилителя.

При проверке многоточечных мостов все свободные точки нужно соединить с рабочими точками или же все свободные точки объединить и подключить к ним катушку с сопротивлением, равным сопротивлению термометра при 20° С, плюс номинальное внешнее сопротивление.

Проверка показаний приборов при работающем агрегате. Проверка правильности показаний приборов для измерения температуры производится при работающем агрегате при нормальных режи-

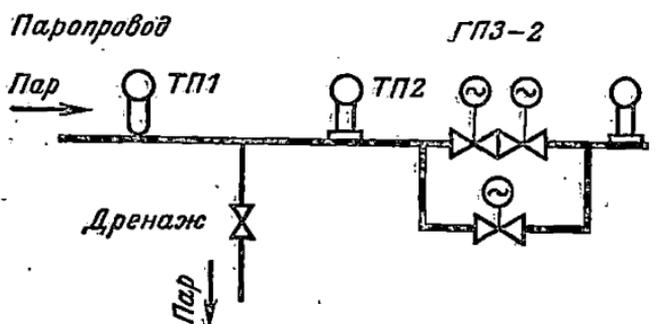


Рис. 4-17. Схема расположения термодатчиков на паропроводе.

мах. При этом показания приборов должны соответствовать тепловому расчету и режимной карте агрегата.

Для контроля показаний милливольтметров и потенциометров измеряют э. д. с. на головке термометра  $E(t, t_r)$ ; по температуре головки термометра  $t_r$  находят поправку  $E(t_r, 0^\circ)$  и определяют э. д. с., соответствующую температуре рабочего конца термометра  $t$  по формуле

$$E(t, 0^\circ) = E(t, t_r) + E(t_r, 0^\circ),$$

которая должна соответствовать показанию милливольтметров и потенциометров.

Для контроля показаний логометров и мостов измеряют сопротивление на головке термометра и сравнивают его с показаниями приборов.

При нестационарных режимах работы агрегата (продувки, прогревы паропроводов и др.) оценка правильности показаний приборов должна производиться с учетом точного расположения термодатчиков на трубопроводах. Так, при прогреве паропровода (рис. 4-17) через дренажный трубопровод температура термометра ТП2 будет значительно ниже температуры термометра ТП1.

#### 4-5. ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ ВТОРИЧНЫХ ПРИБОРОВ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Возможные неисправности первичных приборов для измерения температуры приведены в табл. 4-15.

Возможные неисправности в работе потенциометров и способы их устранения приведены в табл. 4-29. Устранение неисправностей производят при выключенном приборе. В случае замены неисправного усилителя необходимо произвести проверку основной погрешности показаний прибора.

Возможные неисправности в работе мостов и способы их устранения аналогичны неисправностям потенциометров за исключением случаев, относящихся к датчику, источнику питания, компенсационным проводам. В табл. 4-30 приведены дополнительные случаи неисправностей, относящихся к мостам.

Неисправности кинематических узлов прибора определяют по «легкости» хода при перемещении их от руки. Смазывание кинематических узлов прибора и чистка контактных поверхностей описаны в § 2-2.

Неисправности узла или элемента электрической схемы приборов могут быть выявлены следующими способами.

Проверка исправности усилителя и определение его чувствительности производятся с помощью установки ИПУ-01М или по схеме, приведенной на рис. 4-18. Регулируемое напряжение на вход усилителя подают через делитель ( $R = 20 \text{ Ом}$ ) от источника напряжения величиной 1,5 В постоянного или переменного тока (в зависимости от рода входного сигнала проверяемого усилителя). Ток в делителе измеряют миллиамперметром постоянного или переменного тока с пределами измерения 3—60 мА. При значениях сопротивлений, показанных на рис. 4-18, изменение тока на 0,1 мА соответствует изменению входного напряжения на 1 мВ.

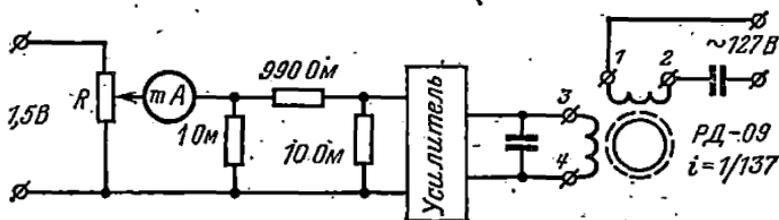


Рис. 4-18. Схема проверки чувствительности усилителя.

При определении чувствительности корпус усилителя необходимо заземлить. При наибольшем усилении определяют минимальные напряжения  $U_1$  и  $U_2$  на входе усилителя, при которых реверсивный двигатель начинает безостановочно вращаться в обе стороны.

Возможные неисправности электронных потенциометров и способы их устранения

Внешние признаки неисправности	Неисправный элемент прибора	Характер неисправности	Способы устранения неисправности
Полная потеря чувствительности на всех точках	Кинематическая система измерительной схемы	Засадание в редукторе реверсивного двигателя Обрыв тросика	Произвести ревизию или заменить двигатель Заменить тросик
	Реверсивный электродвигатель	Повреждение обмотки Повреждение заднего опорного подшипника	Заменить двигатель Заменить ротор двигателя или весь двигатель
	Реохорд	Отсутствие контакта между движком (роликом) и спиралью реохорда	Чистка реохорда; замена ролика
	Усилитель	Полный выход из строя электронных ламп Потеря чувствительности усилителя	Заменить электронные лампы Восстановить электрическую схему или заменить усилитель
	Входной трансформатор	Замыкание; обрыв	Заменить трансформатор
	Силовой трансформатор	То же	То же
Источник стабилизированного питания	Обрыв цепей	Устранить обрыв	

Продолжение табл. 4-29

Внешние признаки неисправности	Неисправный элемент прибора	Характер неисправности	Способы устранения неисправности
Полная потеря чувствительности на части точек для многоточечных приборов	Переключатель точек	Отсутствие контакта	Чистка переключателя
	Датчик прибора	Обрыв	Заменить датчик
Заниженная чувствительность на всех точках	Кинематическая система измерительной схемы	Повышенное трение в кинематической системе Чрезмерный натяг трюсика	Произвести ревизию Ослабить натяг
	Реохорд	Загрязнение, окисление реохорда или ролика	Чистка реохорда, ролика
	Усилитель	Частичная потеря эмиссии электронных ламп	Заменить электронные лампы
Датчик или прибор находятся в зоне действия сильных магнитных полей переменного тока		Влияние магнитных полей	Проверить качество заземления корпуса прибора. Применить экранирование проводов, установить на входе прибора С-фильтр

Продолжение табл. 4-29

Внешние признаки неисправности	Неисправный элемент прибора	Характер неисправности	Способы устранения неисправности
Заниженная чувствительность на части точек для многоточечных приборов; разброс показаний	Переключатель точек Датчик прибора Реохорд	Загрязнение Внешнее сопротивление больше 100 Ом или больше 200 Ом Загрязнение реохорда	Чистка переключателя Уменьшить сопротивление линии Чистка реохорда
Разная чувствительность в начале и конце шкалы; потеря чувствительности	Вибропреобразователь	Разрегулировка	Отрегулировать вибропреобразователь
Зашкаливание за начало шкалы	Датчик	Перекутана полярность подключения	Правильно подключить
Зашкаливание за начало или конец шкалы	Катушки мостовой схемы	Обрыв	Восстановить катушки
Указатель медленно перемещается к началу шкалы до упора (для приборов с сигнализацией обрыва термометра)	Датчик	Обрыв	Устранить обрыв
При нажатии кнопки «контроль» указатель не устанавливается на контрольную точку	Источник стабилизированного питания Кинематическая схема измерительной схемы	Несоответствие рабочего тока Несоответствие указателя положению реохорда	Установить рабочий ток Сместить указатель относительно троечника

Продолжение табл. 4-29

Внешние признаки неисправности	Неисправный элемент прибора	Характер неисправности	Способы устранения неисправности
Резко заниженные показания. (на 60—140° С)	Компенсационные проволочные элементы	Неправильное подключение к датчику	Подключить с соблюдением полярности
Повышенная погрешность показаний	Усилитель	Частичная потеря эмиссии электронных ламп	Заменить электронные лампы
Диаграммная лента не перемещается; не переключаются точки многоточечного прибора	Кинематическая система слововой части прибора Синхронный электродвигатель	Заедание в редукторе синхронного двигателя Аналогично резервному электродвигателю	Провести ревизию или заменить двигатель
Диаграммная лента не перемещается	Редуктор лентопротяжного механизма «Паразитная» шестерня	Заедание в редукторе; повреждение шестерни Отсутствие зацепления	Провести ревизию; заменить шестерню Восстановить зацепление
Не переключаются точки многоточечного прибора;	Редуктор механизма многоточечной печати	Заедание в редукторе; повреждение шестерни	Провести ревизию; заменить шестерню
Неудовлетворительное качество записи	Капилляр пера Наконечник пера	Засорение капилляра Царапание диаграммы	Прочистить или промыть Провести пригибку пера

Возможные неисправности электронных мостов и способы их устранения

Внешние признаки неисправности	Неисправный элемент прибора	Характер неисправности	Способы устранения неисправности
Полная потеря чувствительности на части точек для многоточечных приборов	Переключатель точек Датчик	Отсутствие контакта Обрыв питающего провода	Чистка переключателя Восстановить схему
Заниженная чувствительность на всех точках	Сухой элемент (для мостов постоянного тока)	Посадка элемента	Заменить сухой элемент
То же на части точек	Переключатель точек	Загрязнение переключателя	Чистка переключателя
Указатель прибора зашкаливает за начало шкалы	Датчик	Обрыв одного из проводов Неправильное подключение питающего провода	Восстановить схему
		Короткое замыкание в термометре Обрыв термометра (для мостов типа ЭМДС, ЭМР)	Заменить термометр
Указатель зашкаливает за конец шкалы	Датчик	Обрыв одного из проводов Обрыв термометра (при отсутствии устройства, выводящего указатель за начало шкалы)	Восстановить схему Заменить термометр

## Примеры.

$$1. U_1 = 20 \text{ мкВ}, U_2 = 16 \text{ мкВ}.$$

Порог чувствительности равен 2 мкВ; смещение нуля равно 18 мкВ.

$$2. U_1 = 300 \text{ мкВ}, U_2 = 200 \text{ мкВ}.$$

Порог чувствительности равен 50 мкВ; смещение нуля равно 250 мкВ.

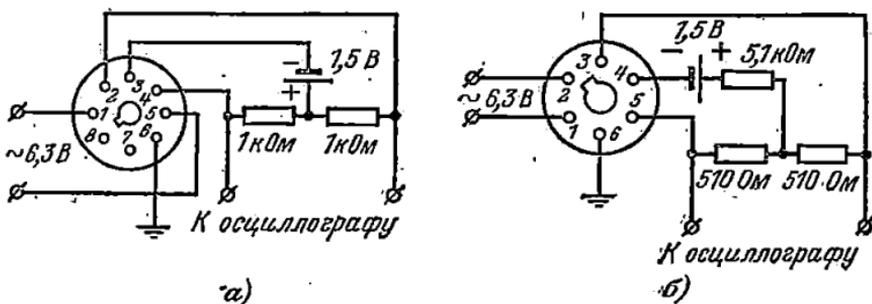


Рис. 4-19. Схема проверки вибропреобразователя с помощью осциллографа.

а — схема проверки вибропреобразователя типа ВПМ2; б — схема проверки вибропреобразователя типа ВП.

Проверка исправности вибропреобразователя производится осциллографом. Схема проверки приведена на рис. 4-19. Осциллограф настраивают так, чтобы на экране было видно 1,5—2 периода кривой импульсов тока на выходе вибропреобразователя (рис. 4-20). Длины линий *ab* и *de* соответствуют времени замыкания одной из контактных групп; длина линии *eg* соответствует времени одновременного замыкания или размыкания обеих контактных групп.

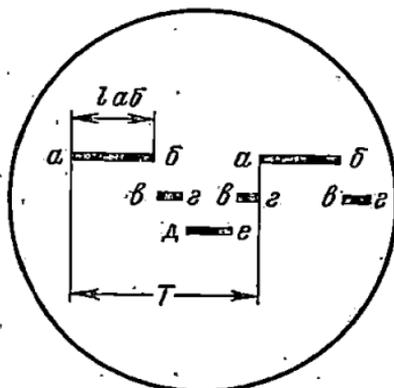


Рис. 4-20. Изображение импульсов тока на экране осциллографа.

а) одинаковое время поочередного замыкания контактных групп:  $l_{ab} = l_{de} \pm (0,05 - 0,07) T$ ;

б) минимальное время одновременного замыкания или размыкания контактных групп:  $l_{eg} < (0,05 - 0,10) T$ .

В случае необходимости производится регулировка с помощью регулировочных винтов; грубая регулировка производится пере-

мещением магнита и подгибанием контактов. После регулировки вибропреобразователь надо «состарить», для чего включают его в работу (подают ~ 6,3 В) на 48 ч, затем вновь проверяют регулировку. На работающем приборе вследствие нагрева вибропреобразователя происходит разрегулировка последнего, поэтому рекомендуется «старение» и регулировку вибропреобразователя производить в условиях, приближенных к рабочим.

**Проверка исправности входного трансформатора** производится путем измерения сопротивления обмоток. Результаты измерения сравнивают с данными, приведенными в табл. 2-3.

**Проверка исправности силового трансформатора** производится измерением сопротивления постоянному току обмоток или измерением напряжения на обмотках. Результаты измерений сравнивают с данными, приведенными в табл. 2-6 и 2-7.

Сопротивление изоляции цепей питания усилителя и незаземленных внешних цепей силового трансформатора усилителя по отношению к корпусу и между собой должно быть не менее 50 МОм. Сопротивление изоляции измеряют мегомметрами, как указано в § 1-4.

Электрическая изоляция входной цепи усилителя, цепи питания и внешних цепей силового трансформатора должна выдерживать в течение 1 мин при нормальных условиях следующие испытательные напряжения переменного тока 50 Гц:

Незаземленная входная цепь и цепи с напряжением до 40 В . . . . .	500 В
Остальные цепи . . . . .	1 500 В

**Обнаружение неисправного участка электрической схемы усилителей** производится измерением по отношению к корпусу (земле) сопротивлений или напряжений в отдельных точках схемы усилителя. Полученные значения сравнивают соответственно с картами сопротивлений или напряжений проверяемого усилителя, приводимыми в заводских монтажно-эксплуатационных инструкциях на прибор. В картах напряжений должно быть указано входное сопротивление вольтметра, которым произведены измерения.

Указанная проверка не всегда является достаточной. Рекомендуется обнаружение неисправного участка по каналу усиления напряжения производить осциллографом любого типа, на экране которого наблюдают форму кривой напряжения на сетках и анодах электронных ламп при изменении величины фазы или полярности входного сигнала. Изменение величины и фазы напряжения в указанных точках свидетельствует об исправности проверяемого участка.

**Для обнаружения неисправного элемента схемы усилителя** проверяют исправность электронных ламп, полупроводниковых элементов, резисторов и конденсаторов.

*Исправность электронных ламп* проверяют с помощью испытателя ламп. Электронные лампы также проверяют путем их замены заведомо исправными лампами или включением проверяемых ламп в исправный прибор.

*Исправность полупроводниковых элементов* проверяют с помощью специальных приборов. Полупроводниковые диоды также проверяют с помощью омметра измерением сопротивления диода в прямом и обратном направлениях при отсоединенном от схемы одном выводе. Сопротивление диода в прямом направлении составляет десятки — сотни Ом в зависимости от типа диодов; сопротивление в обратном направлении составляет десятки, сотни или тысячи кОм.

*Исправность резисторов* проверяют измерением их сопротивления с помощью омметра. Сопротивление резисторов проверяют при отсоединенном от схемы одном выводе. Неисправность резисторов также определяют по следующим внешним признакам: обугливание покрытия, появление светлых колец на внешней поверхности, отставание части проводящего слоя, разрушение проводящего слоя.

*Исправность конденсаторов* проверяют с помощью мостов переменного тока или других специальных приборов. Конденсаторы большой емкости (больше 0,5 мкФ) также проверяют с помощью омметра. При подключении омметра к выводам исправного конденсатора стрелка омметра резко отклоняется за счет заряда от батареи омметра, а затем возвращается в положение, соответствующее сопротивлению утечки конденсатора. При указанной проверке один из выводов конденсатора отсоединяют от схемы. Проверку конденсаторов небольшой емкости производят путем их замены заведомо исправными. Пробой конденсаторов определяют измерением их сопротивления с помощью омметра. При полном пробое (коротком замыкании) сопротивление конденсатора близко к нулю; при частичном пробое сопротивление имеет небольшую величину — сотни или тысячи Ом.

Проверка исправности электродвигателей прибора производится измерением сопротивления обмоток. Результаты измерения сравнивают с данными, приведенными в табл. 2-9. Для проверки работы двигателя типа РД-09 на зажимы 3, 4 колодки двигателя подают напряжение по схеме на рис. 2-4, в. Напряжение трогания двигателя в любом направлении не должно превышать 3,5 В.

## РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

### НАЛАДКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ, РАЗРЕЖЕНИЯ, РАСХОДА И УРОВНЯ

#### 5-1. ПЕРВИЧНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ

В качестве технических приборов применяются жидкостные и пружинные приборы. Поршневые приборы применяются только в качестве образцовых приборов.

Основные разновидности жидкостных приборов приведены в табл. 5-1. Плотность уравнивающих жидкостей приведена в приложении 5.

Основные разновидности пружинных приборов приведены в табл. 5-2.

Таблица 5-1

## Основные разновидности жидкостных приборов

Разновидность жидкостных приборов	Уравновешивающая жидкость	Пределы измерения	Назначение приборов	Особенности применения
U-образные	Вода	-600 ÷ +600 мм вод. ст.	Тягонапорометр	Удаление прибора от места измерения ограничено длиной импульсных линий
	Ртуть	-600 ÷ +600 мм рт. ст.	Дифманометр	
	Вода	1 000 мм вод. ст.	Тягонапорометр	
	Ртуть	760 мм рт. ст.	Вакуумметр	
Чашечные с вертикальной трубкой	Ртуть	1 кгс/см <sup>2</sup>	Манометр, дифманометр	Возможна дистанционная электрическая передача
	Масло	400 кгс/м <sup>2</sup>	Тягонапорометр	
Колокольные	Трансформаторное масло	400 кгс/м <sup>2</sup>	Тягонапорометр, дифманометр	

Таблица 5-2

## Основные разновидности пружинных приборов

Разновидность пружинных приборов	Упругий элемент	Пределы измерения	Назначение приборов	Особенности применения
С трубчатой пружиной	Одновитковая пружина	$-1 \div +1600$ кгс/см <sup>2</sup>	Манометр, вакуумметр, мановакуумметр	1. Возможна дистанционная электрическая передача показаний в комплекте с вторичными приборами 2. Невозможность точного измерения низкого избыточного давления при удалении прибора от места измерения
	Многовитковая пружина	$-1 \div +160$ кгс/см <sup>2</sup>		
Сильфонные	Гармониковая мембрана	$-1 \div +4,6$ кгс/см <sup>2</sup>	Манометр, вакуумметр, мановакуумметр, дифманометр	
Мембранные	Мембранная коробка	До 2500 кгс/м <sup>2</sup>	Тягонапометр	
	Блок мембранных коробок	До 8 кгс/см <sup>2</sup>	Манометр, вакуумметр, дифманометр	

Область применения в теплоэнергетике технических приборов для измерения давления и разрежения приведена в табл. 5-3.

Таблица 5-3

Область применения технических приборов для измерения давления и разрежения

Наименование приборов	Объект измерения
Манометры	Сосуды, работающие под давлением, — котлы, паровые турбины, подогреватели, трубопроводы пара, питательной воды, конденсата, сетевой воды, газа, мазута и пр.; газомасляные системы турбоагрегатов и вспомогательного оборудования
Вакуумметры	Конденсаторы паровых турбин, всасывающие линии насосов
Мановакуумметры	Система регенеративного подогрева
Дифманометры-перепадомеры	Различные участки газоздушных и пароводяных трактов котлов
Тягонапорометры	Газоздушные тракты котлов и мельничных систем

Основные технические характеристики манометров, вакуумметров и мановакуумметров общепромышленного назначения (ГОСТ 2405-63 и 8625-69) приведены в табл. 5-4 (показывающие); в табл. 5-5 (электронно-контактные) и в табл. 5-6 (с электрической дистанционной передачей):

Основная допустимая погрешность, численно равная классу точности прибора в процентах, выражается для приборов с односторонней шкалой в процентах от верхнего предела измерений; для приборов с двусторонней шкалой — в процентах от суммы верхних пределов измерений.

Верхние пределы измерений манометров соответствуют следующему ряду: 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1 000 кгс/см<sup>2</sup> и т.д.

Верхний предел измерения вакуумметра 0,6 и 1 кгс/см<sup>2</sup> или 760 мм рт. ст.

Верхний предел измерения мановакуумметра: по вакуумной шкале 1 кгс/см<sup>2</sup>; по шкале давления — 0,6; 1,5; 3; 5; 9; 15; 24 кгс/см<sup>2</sup>.

При выборе манометров предельно допустимое рабочее давление не должно превышать  $\frac{3}{4}$  верхнего предела измерений при постоянном или медленно меняющемся давлении и  $\frac{2}{3}$  верхнего предела измерений при переменном давлении измеряемой среды.

Таблица 5-4

## Манометрические показывающие приборы

Наименование	Тип, конструктивная характеристика			Диапазон верхних пределов измерений, кгс/см <sup>2</sup>	Класс точности
	Без фланца, радиальный штуцер	Задний фланец, радиальный штуцер	Передний фланец, осевой штуцер		
Манометр	ОБМ-100	ОБМ-1006	МОШ-100	1—40	2,5
	ОБМ-160	ОБМ-1606	МОШ-160		1,6
	ОБМГн-100	ОБМГн-1006	МГнОШ-100	60—250	2,5
	ОБМГн-160	ОБМГн-1606	МГнОШ-160	60—600	1,6
Мановакуумметр	ОБМВ-100	ОБМВ-1006	МВОШ-100	По давлению 0,6—24; по разрежению—1	2,5
	ОБМВ-160	ОБМВ-1606	МВОШ-160		1,6; 2,5
Вакуумметр	ОВВ-100	ОВВ-1006	ВОШ-100	—1	2,5
	ОВВ-160	ОВВ-1606	ВОШ-160		1,6

Примечание. Цифры в индексе типа прибора означают диаметр корпуса, мм.

На циферблате манометров, установленных на сосудах, работающих под давлением (барабаны котлов, паропроводы, подогреватели и др.), должна быть нанесена красная черта через деление шкалы, соответствующее допустимому рабочему давлению. Взамен красной черты разрешается укреплять снаружи манометра металлическую пластинку, окрашенную в красный цвет и плотно прилегающую к стеклу манометра.

Верхние пределы измерений дифманометров-перепадомеров (ГОСТ 3720-66) с односторонней шкалой и сумма абсолютных значений пределов измерений дифманометров-перепадомеров с двусторонней симметричной шкалой соответствуют следующему ряду: 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1 000; 1 600; 2 500 кгс/м<sup>2</sup>; 0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3 кгс/см<sup>2</sup>.

Таблица 5-5

## Манометрические показывающие электроконтактные приборы

Наименование	Тип	Диапазон верхних пределов измерения, кгс/см <sup>2</sup>	Класс точности
Манометр	ЭКМ-160-1 ЭКМ-160-2 ВЭ-16РБ	1—60 100—1 600 - 1—1 600	1,6
Мановакуумметр	ЭКМ-В-160 ВЭ-16РБ	По давлению 0,6—24; по разрежению —1	1,6; 2,5
Вакуумметр	ЭКВ-160 ВЭ-16РБ	—1	2,5

Примечания: 1. Манометры ВЭ-16РБ имеют взрывобезопасное исполнение.

2. Мощность контактов 10 В · А при напряжении ~380 В и 10 Вт при напряжении = 220 В.

Таблица 5-6

## Манометры, вакуумметры, мановакуумметры с электрическими дифференциальными датчиками (МЭД)

Прибор	Индекс модели		Диапазон верхних пределов измерений, кгс/см <sup>2</sup>
	показывающий	бесшкальный	
Манометр	2 303 2 304	2 306   2 307	1—40 60—1 600
Вакуумметр	2 303	2 306	—1
Мановакуумметр	2 304	2 306	—1 ÷ +24

Примечания: 1. Класс точности показывающих приборов 1,0; бесшкальных в комплекте со вторичным прибором 1,6.

2. Полный ход сердечника дифференциатора 2—5 мм.

Таблица 5-7

## Поплавковые и сильфонные дифманометры

Тип дифманометра	Диапазон верхних пределов измерения по перепаду	Статическое давление, кгс/см <sup>2</sup>	Дополнительные устройства
<i>Поплавковые показывающие</i>			
ДПМ-280	40—400 кгс/м <sup>2</sup>	2,5	—
ДП-712Р; ДП-781Р	0,063—1 кгс/см <sup>2</sup>	250	Интегратор, питание ~ 220 В
ДП-780; ДП-778	0,063—1 кгс/см <sup>2</sup>	250	Сигнальное устройство, питание ~ 220 В
<i>Поплавковые самопишущие с дисковой диаграммой</i>			
ДП-710ч	0,063—1 кгс/см <sup>2</sup>	250	Часовой механизм
ДП-710	0,063—1 кгс/см <sup>2</sup>	250	Микродвигатель ~ 220 В
ДПМ-710ч ДПМ-710	63—400 кгс/м <sup>2</sup>	2,5	Аналогично ДП-710ч Аналогично ДП-710.
<i>Сильфонные показывающие</i>			
ДСП-778Н ДСП-778В	0,063—0,63 кгс/см <sup>2</sup> 0,63—1,6 кгс/см <sup>2</sup>	160 320	Сигнальное устройство, питание ~ 220 В
ДСП-780Н ДСП-780В	0,063—0,63 кгс/см <sup>2</sup> 0,63—1,6 кгс/см <sup>2</sup>	160 320	—
ДСП-781Н ДСП-781В	0,063—0,63 кгс/см <sup>2</sup> 0,63—1,6 кгс/см <sup>2</sup>	160 320	Интегратор

Продолжение табл. 5-7

Тип дифманометра	Диапазон верхних пределов измерения по перепаду	Статическое давление, кгс/см <sup>2</sup>	Дополнительные устройства
<i>Сильфонные самопишущие с дисковой диаграммой</i>			
ДСС-710Н ДСС-710В	0,063—0,63 кгс/см <sup>2</sup> 0,63—1,6 кгс/см <sup>2</sup>	160 320	Микродвигатель ~ 220 В
ДСС-710чН ДСС-710чВ	0,063—0,63 кгс/см <sup>2</sup> 0,63—1,6 кгс/см <sup>2</sup>	160 320	Часовой механизм
ДСС-712Н ДСС-712В	0,063—0,63 кгс/см <sup>2</sup> 0,63—1,6 кгс/см <sup>2</sup>	160 320	Микродвигатель ~ 220 В, интегратор

Примечание. Класс точности дифманометров 1,0 и 1,6.

Таблица 5-8

## Колокольные и мембранные дифференциальные манометры с электрической дистанционной передачей

Тип дифманометра	Диапазон верхних пределов измерения разности давлений	Полный ход сердечника, мм	Статическое давление, кгс/см <sup>2</sup>
ДКО-1; ДКО-3701	10—100 кгс/м <sup>2</sup>	15—25	2,5
ДМ-3564 ДМ-3566 ДМ-3537	160—2500 кгс/м <sup>2</sup> ; 0,4—6,3 кгс/см <sup>2</sup>	2—5	63 250 250
ДМ-3577	0,4—6,3 кгс/см <sup>2</sup>	2—5	320; 630

Примечание. Класс точности в комплекте со вторичным прибором 1,6.

Соединительные трубки подключаются в соответствии с величиной давления: большее давление подводится к плюсовому штуцеру, меньшее — к минусовому.

При измерении разрежения дымовых газов в топках котлов используются дифманометры-перепадамеры с двусторонней симметричной шкалой; соединительная трубка подключается к минусовому штуцеру дифманометра.

В некоторых случаях для измерения разрежения применяют дифтягомер типа ДТ2 с пределами измерения 0—50 кгс/м<sup>2</sup>. Дифтягомер типа ДТ2 рекомендуется устанавливать в перевернутое положение (вниз сердечником дифтрансформатора).

Технические характеристики поплавковых и сильфонных дифманометров приведены в табл. 5-7; колокольных и мембранных дифманометров с электрической дистанционной передачей — в табл. 5-8.

Основные технические характеристики показывающих тягомеров, напорометров и тягонапорометров (ГОСТ 2648-69) приведены в табл. 5-9.

Таблица 5-9

Наименование приборов	Тип приборов	Диапазон верхних пределов измерений, кгс/м <sup>2</sup>	Статическое давление, кгс/м <sup>2</sup>	Класс точности	Вид шкалы
Напоромер Тягомер Тягонапоромер	НМ-П1 ТМ-П1 ТНМ-П1	25—2 500 —(25 ÷ 2 500) ± (12,5 ÷ 1 250)	2 500	2,5	Профильная
Тягонапоромер дифференциальный	ТДМ	40—1 000	2 500	4,0	Концентрическая

Верхние пределы измерений тягомеров, напорометров и дифференциальных тягонапорометров соответствуют следующему ряду: 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1 000; 1 600; 2 500; 4 000 кгс/м<sup>2</sup>.

Верхние пределы измерений тягонапорометров соответствуют следующему ряду: 8; 12,5; 20; 30; 50; 80; 125; 200; 300; 500; 800; 1 250; 2 000 кгс/м<sup>2</sup>.

При использовании крана переключателя типа КП на один прибор может периодически подключаться от трех (кран КП-3) до шести (кран КП-6) точек измерения.

## 5-2. ПЕРВИЧНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

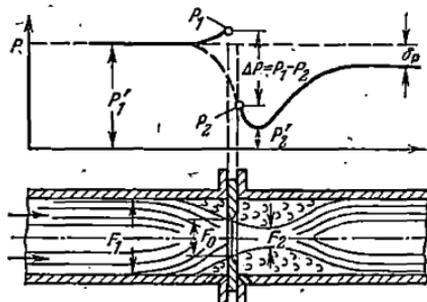
Расходомеры в зависимости от рода измеряемого вещества подразделяются на водомеры, паромеры, газомеры, мазутомеры и др. Расходомеры измеряют мгновенный расход вещества, а при наличии интегратора они могут измерять и количество вещества.

По методу измерения различают расходомеры переменного перепада давления (дроссельные расходомеры), постоянного перепада (ротаметры), скоростного напора (пневмометрические трубки) и др. Наибольшее распространение в промышленности получили расходомеры переменного перепада, использующие принцип частичного преобразования потенциальной энергии потока, движущегося в трубопроводе, в кинетическую энергию при прохождении через сужающее устройство (рис. 5-1).

Расходомеры переменного перепада давления представляют собой единые измерительные комплексы, состоящие из сужающего

Рис. 5-1. Характер потока и распределение давления при прохождении потока через сужающее устройство (СУ).

$P_1'$  и  $P_2'$  — давления в сечениях  $F_1'$  и  $F_2'$ ;  $P_1$  и  $P_2$  — давления непосредственно перед СУ и за СУ;  $\delta_p$  — безвозвратная потеря давления;  $F_0$  — площадь сечения СУ.



устройства (СУ), участка трубопровода вблизи СУ, дифманометра-расходомера, соединительных линий и дополнительных устройств.

Измерение расхода с высокой точностью возможно только при применении стандартных СУ (диафрагмы, сошла и сопла Вентури, удовлетворяющие требованиям «Правил 28-64 измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами»). Правила 28-64 устанавливают методику и формулы расчета СУ, основные требования к расходомерам и методику их проверки, методику определения погрешности измерения расхода.

Правила 28-64 применимы при выполнении следующих условий:

а) измеряемое вещество заполняет все поперечное сечение трубопровода перед СУ и за ним; б) поток в трубопроводе является или может быть практически принят установившимся; в) пар является перегретым; г) измеряемое вещество является однофазным. Правила 28-64 неприменимы при измерении малых расходов жидкостей, пульсирующих и неустановившихся потоков, неоднородных сред.

Пульсирующие потоки имеют место при прокачках трубопроводов; неустановившиеся потоки имеют место при работе автоматических регуляторов питания (при измерении расхода питательной воды) и впрыскивающих регуляторов температуры (при измерении

расхода пара). При измерении расхода насыщенного пара на трубопроводе непрерывной продувки барабанных котлов среда не является однофазной (в паре имеются частицы воды). Во всех указанных случаях ввиду значительных погрешностей измерения расходомеры используются в качестве индикаторов расхода.

Стандартные диафрагмы являются наиболее простыми из стандартных СУ и поэтому наиболее распространены. Они могут применяться на трубопроводах диаметром не менее 50 мм при  $m = 0,05 \div 0,7$ , где  $m = F_0/F_1 = (d/D)^2$  — модуль СУ, равный отношению

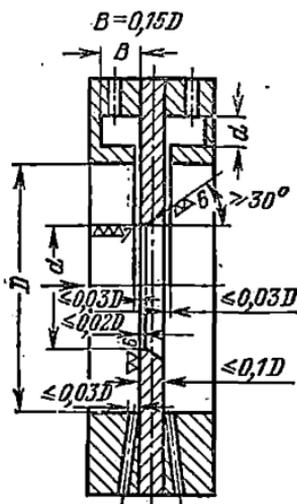


Рис. 5-2. Стандартная диафрагма (стрелкой указано направление потока).

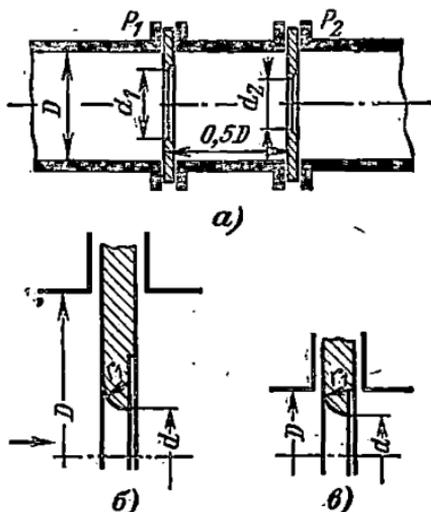


Рис. 5-3. Нестандартные сужающие устройства.

а — двойная диафрагма; б — сопло с профилем «четверть круга» при  $m \leq 0,44$ ; в — сопло с профилем «четверть круга» при  $m > 0,44$ .

площадью отверстий СУ ( $F_0$ ) и трубопровода ( $F_1$ );  $d$  — диаметр отверстия СУ;  $D$  — внутренний диаметр трубопровода перед СУ.

По способу отбора перепада давлений различают камерные (ДКН) и бескамерные дисковые диафрагмы (ДДН). На верхней части рис. 5-2 изображена камерная диафрагма, на нижней части — бескамерная диафрагма с одиночными сверлениями. Диафрагмы устанавливают между фланцами трубопровода и зажимают с помощью болтов. Острая кромка диафрагмы должна быть направлена против потока измеряемой среды. Диафрагмы ДКН применяют при диаметрах 50—500 мм и условном давлении среды до 100 кгс/см<sup>2</sup>, ДДН применяют при диаметрах 450—1 600 мм и давлении до 16 кгс/см<sup>2</sup>. При давлении до 200 кгс/см<sup>2</sup> и диаметрах 50—400 мм применяются диафрагмы высокого давления типа ДВ-200. На большие давления применяются сварные диафрагмы, устанавливаемые на трубопроводе с помощью сварки.

Сопла и сопла Вентури по сравнению с диафрагмами имеют меньшую потерю давления, требуют прямые участки меньшей длины, обладают большей точностью измерения.

Нестандартные сужающие устройства применяются при измерении малых расходов и расходов вязких жидкостей (сдвоенные диафрагмы и сопла с профилем «четверть круга», изображенные на рис. 5-3), при измерении расхода сильно загрязненных жидкостей и газов, а также жидкостей, насыщенных газами (сегментные диафрагмы, изображенные на рис. 5-4), при измерении расхода воздуха (укороченные сопла Вентури).

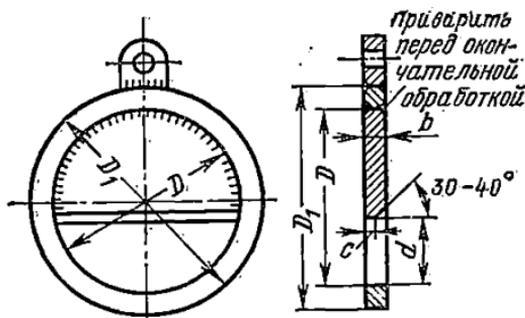


Рис. 5-4. Сегментная диафрагма.

Дифманометры-расходомеры (ГОСТ 3720-66) имеют предельные номинальные перепады давления, соответствующие следующему ряду: 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1 000; 1 600 и 2 500 кгс/м<sup>2</sup>; 0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 4 и 6,3 кгс/см<sup>2</sup>. Номинальные перепады давления устанавливаются при температуре дифманометра 20 °С.

Основные единицы измерения расхода: в единицах массы — кг/ч, т/ч; в единицах объема — м<sup>3</sup>/ч, л/ч.

Верхние пределы измерений расходомеров соответствуют следующему ряду:

$$A = a \cdot 10^n,$$

где  $a$  — одно из чисел: 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8;  $n$  — целое (положительное или отрицательное) число или нуль.

Нижний предел измерений расходомеров равен 30% верхнего предела измерений.

Технические характеристики дифманометров поплавковых и сильфонных приведены в табл. 5-7, колокольных и мембранных — в табл. 5-8.

Расширение диапазона измерений в тех случаях, когда наименьший измеряемый расход меньше нижнего предела измерений дифманометра, достигается подключением к одному СУ двух дифманометров. Так, например, при измерении расхода питательной воды к корпусу котла устанавливают основной расходомер с верхним пределом измерения  $Q_{\text{н}} = 250\,000$  кг/ч и предельным номинальным

перепадом давления  $\Delta P_{\text{н}} = 1,6 \text{ кгс/см}^2$  и расходный расходомер с параметрами соответственно 125 000 кг/ч и  $0,4 \text{ кгс/см}^2$ .

Если СУ рассчитано по параметрам  $Q_{\text{п1}}$  и  $\Delta P_{\text{п1}}$ , то показания дифманометра с параметрами  $Q_{\text{п2}}$  и  $\Delta P_{\text{п2}}$  умножаются на поправочный множитель  $K_Q$ , равный:

$$K_Q = \frac{Q_{\text{п1}} \varepsilon_2}{Q_{\text{п2}} \varepsilon_1} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{п2}}}{\Delta P_{\text{п1}}}}$$

где  $\varepsilon$  — поправочный множитель на расширение измеряемой среды.

Определение погрешности измерения расхода должно производиться органами метрологических служб предприятий, эксплуатирующих СУ. Определению погрешности измерения расхода предшествует выполнение следующих операций:

а) расчет СУ и проверка расчета; б) поверка СУ; в) измерение внутреннего диаметра трубопровода; г) поверка дифманометра-расходомера; д) контроль правильности монтажа всего измерительного комплекса; е) оформление документации на расходомер.

Операции по пп. «а», «б», «в», «д», «е» производятся под контролем или выполняются органами ВМС; поверка дифманометра-расходомера производится согласно табл. 3-3. В особо важных случаях (учетные и коммерческие расходомеры) операция по п. «д» может проводиться органами ГМС.

### 5-3. ПЕРВИЧНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ

По функциональному признаку приборы для измерения уровня делятся на:

1) уровнемеры — приборы, осуществляющие непрерывный контроль уровня;

2) сигнализаторы — приборы, дискретно реагирующие на один или несколько заданных уровней.

В качестве уровнемеров наибольшее распространение получили гидростатические приборы. Комплект уровнемера состоит из измерительного сосуда (сосуда постоянного уровня), импульсных линий, первичного и вторичного приборов, измеряющих перепад давления.

В качестве первичных приборов применяются дифманометры-уровнемеры (ГОСТ 3720-66). Верхние пределы измерений уровнемеров с односторонней шкалой и сумма абсолютных значений пределов измерений уровнемеров с двусторонней симметричной шкалой соответствуют следующему ряду: 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1 000; 1 600; 2 500; 4 000 и 6 300 см. Шкалы приборов могут градуироваться в миллиметрах и метрах.

Технические характеристики дифманометров поплавковых и сильфонных приведены в табл. 5-7; колокольных и мембранных — в табл. 5-8.

Технические характеристики сигнализаторов уровня приведены в табл. 5-10.

Для измерения уровня сыпучих материалов используются электромеханические приборы, измеряющие величину опускания зонда в контролируемый материал.

Технические характеристики сигнализаторов уровня

Сигнализатор	Тип	Конструктивная характеристика	Диапазон контролируемого уровня	Давление среды, кгс/см <sup>2</sup>	Выходное устройство
Реле механическое	РМ-51	Поплавковое тросового типа	0,5—10 м	Негерметичное	Ртутные контакты
Реле поплавок	РП-40	Рычажного типа	20—150 мм	5	То же
Сигнализатор поплавок	СУ-1, СУ-3	То же	20—150 мм	5	То же
Дистанционный сигнализатор поплавок	ДСУ-1М	Барабанный тросового типа; сельсинная передача показаний	0—20 м	Негерметичный	Контактная группа
Дифференциальное реле давления	ДРД-01	Гидростатическое мембранного типа	До 10 000 мм вод. ст.	40	То же
	ДРД-02			16	
Электрический сигнализатор	ЭРСУ-2	Омический; питание ~220 В	0,1—2 м	16	Реле МКУ-48

Продолжение табл. 5-10

Сигнализатор	Тип	Конструктивная характеристика	Диапазон контролируемого уровня	Давление среды кгс/см <sup>2</sup>	Выходное устройство	
Искробезопасное реле контроля сопротивления	ИКС-2, ИКС-2М, ИКС-2Н	Омическое; питание ~36, 427, 380 В	До 6 м	Негерметичное	Реле МКУ-48	
	ЭСУ-1М	Ёмкостный, питание ~220 В	Один заданный уровень			25
	ЭСУ-3					30
МЭСУ-1М	30					
То же	ЭСУ-2М	То же	Два заданных уровня		То же	
	ЭСУ-2А					25
	ЭСУ-4					30
Электронный индикатор уровня	ЭИУ	То же	До 5 м		Работает в комплекте с потенциометром ЭПВ	
	ЭИУ-1В					25
Сигнализатор уровня электронный	СУЭ-1+	Индуктивный; питание ~127, 220 В	Один или два заданных уровня	40	Реле МКУ-48	
	СУЭ-5					25

Измерение уровня в барабанах котлов производится с помощью водоуказательной колонки (ВУК) и дифманометров-уровнемеров с дистанционной передачей показаний.

*Водоуказательная колонка* является по отношению к барабану котла-сообщающимся сосудом; она должна быть точно установлена по отношению к оси барабана и должна правильно эксплуатироваться (должны отсутствовать пропаривания и течи).

Действительный уровень в барабане всегда выше уровня, видимого по стеклу, из-за разности температур воды в барабане и в ВУК и из-за наличия паровых пузырьков в толще воды (вспучивание). Паровая и водяная линии к ВУК должны быть теплоизолированы; смотровое стекло должно быть защищено от обдувания холодным воздухом. Вспучивание происходит при резком падении давления в барабане, при этом величина вспучивания зависит от солевого содержания котловой воды: чем выше содержание, тем больше вспучивание. Кроме указанных факторов, вспучивание может иметь место и при установившейся нагрузке котла в зависимости от способа подвода пароводяной смеси в паровое пространство.

Температурная погрешность ВУК при среднем уровне в барабане составляет 40—100 мм в зависимости от различных факторов. Показания ВУК совпадают с действительным уровнем только сразу после продувки ВУК.

К недостаткам ВУК, кроме температурной погрешности, относятся также «раздвоение» уровня — одновременное появление уровня в среднем и верхнем стекле ВУК. Величина «раздвоения» около 40 мм.

В связи со значительными температурными и другими погрешностями ВУК используются только в качестве индикаторов. Градуировка приборов по ВУК и использование их в схемах технологических защит приводит к ложному срабатыванию защит и отказу действия при отклонении уровня от среднего значения, так как уставки защит даются котлостроительными заводами по действительному уровню в барабане.

В связи с вышеуказанным и в соответствии с [Л.38] рекомендуется:

1. Градуировку приборов контроля и защиты по уровню в барабанах котлов высокого и среднего давлений производить по расчетному перепаду, развиваемому измерительным сосудом; сосуд рассчитывается на действительный уровень в барабане котла при номинальных параметрах.

2. На котлах блочных станций, пуск которых производится на скользящих параметрах, для контроля уровня воды в барабане необходимо устанавливать измерительные сосуды с коррекцией по давлению или применять сосуды с частичным обогревом плюсовой трубки.

3. На котлах, работающих на общий паропровод, для контроля уровня могут применяться измерительные сосуды других конструкций.

*Измерительные сосуды (ИС)* для измерения уровня в барабанах котлов изображены на рис. 5-5. Применяются двухкамерные измерительные сосуды (плюсовая камера — камера постоянного уровня; минусовая камера — камера переменного уровня). Измерительные сосуды устанавливаются на чистых отсеках барабанов котлов.

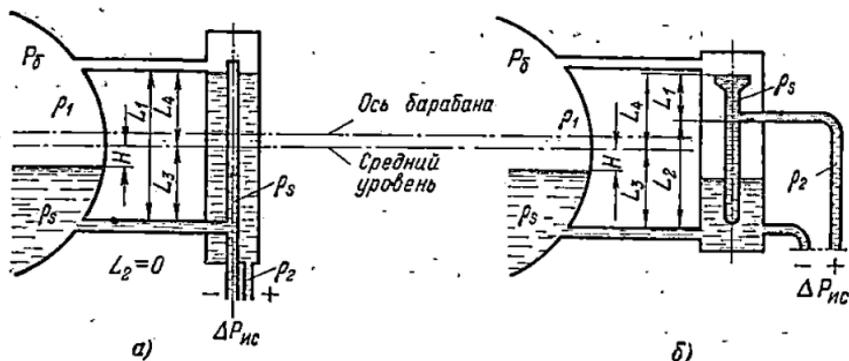


Рис. 5-6. Расчетные схемы измерительных сосудов.

*а* — сосуд с необогреваемой плюсовой трубкой; *б* — сосуд с частичным обогревом плюсовой трубки.

**Пример 1.** Измерительный сосуд на рис. 5-6, *а*; здесь  $L_1 = 0,63$  м;  $L_2 = 0$ . Номинальное давление в барабане котла (избыточное)  $P_{б,н} = 155$  кгс/см<sup>2</sup>. По термодинамическим таблицам для  $P_{абс} = 156$  кгс/см<sup>2</sup> находим:

$$\rho_s = 597,7 \text{ кг/м}^3, \quad \rho_1 = 99,7 \text{ кг/м}^3;$$

$$\Delta P_{ИС \text{ макс}} = \rho_s L_1 - \rho_1 (L_4 + L_3) = (\rho_s - \rho_1) L_1;$$

$$\Delta P_{ИС \text{ макс}} = (597,7 - 99,7) \cdot 0,63 = 313,7 \text{ кгс/м}^2;$$

$$\Delta P_{ИС \text{ мин}} = \rho_s L_1 - \rho_s (L_3 + L_4) = \rho_s (L_1 - L_3 - L_4) = 0.$$

**Пример 2.** Измерительный сосуд на рис. 5-6, *б*; здесь  $L_1 = 0,22$  м;  $L_2 = 0,41$  м. Параметры котла те же, что и в примере 1.

$$\rho_2 = 995 \text{ кг/м}^3; \quad L_1 + L_2 = L_3 + L_4 = 0,63 \text{ м.}$$

Находим:

$$\Delta P_{ИС \text{ макс}} = 597,7 \cdot 0,22 + 995 \cdot 0,41 - 99,7 \cdot 0,63 = 477 \text{ кгс/м}^2;$$

$$\Delta P_{ИС \text{ мин}} = 597,7 \cdot 0,22 + 995 \cdot 0,41 - 597,7 \cdot 0,63 = 162 \text{ кгс/м}^2.$$

При растопках котлов и при пуске блоков с барабанными котлами на скользящих параметрах вышеуказанные расчетные зависимости нарушаются из-за отставания в прогреве ИС и зависимости плотности кипящей воды и насыщенного пара от давления, что приводит при одном и том же действительном уровне к зависимости  $\Delta P_{ИС}$  от давления.

Так, согласно [Л.18] для сосудов на рис. 5-5, *а* и *в* ( $L_2 = 0$ , плюсовая импульсная линия присоединена к нижней части сосуда) уровнемер дает заниженные показания в период растопки; для сосудов на рис. 5-5, *б* и *г* ( $L_2$  максимально, плюсовая импульсная линия присоединена к верхней части сосуда) уровнемер дает завышенные показания.

Для уменьшения отставания в прогреве сосуда рекомендуется в начальный период растопки продувкой через импульсные линии прогреть ИС; для этой же цели измерительный сосуд может быть размещен внутри барабана (рис. 5-5, з).

Для уменьшения погрешности по давлению возможно применение следующих сосудов и приборов:

1. В конструкции ИС, приведенной на рис. 5-6, б, размер  $L_2$  определяется из расчета минимальных погрешностей при измерении

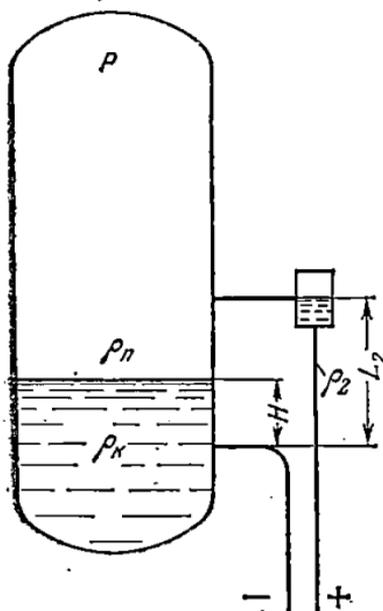


Рис. 5-7. Схема однокамерного измерительного сосуда.

диапазоне от 1 до 4 м. В основном применяются однокамерные сосуды, которые устанавливаются на уровне верхней границы измерения и соединяются с паровым пространством подогревателя. Сосуд должен обеспечивать надежную конденсацию пара и постоянный уровень в плюсовой импульсной линии. Теплоизоляция сосуда не требуется. При измерении уровня в конденсаторах турбин и подогревателях низкого давления применяется подпитка плюсового сосуда от напорной линии конденсатных насосов. Это вызвано тем, что конденсация здесь происходит при температурах, близких к температуре окружающего воздуха.

Расчетный перепад на дифманометре (рис. 5-7) определяется по формуле

$$\Delta P = \rho_2 L_2 - \rho_k H - \rho_n (L_2 - H),$$

среднего уровня при всех возможных давлениях в барабане котла. Согласно [Л.19]  $L_2 = 1,32L_4$ . (Рекомендуемое присоединение плюсовой импульсной линии к средней части ИС не ликвидирует погрешность в показаниях уровнемера при изменении давления в барабане и отклонении уровня от среднего положения). Для стабилизации температуры среды в этом сосуде рабочая часть плюсового сосуда находится в паровом пространстве, благодаря чему температура воды в плюсовом сосуде практически равна температуре насыщения в барабане. Поэтому сосуд называется сосудом с частичным обогревом плюсовой трубки. Импульсные линии на отводах от ИС имеют горизонтальный участок около 400 мм для достаточного охлаждения конденсата.

2. В уровнемере конструкции ОРГРЭС применена коррекция по давлению, которая осуществляется с помощью манометра типа МЭД [Л.19].

**Измерение уровня в подогревателях, деаэраторах, конденсаторах турбин производится в широком**

где  $\rho_k$  — плотность конденсата при давлении  $P_k$  и температуре  $t_k$ , кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_n$  — плотность пара; кг/м<sup>3</sup>; остальные обозначения соответствуют обозначениям на рис. 5-6.

Для практического расчета допустимо принять  $\rho_k \approx \rho_s$  и  $\rho_n \approx \rho_1$ , при этом

$$\Delta P \approx \rho_2 L_2 - \rho_s H - \rho_1 (L_2 - H).$$

Равенство является приближенным, поскольку температура среды в подогревателях ниже температуры насыщения при давлении  $P$ .

Максимальный перепад при  $H = 0$

$$\Delta P_{\text{макс}} \approx (\rho_2 - \rho_1) L_2;$$

минимальный перепад при  $H = L_2$

$$\Delta P_{\text{мин}} \approx (\rho_2 - \rho_s) L_2.$$

Пример.  $P = 58$  кгс/см<sup>2</sup>;  $L_2 = 1,6$  м (уровнемер ПВД).

$$\rho_s = 762,4 \text{ кг/м}^3; \rho_1 = 29,6 \text{ кг/м}^3.$$

$$\Delta P_{\text{макс}} \approx (995 - 29,6) \cdot 1,6 = 1545 \text{ кгс/м}^2;$$

$$\Delta P_{\text{мин}} \approx (995 - 762,4) \cdot 1,6 = 371 \text{ кгс/м}^2.$$

Требования к уровнемерам подогревателей не являются такими жесткими, как при измерении уровня в барабане котла. Уставки защиты для подогревателей даются по указательным стеклам.

Градуировка уровнемеров ПВД должна производиться с учетом плотности конденсата по расчетному перепаду  $\Delta P_{\text{макс}}$ . Градуировка уровнемеров ПНД, деаэраторов, конденсаторов может производиться без учета плотности среды. Максимальный перепад равен расстоянию между высотой постоянного уровня в плюсовом сосуде и врезкой в емкость минусовой линии. Минимальный перепад во всех случаях принимается равным нулю.

Измерение уровня агрессивных жидкостей — растворов кислот, щелочей и других производится в диапазоне до 10 м. Для измерения применяются разделительные сосуды. При градуировке уровнемеров учитывается плотность агрессивной жидкости.

Для измерения уровня агрессивных, вязких и неоднородных сред могут применяться акустические уровнемеры. Измерение основано на явлении отражения импульса ультразвуковых колебаний от границы раздела газ—контролируемая среда. К числу таких уровнемеров относится прибор ЭХО-1 (диапазон измерения до 3 м; рабочее давление до 40 кгс/см<sup>2</sup>; погрешность  $\pm 2,5\%$ ; выходной сигнал 0—5 мА постоянного тока).

#### 5-4. ВТОРИЧНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ, РАЗРЕЖЕНИЯ, РАСХОДА И УРОВНЯ

Технические характеристики вторичных приборов для работы с электрическими дифференциально-трансформаторными датчиками приведены в табл. 5-11.

Таблица 5-11  
Технические характеристики вторичных приборов дифрансформаторной системы

Характеристика прибора	Тип	Длина шкалы, мм	Класс точности	Полный ход сер- дечника датчика, мм	Время пробег указателя всег шкалы, с	Скорость перем- щения, мм/ч	Тип двигателя		Напряжение пита- ния пер- менного тока 50 Гц, В		Потребляемая мощ- ность не более, Вт
							реверсив- ного	синхрон- ного	прибора	намере- тельной схемы	
Крупногабарит- ный показывающий с записью на диско- вой диаграмме	ЭПИД	Диаметр 300	1,0	2—5	15	1 600- рот за 24 ч	РД-09	СД-60	127, 220	33	75
Малогабаритный с ленточной диаг- раммой показыва- ющий самопишущий	ДС1; ДСР1	160	0,5; 1,0	До 5	2,5; 8	20—360	РД-09	СД-54	127, 220	20	60
Малогабаритный с вращающейся шкалой показыва- ющий	ЭИВ2	660	0,5; 1,0	3—5	8	—	РД-09	—	127, 220	21	50

Характеристика прибора	Тип	Длина шкалы, мм	Класс точности	Полный ход сер- вированной латчика, мм	Время пробо- указателем всег шкалы, с	Скорость диаграм- мы, мм/ч	Тип двигателя		Напряжение пита- ния пере- менного тока 50 Гц, В		Потребляемая мощ- ность не более, В·А
							реверсив- ного	синхрон- ного	прибора	измери- тельной схемы	
Миниатюрный с легочной диа- граммой показыва- ющий самопшлу- щий	ДСМ2; ДСМР2	100	1,0	2—7	4,5; 6,0	20—120	РД-09А	ДСД2	127	24	50
	То же	100	1,0	2—7	3	20—180	РД-09ГА	ДСД2	127	24	60
Миниатюрный с круговой шкалой показывающий	ДП4; ДПР4	315	1,0	2—5	3,5	—	РД-09	—	127	24	30
	То же	315	1,0	1,3—7	2,5; 8	—	РД-09ГА	—	127	24	30
То же	ВМД	195	1,0	2—5	5	—	РД-09П	—	127, 220	21	15

На рис. 5-8 приведена схема дистанционной передачи с дифтрансформаторными датчиками. Обмоточные данные дифтрансформаторов приведены в табл. 5-12.

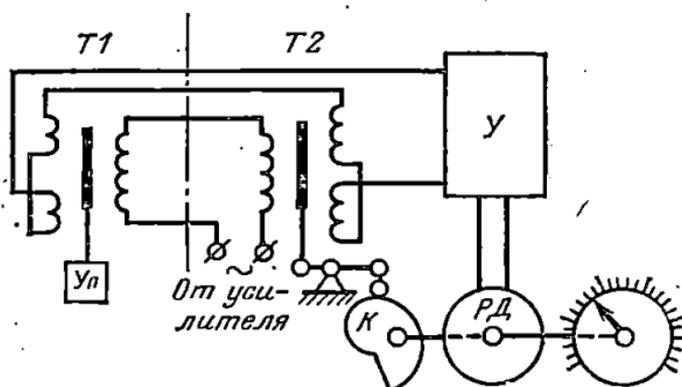


Рис. 5-8. Схема дистанционной передачи с дифтрансформаторными датчиками.

$T_1$  — дифтрансформатор датчика;  $U_n$  — упругий элемент датчика;  $T_2$  — дифтрансформатор вторичного прибора;  $K$  — кулачок;  $У$  — усилитель.

При линейной зависимости между положением упругого элемента датчика и показанием прибора применяется кулачок с линейным профилем (рис. 5-9, а); при квадратичной зависимости приме-

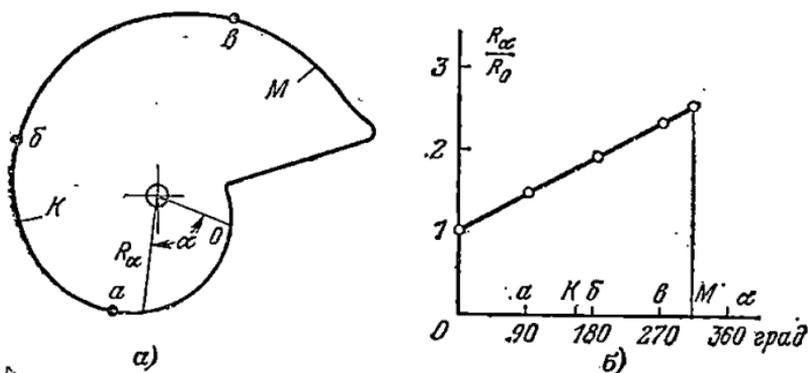


Рис. 5-9. Построение профиля кулачка.

$K$ ,  $M$  — точки кулачка, соответствующие точкам «контроль» и «максимум» шкалы прибора.

няется кулачок с квадратичным профилем. Профиль кулачка определяет характер зависимости радиуса кулачка при изменении угла его поворота,

Таблица 5-12

Обмоточные данные дифтрансформаторов первичных и вторичных приборов

Тип прибора	Первичная обмотка			Вторичная обмотка		
	Число витков	Диаметр провода, мм	Сопротивление, Ом	Число витков	Диаметр провода, мм	Сопротивление, Ом
МЭД	2 500	0,2	70 ± 4	2 × 1 250	0,2	130 ± 10
ДКО	3 200	0,27	65	2 × 500	0,27	25
ДМ-3537	2 700	0,27	45 ± 7	2 × 1 400	0,27	73 ± 10
ДМ-3564, ДМ-3566	2 700	0,27	45 ± 7	2 × 1 400	0,14	240 ± 34
ДМ-3577	2 700	0,27	45 ± 7	2 × 2 800	0,2	280 ± 25
ЭПИД, ДС, ЭИВ, ДП	2 700	0,27	45	2 × 1 400	0,27	73
Корректирующая катушка приборов ЭПИД, ДС, ЭИВ, ДП и др.	2 700	0,27	45	2 × 80	0,27	4
ВМД	2 500	0,2	70	2 × 1 170	0,14	180
				2 × 830		150
				2 × 25		7

Примечание. В приборах типа ДМ-3564, ДМ-3566 параллельно вторичной обмотке дифтрансформатора включен манганиновый резистор 1,5 кОм, предназначенный для компенсации погрешности, вызываемой изменением упругих свойств мембраны при изменении температуры.

Для линейного кулачка

$$R_{\alpha} = R_0 + K_1 (\alpha - \alpha_0);$$

для квадратичного кулачка

$$R_{\alpha} = R_0 + K_2 (\alpha - \alpha_0)^2.$$

Для определения типа кулачка достаточно построить зависимость  $R_{\alpha}$  от угла  $\alpha$  (рис. 5-9, б), для чего нужно измерить радиусы кулачка в трех-четырех взаимно перпендикулярных направлениях (точки  $\theta_1, a_1, b_1, e$ ).

Полный ход сердечника вторичного прибора, соответствующий перемещению указателя прибора на всю шкалу, определяется только кулачком прибора и не зависит от полного хода сердечника первичного прибора:

Для согласования величин напряжений, выдаваемых дифтрансформаторами датчика и приемника при полном (но разной величины) перемещении сердечников обоих дифтрансформаторов, в дифтрансформаторе вторичного прибора предусмотрена регулировка «размаха» шкалы. Указанная регулировка в зависимости от типа прибора производится одним из следующих способов:

1) для приборов ЭПИД, ДС, ДП, ДСМ и других изменением величины воздушного зазора сердечника путем свинчивания двух половинок последнего;

2) для приборов ВМД изменением схемы включения вторичной обмотки дифтрансформатора (грубо) и шунтированием ее регулируемым резистором (плавно).

С помощью указанных регулировок удается согласовывать напряжения дифтрансформаторов при работе вторичного прибора в комплекте с первичными приборами, имеющими различный полный ход сердечника (табл. 5-8).

Во вторичном приборе также предусмотрена коррекция «нуля» первичного прибора, смещение которого вызывается нестабильностью во времени упругого элемента прибора. Для колокольных дифманометров смещение «нуля» вызывается изменением уровня уравновешивающей жидкости. Коррекция «нуля» производится одним из следующих способов:

1) для приборов ЭПИД, ДС и других с помощью корректирующей катушки;

2) для приборов ВМД с помощью регулируемого резистора; шунтирующего дополнительную обмотку дифтрансформатора.

Контроль исправности прибора осуществляется с помощью кнопки «контроль», при нажатии которой закорачиваются вторичные обмотки датчика и корректирующей катушки. При этом указатель прибора должен устанавливаться на определенное значение шкалы, называемое контрольной отметкой. Положение контрольной отметки не зависит от значения измеряемой величины и определяется электрически нейтральным по отношению к двум секциям вторичной обмотки положением сердечника дифтрансформатора вторичного прибора.

Значение контрольной отметки составляет: для приборов типа ЭПИД — 33% длины шкалы; для приборов ДС, ДП, ВМД — 50% при измерении давления и уровня и 30 или 70% при измерении расхода.

**Регулировка приборов дифференциально-трансформаторной системы.**

Комплект прибора имеет четыре возможных вида регулировки:

- 1) регулировка «нуля» датчика;
- 2) коррекция «нуля» датчика;
- 3) регулировка «размаха» шкалы вторичного прибора;
- 4) регулировка «нуля» вторичного прибора.

Регулировки по пп. 2 и 3 рассмотрены выше. Регулировка «нуля» датчика производится в приборах типа МЭД и ДКО перемещением

сердечника по отношению к катушке дифтрансформатора; в приборах типа ДМ регулировка производится перемещением катушки по отношению к сердечнику. Регулировку «нуля» вторичного прибора осуществляют перемещением сердечника по отношению к катушке дифтрансформатора вторичного прибора; размах шкалы при этом не изменяется.

Рекомендуется следующая последовательность регулировки приборов:

1) при нажатой кнопке «контроль» устанавливают указатель прибора на контрольную отметку с помощью регулировки «нуля» прибора;

2) при закороченной вторичной обмотке датчика регулируют нейтральное положение корректора «нуля» датчика установкой указателя прибора на контрольную отметку;

3) при входном сигнале, соответствующем контрольной отметке, производят регулировку «нуля» датчика установкой указателя прибора на контрольную отметку;

4) при входных сигналах, соответствующих началу и концу шкалы, производят регулировку «размаха» шкалы установкой указателя прибора соответственно на начальную и конечную отметку шкалы.

В приборах с регулируемым воздушным зазором сердечника при регулировке «размаха» шкалы проверяют «нуль» прибора. В приборах ВМД при необходимости производят грубую регулировку изменением схемы включения вторичной обмотки дифтрансформатора.

Широко распространен также другой способ регулировки приборов:

1) проверяют «контроль» прибора и производят установку указателя прибора на контрольную отметку шкалы с помощью регулировки «нуля» вторичного прибора;

2) при входных сигналах, соответствующих началу или концу шкалы, производят установку указателя прибора соответственно на начальную или конечную отметку шкалы с помощью корректора «нуля» датчика, а при отсутствии диапазона регулирования последнего указанную установку указателя прибора производят с помощью регулировки «нуля» датчика.

При регулировке удобно пользоваться «нулевыми» входными сигналами, которые при измерении давления, перепада и расхода соответствуют начальным отметкам шкалы, а при измерении уровня с измерительным сосудом обычной конструкции соответствуют конечным отметкам шкалы;

3) при входном сигнале, соответствующем другому крайнему (по сравнению с указанным в п. 2) значению шкалы прибора, производят регулировку «размаха» шкалы установкой указателя прибора на крайнее значение шкалы. При регулировке «размаха» шкалы проверяют «нуль» прибора;

4) при закороченной вторичной обмотке датчика производят проверку среднего положения корректора «нуля» датчика; при этом указатель прибора должен устанавливаться на контрольную отметку шкалы.

После проведения регулировок прибор проверяют на оцифрованных отметках шкалы. В случае недопустимой погрешности на

промежуточных точках, как исключение, производят подгонку профиля кулачка: при занижении показаний подпиливание, а при завышении показаний — оттяжку кулачка в проверяемой точке шкалы. После подгонки кулачка необходимо проверить плавность профиля. Впадины и выпучины по профилю кулачка не допускаются.

### 5-5. НАЛАДКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ, РАЗРЕЖЕНИЯ, РАСХОДА И УРОВНЯ

В объем наладки приборов для измерения давления, разрежения, расхода и уровня входит: лабораторная поверка; проверка монтажа комплекта приборов и импульсных линий; проверка монтажа электрических соединительных линий; опробование дистанционной электрической передачи; включение приборов в работу; проверка показаний приборов; устранение неисправностей приборов.

В объем лабораторной поверки входит: внешний осмотр; ревизия прибора; проверка сопротивления изоляции токоведущих частей; определение основной погрешности и вариации показаний; определение погрешности интегратора расходомера; определение погрешности срабатывания контактов сигнальных устройств; проверка работы лентопротяжного механизма и качества записи (см. § 3-1).

В объем ревизии дополнительно к указанному в § 3-1 входит заполнение рабочей жидкостью колокольных и поплавковых дифманометров. Перед заполнением из колокольного дифманометра нужно вывернуть винты-арретеры и вернуть на их место винты-пробки с прокладками, прилагаемыми к дифманометру. Колокольный дифманометр заполняется сухим трансформаторным маслом по уровню указателя. Поплавковые дифманометры на статическое давление  $2,5 \text{ кгс/см}^2$  заполняются маслом; на большее давление заполняются ртутью.

Требуемое количество ртути для заполнения дифманометров типа ДП составляет 3—5 кг. Дифманометр считается правильно заполненным, если его стрелка устанавливается на начальную отметку шкалы.

Заполнение поплавковых дифманометров ртутью, взвешивание и другие работы с ртутью должны производиться в специальном помещении, оборудованном в соответствии с требованиями санитарных норм и правил техники безопасности. Основные правила при работе с ртутными приборами приведены в [Л.30].

Открытая поверхность ртути в приборах с ртутным заполнением, используемых в качестве лабораторных и образцовых приборов, должна быть залита сверху слоем глицерина высотой 2—3 мм.

Для очистки от ртути помещения, мебели и приборов применяются демеркуризационные растворы: водный раствор марганцовокислого калия с концентрацией 1 г/л с добавлением соляной кислоты из расчета  $5 \text{ см}^3/\text{л}$  или раствор хлорного железа с концентрацией 250 г/л холодной воды.

Определение основной погрешности и вариации показаний приборов производится сравнением их показаний с показаниями образцовых приборов или с помощью грузопоршневых манометров и ма-

новакуумметров. Выбор образцовых приборов приведен в § 3-2. Вторичные приборы проверяют в комплекте с первичными.

Проверка манометров с предельным давлением до  $2,5 \text{ кгс/см}^2$  включительно производится при помощи сжатого воздуха, воздушного пресса или насоса. Схема для проверки, включающая поверяемый прибор, образцовый прибор и насос, собирается с помощью резиновых трубок, соединенных крестовиной. Четвертый конец крестовины через запорный вентиль соединяют с атмосферой. Для удобства подачи давления на резиновой трубке к насосу устанавливают зажим. Перед началом проверки для удаления жидкости через установку в атмосферу прокачивают воздух.

Манометры с верхним пределом измерений свыше  $2,5 \text{ кгс/см}^2$  проверяются при помощи грузопоршневых манометров или по образцовым манометрам с использованием малогабаритных поршневых винтовых прессов. Из указанных установок удаляют воздух; для заполнения прессов используют сухое трансформаторное масло, а при давлениях более  $600 \text{ кгс/см}^2$  используют касторовое масло.

При проверке кислородных манометров между грузопоршневым манометром и поверяемым прибором устанавливают разделительное устройство. Кислородные манометры обезжиривают. Жидкостью, создающей давление в манометре, должна быть вода.

Вакуумметры проверяют при помощи вакуумного насоса.

Проверка манометрической и вакуумметрической частей шкалы мановакуумметра производится раздельно.

Отсчеты показаний приборов классов точности 1; 1,6 и 2,5 производят не менее чем при пяти значениях давления, класса точности 4 — не менее чем при трех значениях давления, в том числе при давлении, равном верхнему пределу измерения. Значения давления должны быть распределены достаточно равномерно в пределах всей шкалы.

Число проверяемых отметок мановакуумметров отдельно для каждой части шкалы распределяется пропорционально длине соответствующей части шкалы. При проверке мановакуумметров классов точности 1,6; 2,5; 4 с верхним пределом измерений избыточного давления более  $5 \text{ кгс/см}^2$ , класса точности 1 — более  $9 \text{ кгс/см}^2$  показания по вакуумметрической части шкалы не отсчитывают, а проверяют только движение стрелки в сторону этой части шкалы при сообщении прибору вакуумметрического давления в пределах от 0 до  $0,5 \text{ кгс/см}^2$ .

Проверку производят при плавном повышении, а затем и при плавном понижении давления. При давлении, равном верхнему пределу измерений, делают выдержку в течение 5 мин (образцовый прибор на это время отключают). Выдержку мановакуумметров производят под давлением, равным наибольшему значению верхнего предела измерений. При проверке вакуумметров с верхним пределом измерений  $1 \text{ кгс/см}^2$  отсчет показаний и выдержку под давлением производят при давлении, равном  $0,9-0,95$  атмосферного давления.

Проверку основной погрешности путем сравнения показаний с образцовыми приборами производят одним из двух способов:

1) давление, соответствующее проверяемой точке шкалы прибора, устанавливают по образцовому прибору, отсчет показаний производят по шкале поверяемого прибора;

2) стрелку поверяемого прибора путем изменения давления устанавливают на проверяемую отметку шкалы, соответствующее действительное давление отсчитывают по образцовому прибору.

Истинное показание образцового прибора определяют согласно данным, приведенным в свидетельстве; промежуточные значения находят путем интерполяции. Установку стрелки образцового манометра или вакуумметра производят при легком постукивании по нему.

При проверке с помощью образцового грузопоршневого манометра отсчет по шкале поверяемого прибора производят при погружении штока в колонку на глубину не менее  $\frac{2}{3}$  своей длины и при его вращении.

Показания поверяемого прибора рекомендуется определять без постукивания по корпусу прибора. Смещение стрелки манометра при легком постукивании по нему не должно превышать половины допустимой погрешности. Отсчет показаний при проверке производят с точностью до 0,1—0,2 цены деления.

Абсолютная погрешность прибора определяется по формуле

$$\Delta_{\Pi} = P_{\Pi} - P_{\text{об}},$$

где  $P_{\Pi}$  — показание прибора на проверяемой отметке шкалы;  $P_{\text{об}}$  — действительное значение давления, определяемое по образцовому прибору с учетом данных свидетельства.

Абсолютная погрешность прибора и вариация показаний не должны превышать 80% допустимой абсолютной погрешности. В противном случае производят регулировку прибора.

Регулировка первичных приборов давления и разрежения заключается в перестановке стрелки или изменении передаточного числа передающего механизма. В измерительном механизме с секторной передачей передаточное число зависит от соотношения плеч  $R$  и  $r$  и угла  $\alpha$  между ними (рис. 5-10). При увеличении  $r$  показания уменьшаются, и наоборот. Изменение плеча  $r$  производят перемещением места крепления поводка в секторе.

Угол  $\alpha$  при положении стрелки на середине шкалы должен составлять  $90^\circ$ . Если  $\alpha < 90^\circ$ , погрешность в начале шкалы отрицательная и уменьшается при повышении давления; если  $\alpha > 90^\circ$ , погрешность в конце шкалы положительная и уменьшается при понижении давления.

Изменение угла  $\alpha$  производят поворотом всего передаточного механизма по отношению к корпусу прибора.

Способ регулировки прибора зависит от характера изменения погрешности вдоль шкалы: если погрешность примерно одинакова по величине и неизменна по знаку — переставляют стрелку; если погрешность одного знака и наибольшая на крайних точках шкалы — изменяют плечо  $r$ ; если погрешность разного знака — изменяют угол  $\alpha$ .

Съем стрелки с оси производят с помощью специального съемника (рис. 5-11). В новом положении стрелку фиксируют постукиванием по ее центру.

В измерительном механизме с рычажной передачей передаточное число зависит от соотношения плеч поводка и регулировочного

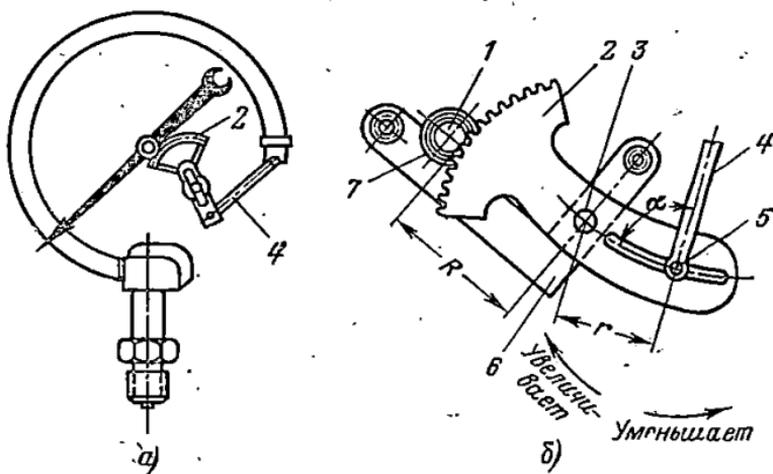


Рис. 5-10. Регулировка манометра с секторной передачей.

а — кинематическая схема манометра; б — секторный механизм; 1 — трибна; 2 — сектор; 3 — ось сектора; 4 — поводок; 5 — ползушка; 6 — нижняя пластина; 7 — спиральная пружина.

приспособления. Регулировку производят аналогично вышеописанной.

При градуировке вторичных приборов для измерения давления необходимо учитывать разницу по высоте между первичным прибором и местом отбора. Показания вторичного прибора должны соответствовать давлению в месте отбора. Для этого показания прибора смещают по шкале на величину поправки ( $\text{кгс/м}^2$ )

$$\Delta P = \pm \rho H,$$

где  $\rho$  — плотность среды в импульсной линии,  $\text{кг/м}^3$ , определяемая при средней температуре окружающей среды;  $H$  — расстояние по вертикали между прибором и отборным устройством, м; знак «плюс» берется при расположении прибора выше отборного устройства; знак «минус» — при расположении прибора ниже отборного устройства.

Пример. Отбор давления пара в уравнительной линии деаэраторов расположен на отметке 26,3 м. Прибор расположен на отметке

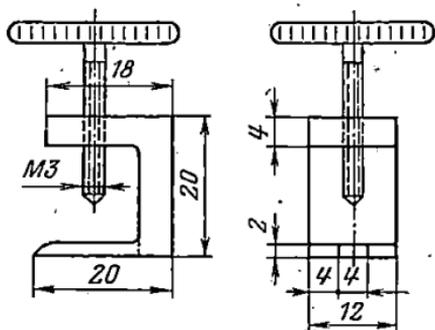


Рис. 5-11. Приспособление для съема стрелок манометров.

10,5 м. Показания прибора 7,5 кгс/см<sup>2</sup>. Плотность конденсата 996 кг/м<sup>3</sup>.

Поправка  $\Delta P = -996 (26,3 - 10,5) = -15\,700 \text{ кгс/м}^2 = -1,57 \text{ кгс/см}^2$ .

Истинное давление в месте отбора равно 5,93 кгс/см<sup>2</sup>.

При градуировке вторичного прибора при указанном расположении первичного прибора смещение показаний по шкале составляет  $-1,57 \text{ кгс/см}^2$ .

Регулировка вторичных приборов изложена в § 5-4.

**Проверка дифманометров - перепада** мер производится сравнением их показаний с показаниями образцовых приборов. Способ подачи перепада давления аналогичен описанному при проверке манометров. Для создания перепадов давления свыше 2,5 кгс/см<sup>2</sup> применяют воздушный компрессор или грузопоршневой манометр типа МП-6. Между грузопоршневым манометром и поверяемым дифманометром устанавливают разделительное устройство, предохраняющее дифманометр от попадания в него масла. Уровень жидкости в разделительном устройстве должен находиться в плоскости торца поршня грузопоршневого манометра.

Перепад давления подводят через плюсовой вентиль; при проверке уравнивательный вентиль закрыт, а минусовой открыт. Проверку установки указателя прибора на нулевую отметку шкалы производят при перепаде давления, равном нулю, при открытом уравнительном вентиле дифманометра.

Основная погрешность определяется не менее чем в пяти отметках, равномерно расположенных по шкале, при прямом и обратном ходе.

Проверка производится одним из двух способов:

1) стрелку поверяемого прибора путем изменения перепада давления устанавливают на проверяемую отметку шкалы, действительное значение перепада давления отсчитывают по образцовому прибору;

2) расчетное значение перепада давления устанавливают по образцовому прибору, отсчет показаний производят по шкале поверяемого прибора.

Основная приведенная погрешность  $\delta$  для проверяемой отметки шкалы определяется по формуле

$$\delta = \frac{\Delta P_i - \Delta P_d}{\Delta P_H} \cdot 100 \%,$$

где  $\Delta P_i$  — расчетное значение перепада давления;  $\Delta P_d$  — действительное значение перепада давления;  $\Delta P_H$  — верхний предел измерений дифманометра.

Прибор соответствует своему классу точности, если погрешность ни в одной из проверяемых точек не превышает допустимой величины.

В табл. 5-13 указаны расчетные значения перепада давления дифманометров и допустимые отклонения  $\Delta P_i - \Delta P_d$  для приборов классов точности 1 и 1,6. Расчетные значения приведены при использовании жидкостных образцовых манометров при 20° С.

Таблица 5-13

Проверяемая отметка шкалы прибора, %	Номинальный перепад дифманометра												
	2 500 кгс/м <sup>2</sup>		0,4 кгс/см <sup>2</sup>		0,63 кгс/см <sup>2</sup>		1,0 кгс/см <sup>2</sup>		1,6 кгс/см <sup>2</sup>		мм вод. ст.	мм рт. ст.	
	мм рт. ст.	мм вод. ст.	мм рт. ст.	мм вод. ст.	мм рт. ст.	мм вод. ст.	мм рт. ст.	мм вод. ст.	мм рт. ст.	мм вод. ст.			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	18,5	250,5	400,8	29,5	46,5	631,3	73,8	4002,0	118,1	1603,2	1603,2	118,1	1603,2
20	36,9	501,0	801,6	59,1	93,0	1262,5	147,6	2004,0	236,2	3206,4	3206,4	236,2	3206,4
30	55,4	751,5	1202,4	88,6	139,5	1893,8	221,5	3006,0	354,4	4809,6	4809,6	354,4	4809,6
40	73,8	1002,0	1603,2	118,1	186,0	2525,0	295,3	4008,0	472,5	6412,8	6412,8	472,5	6412,8
50	92,3	1252,5	2004,0	147,6	232,6	3156,3	369,1	5010,0	590,6	8016,0	8016,0	590,6	8016,0
60	110,8	1503,0	2404,8	177,2	279,1	3787,6	442,9	6012,0	708,7	9619,3	9619,3	708,7	9619,3
70	129,2	1753,5	2805,6	206,7	325,6	4418,8	516,7	7014,0	826,8	11222	11222	826,8	11222
80	147,7	2004,0	3206,4	236,2	372,1	5050,1	590,6	8016,0	945,0	12826	12826	945,0	12826
90	166,1	2254,5	3607,2	265,8	418,6	5681,3	664,4	9018,0	1063,1	14429	14429	1063,1	14429
100	184,6	2505,0	4008,0	295,3	465,1	6312,6	738,2	10020	1181,2	16032	16032	1181,2	16032
Допуск ± для класса точно- сти 1,0	1,8	25,0	40,0	2,9	4,6	63,1	7,3	100,2	11,8	160,3	160,3	11,8	160,3
Допуск ± для класса точно- сти 1,6	2,9	40,0	64,1	4,7	7,4	101,0	11,8	160,3	18,8	256,5	256,5	18,8	256,5

Для номинальных перепадов дифманометров; кратных или дольных указанным в табл. 5-13, расчетные значения перепада давления и допустимые отклонения определяют соответствующим кратным или дольным пересчетом.

Регулировка поплавковых и сильфонных дифманометров заключается в регулировке кинематической передачи. Регулировка дифманометров с электрической дистанционной передачей изложена в § 5-4.

Проверка стрелочных тягонапорометров производится при помощи стенда для проверки дифтягомеров.

Уравновешенность подвижной системы прибора проверяют путем наклона его вперед, — назад — влево — вправо на угол, указанный в заводской инструкции. Погрешность показаний при этой проверке должна быть не более допустимой. В противном случае вскрывают прибор и производят балансировку прибора изменением плеч балансирующих грузиков.

Основную погрешность тягонапорометров определяют так же, как и для дифманометров-перепадамеров.

Регулировка стрелочных мембранных приборов состоит в регулировке кинематической передачи.

Проверка дифманометров-расходомеров производится методом сравнения показаний дифманометров с показаниями образцовых приборов. Выбор образцовых приборов приведен в § 3-2. Для проверки могут использоваться образцовые манометры МО модели 1227, которые предварительно поверяются при значениях давления, равных расчетным значениям перепада. Результаты этой поверки указываются в свидетельстве.

Погрешность прибора определяют при значениях расхода, равных 30, 40, 50, 60, 80 и 100% верхнего предела измерений или близких к ним, для прямого и обратного хода.

Способ подачи перепада давления и регулировка дифманометров-расходомеров аналогичны соответствующим операциям для дифманометров-перепадамеров.

Основная погрешность определяется одним из двух способов.

1. Стрелку поверяемого прибора путем изменения перепада давления устанавливают на проверяемую отметку шкалы  $Q_i$ ; действительное значение перепада давления  $\Delta P$  отсчитывают по образцовому прибору.

Основная приведенная погрешность  $\delta_{\Pi}$  определяется по формуле

$$\delta_{\Pi} = \left( \frac{Q_i}{Q_{\Pi}} - \sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta P_{\Pi}}} \right) \cdot 100 \%,$$

где  $\Delta P_{\Pi}$  — предельный номинальный перепад давления дифманометра;  $Q_{\Pi}$  — верхний предел измерений расходомера.

Прибор соответствует своему классу точности, если погрешность ни в одной из проверяемых точек не превышает численного обозначения класса точности прибора  $K_{\Pi}$ .

Допустимые отклонения  $\Delta(\Delta P_i)$  от расчетного значения перепада определяют по формуле

$$\Delta(\Delta P_i) = \pm 0,02 \Delta P_{\Pi} K_{\Pi} \frac{Q_i}{Q_{\Pi}}.$$

рис. 2. Расчетное значение перепада давления устанавливают по образцовому прибору, отсчет показаний  $Q$  производят по шкале поверяемого прибора (данный способ применяют только для приборов с равномерными шкалами).

Расчетные значения перепада давления  $\Delta P_i$  для поверяемого значения расхода  $Q_i$  определяют по формуле

$$\Delta P_i = \Delta P_n \left( \frac{Q_i}{Q_n} \right)^2;$$

основную приведенную погрешность подсчитывают по формуле

$$\delta_n = \frac{Q_i - Q}{Q_n} \cdot 100 \%$$

Допустимые отклонения  $\Delta Q$  показаний прибора от поверяемого значения расхода равны:

$$\Delta Q = \pm K_n \frac{Q_n}{100}.$$

В табл. 5-14 и 5-15 приведены расчетные значения перепада давления  $\Delta P_i$  и допустимые отклонения  $\Delta$  ( $\Delta P_i$ ) для приборов классов точности 1 и 1,6 для различных значений  $Q_n$  и  $\Delta P_n$ . Для ртутных образцовых манометров расчетные значения перепада приведены при 20 °С.

Для номинальных перепадов дифманометров, кратных или дольных указанным в табл. 5-14 и 5-15, расчетные значения перепада давления и допустимые отклонения определяют соответствующим кратным или дольным пересчетом.

Проверка дифманометров-уровнемеров производится аналогично проверке дифманометров-перепадамеров. Перепады давления, соответствующие проверяемым отметкам шкалы уровнемера, определяют согласно § 5-3.

Проверку дифманометров с номинальным перепадом менее 1 000 кгс/м<sup>2</sup> рекомендуется производить при заполнении их конденсатом. При такой проверке учитывается давление столба жидкости между камерами дифманометра. Для удобства создания перепада используют уравнительные бачки, присоединяемые к плюсовому и минусовому вентилям дифманометра. Заполнение дифманометра конденсатом производят через ниппеля до вытеснения воздуха из обеих камер дифманометра. Уровень конденсата в обоих бачках выравнивают с помощью вентиля. Перепад давления создают с помощью насоса.

При открытии уравнительного вентиля дифманометра проверяют установку указателя прибора на отметку шкалы, соответствующую нулевому перепаду давления (для большинства уровнемеров это максимальная отметка шкалы).

Определение погрешности интегратора расходомера производят при значениях расхода 30, 50, 80 и 100% верхнего предела измерений. Кроме того, при наблюдении в течение не менее 5 мин необходимо проверить, что при нулевом расходе показание интегратора не изменяется.

Таблица 5-14

Проверка отметки шкалы расходомера, %		Номинальный перепад дифманометра															
		2 500 кгс/м <sup>2</sup>		0,4 кгс/см <sup>2</sup>		0,63 кгс/см <sup>2</sup>		1,0 кгс/см <sup>2</sup>		1,6 кгс/см <sup>2</sup>							
$\Delta P_i$		Допуск $\pm$ для класса точности		$\Delta P_i$		Допуск $\pm$ для класса точности		$\Delta P_i$		Допуск $\pm$ для класса точности		$\Delta P_i$		Допуск $\pm$ для класса точности		$\Delta P_i$	
		1,0	1,6	1,0	1,6	1,0	1,6	1,0	1,6	1,0	1,6	1,0	1,6	1,0	1,6	1,0	1,6
0	0	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	—	—
30	16,6	1,1	1,8	26,6	1,8	2,8	4,4	41,9	2,8	4,4	66,4	66,4	4,4	7,1	106,3	7,1	11,3
33	20,1	1,2	1,9	32,1	2,0	3,1	4,9	50,7	3,1	4,9	80,4	80,4	4,9	7,8	128,6	7,8	12,4
40	29,5	1,5	2,4	47,2	2,4	3,8	5,9	74,4	3,7	5,9	118,1	118,1	5,9	9,4	189,0	9,4	15,1
50	46,1	1,8	2,9	73,8	3,0	4,7	7,4	116,3	4,7	7,4	184,6	184,6	7,4	11,8	295,3	11,8	18,9
60	66,4	2,2	3,5	106,3	3,5	5,7	8,9	167,4	5,6	8,9	265,8	265,8	8,9	14,2	425,2	14,2	22,6
70	90,4	2,6	4,1	144,7	4,1	6,6	10,3	227,8	6,5	10,3	361,7	361,7	10,3	16,5	578,8	16,5	26,4
80	118,1	3,0	4,7	189,0	4,7	7,5	11,8	297,6	7,4	11,8	472,4	472,4	11,8	18,9	755,9	18,9	30,2
90	149,5	3,3	5,3	239,2	5,3	8,5	13,3	376,7	8,4	13,3	598,0	598,0	13,3	21,2	956,7	21,2	34,0
100	184,6	3,7	5,9	295,3	5,9	9,4	14,8	465,0	9,3	14,8	738,2	738,2	14,8	23,6	1181,2	23,6	37,8

Расчетный перепад давления, мм рт. ст.



Погрешность показаний интегратора  $\delta_M$  определяется одним из двух способов.

1. Для значения расхода  $Q_i$  определяют действительную разность показаний интегратора  $M$  за время поверки  $t$ :

$$\delta_M = \left( \frac{M}{M_{\Pi}} - \frac{Q_i}{Q_{\Pi}} \right) \cdot 100 \%,$$

где  $M_{\Pi} = \frac{M'_{\Pi}}{60} \cdot t$  — расчетная разность показаний интегратора, соответствующая верхнему пределу измерений  $Q_{\Pi}$  за время  $t$ ;  $M'_{\Pi}$  — расчетная разность показаний интегратора за 1 ч, соответствующая верхнему пределу измерений (приводится в инструкции на прибор).

Если при проверке интегратора с электрическим приводом отсчет времени производят по механическому секундомеру, то при средней фактической частоте тока  $f$  (Гц) в вышеприведенной формуле величина  $M$  умножается на коэффициент  $50/f$ .

Время поверки  $t$  выбирают кратным периоду минимально необходимого целого числа оборотов дисков счетчика. Необходимая продолжительность времени поверки  $t$  интегратора определяется погрешностью отсчета счетчика.

Так, для расходомеров типа ДСР1 с  $M'_{\Pi} = 1\,000$  при допустимой погрешности  $\pm 0,6\%$  время  $t$  должно быть не менее 12 мин.

**Пример.** При проверке интегратора прибора ДСР1 для расхода  $Q_i = 0,8Q_{\Pi}$  при  $t = 12$  мин определено  $M = 159$ . Отсчет времени производился по механическому секундомеру.

$$\text{Находим } M_{\Pi} = \frac{1\,000}{60} \cdot 12 = 200;$$

$$\delta_M = \left( \frac{159}{200} - 0,8 \right) \cdot 100 = -0,5 \%.$$

При проверке  $f = 49,8$  Гц, с учетом этого

$$\delta_M = \left( \frac{159}{200} \cdot \frac{50}{49,8} - 0,8 \right) \cdot 100 = -0,18 \%.$$

2. Для расхода  $Q_i$  определяют время отсчета расчетной для времени  $t$  разности показаний  $M_p = M_{\Pi} \frac{Q_i}{Q_{\Pi}}$ . При этом

$$\delta_M = \left( 1 - \frac{t_d}{t} \right) \frac{Q_i}{Q_{\Pi}} \cdot 100 \%,$$

где  $t_d$  — действительное время поверки по секундомеру — время отсчета разности показаний  $M_p$ .

Если  $t_d$  определяется по механическому секундомеру, то с учетом частоты  $f$  погрешность равна:

$$\delta_M = \left( 1 - \frac{t_d f}{t \cdot 50} \right) \frac{Q_i}{Q_{\Pi}} \cdot 100 \%.$$

Пример. При проверке интегратора прибора ДСР1 для  $Q_i = 0,8Q_n$  при  $t = 12$  мин ( $M_p = 160$ ) по механическому секундомеру определено  $t_d = 12$  мин 05 с. При этом

$$\delta_M = \left(1 - \frac{725}{720}\right) \cdot 0,8 \cdot 100 = -0,55 \%$$

При проверке  $f = 49,8$  Гц, с учетом этого

$$\delta_M = \left(1 - \frac{725 \cdot 49,8}{720 \cdot 50}\right) \cdot 0,8 \cdot 100 = -0,23 \%$$

При определении погрешности по любому способу рекомендуется измерение времени производить электрическим секундомером типа П14М. Указатель прибора устанавливается на поверяемое значение расхода при вынутых электронных лампах из усилителя или при отключенных проводах на колодочке внешних соединений реверсивного двигателя.

Рекомендуется проверку производить по второму способу. Начало и окончание отсчета времени производят в момент прохождения через указатель счетчика точки на цифре «1» диска младшего разряда.

Ниже приведены расчетная разность показаний для приборов ДСР1 при времени проверки 12 мин и допуск на действительное время проверки при допустимой погрешности интегратора  $\pm 0,6\%$ :

Поверяемое значение расхода, % от $Q_n$ . . . . .	30	50	80	100
Расчетная разность показаний . . . . .	60	100	160	200
Время проверки, мин . . . . .	12	12	12	12
Допуск на действительное время поверки, $\pm$ с . . . . .	14,4	8,6	5,4	4,3

Регулировка интегратора с электрическим приводом заключается в изменении взаимного расположения контактов, определяющих продолжительность включения дисков счетчика. При сближении контактов показания счетчика увеличиваются.

Количество вещества  $\Sigma Q$  (ед. массы или объема), измеренное счетчиком интегратора за период наблюдения, определяют по формуле

$$\Sigma Q = \frac{M Q_n}{M'_n}$$

Проверка монтажа комплекта приборов и импульсных линий для измерения давления, разрежения, расхода и уровня. Отборы импульсов для измерения давления, разрежения, расхода и уровня осуществляются с помощью отборных устройств в соответствии с нормами машиностроения (МН) и отраслевыми нормами общепромышленного назначения (МВН).

Проверка монтажа электрических соединительных линий производится аналогично проверке, описанной в § 4-4, при этом обращают внимание на правильность подключения электрических про-

водов к первичным и вторичным приборам, на состояние их изоляции и на надежность присоединения штепсельных разъемов.

Гнезда штепсельных разъемов имеют цифровую или буквенную маркировку: первичная обмотка дифтрансформаторного датчика подключена к гнездам 1—2 или А—Б, вторичная — к гнездам 3—4 или В—Г.

Схема подключения электрических цепей электроконтактных манометров типа ЭКМ соответствует схеме подключения прибора ЭКТ на рис. 4-1, а.

Правильность подключения к вторичному прибору первичной и вторичной обмоток первичных приборов дифтрансформаторной системы определяют измерением электрического сопротивления обмоток первичного прибора. Измерение производят с колодки вторичного прибора. Сопротивления обмоток приведены в табл. 5-12.

Сопротивление изоляции между электрическими цепями и корпусом должно удовлетворять требованиям, изложенным в § 1-4.

При опробовании дистанционной электрической передачи на приборы подают напряжение и проверяют правильность и надежность реагирования вторичных приборов при создании в первичном приборе искусственных сигналов — перемещении от руки трубчатой пружины манометра, подаче перепада давления от насоса в камеру дифманометра и т. п. При неправильном реагировании вторичного прибора меняют места провода, идущие к одной из обмоток первичного прибора.

Включение в работу приборов давления, разрежения, расхода, уровня производят после продувки и опрессовки импульсных линий. При измерении вязких и агрессивных сред включение производят после заполнения разделительных сосудов, импульсных линий к приборам и самих приборов разделительной жидкостью.

Продувка импульсных линий должна производиться сжатым воздухом. Импульсные линии при измерении пара и воды допускаются продувать рабочей средой. Продувка производится при отключенных приборах через трехходовой пробковый кран или через специальные продувочные вентили.

Приборы давления включают открытием запорных вентилей. Запорные вентили на отборных устройствах открывает дежурный персонал технологических цехов по согласованию с монтажной организацией. Включают прибор при остывших после продувки импульсных трубках, а при продувке паром — после заполнения трубок конденсатом. Вентили у прибора открывает дежурный персонал цеха, эксплуатирующего приборы, совместно с представителем наладочной организации.

Правильность показаний приборов давления определяют проверкой «нуля» прибора и сравнением с показаниями контрольных приборов, присоединяемых параллельно рабочим приборам. «Нуль» манометров проверяют при их выключении и снижении давления до атмосферного. При необходимости корректируют показания регулировкой «нуля» вторичного прибора. В качестве контрольных приборов используются однострелочные контрольные манометры типа МКО (верхние пределы измерений 0,6—600 кгс/см<sup>2</sup>) и вакуумметры типа ВКО (верхние пределы —1; —0,6 кгс/см<sup>2</sup>) класса точности 0,6.

При сопоставлении показаний приборов с технологической картой необходимо вводить в показания приборов поправку на разницу по высоте между отборным устройством и прибором.

Колокольный дифманометр-тягианоромер включают при открытом плюсовом и уравнительном вентиле открытием минусового вентиля дифманометра.

При включении колокольного дифманометра во избежание выброса масла в сбросные камеры контролируют разрежение с помощью водяного U-образного дифтягомера, подключаемого к плюсовому вентилю. Включение дифманометра производят закрытием уравнительного вентиля при разрежении, соответствующем диапазону измерения прибора.

В случае, если температура измеряемой среды внутри соединительной трубки значительно отличается от температуры воздуха, окружающего дифманометр (столб измеряемой среды не уравнивается столбом окружающего воздуха, что приводит к завышению показаний прибора), нужно учитывать погрешность на высоту столба измеряемой среды от места отбора до дифманометра.

Поправка ( $\text{кгс/м}^2$ ) к показаниям прибора равна:

$$\Delta P = H (\rho_c - \rho_v),$$

где  $\rho_c$  — плотность среды в соединительной трубке, принимаемая равной плотности воздуха при соответствующей температуре среды  $t_c$ ;  $\rho_v$  — плотность окружающего воздуха в помещении котельного цеха при средней температуре  $30^\circ\text{C}$ .

**Пример.** Схема импульсных линий при измерении разрежения в топке котла приведена на рис. 5-12. Два отбора с разных сторон топки котла объединены для усреднения разрежения  $P_{\text{ср}}$ . Показание прибора —  $2 \text{ кгс/м}^2$ ,  $H = 20 \text{ м}$ ,  $t_c = 50^\circ\text{C}$ ,  $\rho_c = \rho_{50} = 1,07 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{взр}} = 1,15 \text{ кг/м}^3$ . Поправка  $\Delta P = 20 \cdot (1,07 - 1,15) = -1,6 \text{ кгс/м}^2$ . Действительное значение разрежения равно  $-3,6 \text{ кгс/м}^2$ .

Для уменьшения вышеуказанной температурной погрешности рекомендуется датчик устанавливать вблизи места отбора; «нуль» вторичного прибора выставлять при соединении отборного устройства с атмосферой.

Дифманометры включают подачей давления на чувствительный элемент дифманометра. Давление подают плавно, без толчков; односторонние перегрузки чувствительного элемента не допускаются. Также не допускается одновременное открытие всех трех вентилей дифманометра (в противном случае при продувке среды через уравнительный вентиль возможен заброс горячей или агрессивной среды в дифманометр, что приводит к повреждению мембранного блока и самого дифманометра; при измерении перепада на по-

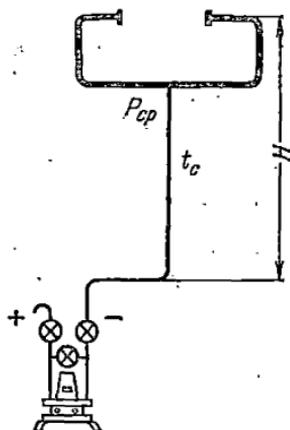


Рис. 5-12. Схема импульсных линий при измерении разрежения в топке котла.

верхностях нагрева возможен заброс относительно холодной среды в более нагретую среду, что приводит к гидравлическому удару.

Дифманометры для измерения расхода неагрессивных газов и жидкостей включают в следующем порядке: при открытых запорных вентилях у сужающего устройства открывают уравнительный вентиль, а затем один из запорных вентилях; далее закрывают уравнительный вентиль и открывают второй запорный вентиль.

Для удаления воздуха или жидкости из дифманометра производят его кратковременную продувку рабочей средой через продувочные шпигеля, для чего закрывают один из запорных вентилях, открывают уравнительный вентиль и отворачивают продувочный шпигель одной из камер дифманометра. После удаления воздуха или жидкости продувочный шпигель заворачивают. Аналогично продувают вторую камеру дифманометра. Включение датчика производят в обратной последовательности. После выполнения указанных операций вся система заполнена измеряемой средой.

Для проверки «нуля» дифманометра закрывают один запорный вентиль и открывают уравнительный вентиль дифманометра.

Дифманометры-парометры включают в следующем порядке: дифманометр заполняют конденсатом, затем подключают его, как указано выше, к импульсным линиям, которые должны быть полностью заполнены конденсатом измеряемого пара. Для уменьшения времени конденсации пара можно произвести искусственное охлаждение конденсационных сосудов водой.

Дифманометры для измерения расхода агрессивных сред с применением разделительных сосудов включают в следующем порядке: при закрытых запорных вентилях СУ и уравнительном вентиле дифманометра открывают уравнительные вентили разделительных сосудов и запорные вентили дифманометра (при этом происходит выравнивание уровней разделительной жидкости в сосудах); затем проверяют «нуль» прибора; далее закрывают уравнительные вентили разделительных сосудов и запорные вентили дифманометра, открывают запорные вентили СУ; после чего дифманометр включают одновременно и постепенным открытием запорных вентилях.

Проверку правильности показаний включенных расходомеров производят, сопоставляя их показания со значениями расхода по технологической карте и по материальному балансу. Например, расход пара от котла должен соответствовать расходу воды в котел с учетом продувок и впрысков.

При оценке правильности показаний расходомеров необходимо проверить соответствие рабочих параметров среды (давления и температуры) расчетным значениям. Пересчет на действительное значение плотности  $\rho_d$  производится по следующим общим формулам:

$$Q_{0,d} = Q_0 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_d}}; \quad Q_{m,d} = Q_m \sqrt{\frac{\rho_d}{\rho}},$$

где  $Q_0$  и  $Q_m$  — показание прибора (объемный и массовый расход);  $Q_{0,d}$  и  $Q_{m,d}$  — действительный объемный и массовый расход;  $\rho$  — плотность при расчетных рабочих условиях.

Для сухого газа расход в рабочем состоянии при изменении температуры и давления  $P_d, T_d$  против расчетных значений  $P, T$  равен:

$$Q_0 = Q_n \frac{\rho_n \epsilon_d}{\rho \epsilon} \sqrt{\frac{PT_d K_d}{P_d T K}}$$

где  $Q_n$  — объемный расход газа в нормальном состоянии;  $\rho_n$  — плотность газа в нормальном состоянии;  $\epsilon$  — поправочный множитель на расширение измеряемой среды при расчетных рабочих условиях;  $\epsilon_d$  — то же при действительных рабочих условиях;  $K$  — коэффициент сжимаемости газа при расчетных рабочих условиях;  $K_d$  — то же при действительных рабочих условиях.

**Пример.** Расходомер, установленный на трубопроводе подачи конденсата на вырыск котла, рассчитан при параметрах  $P = 155 \text{ кгс/см}^2, t = 343,6 \text{ }^\circ\text{C}, \rho = 597,7 \text{ кг/м}^3$ .

При подаче на вырыск питательной воды рабочие параметры  $P_d = 170 \text{ кгс/см}^2, t_d = 230 \text{ }^\circ\text{C}, \rho_d = 839,9 \text{ кг/м}^3$ . При этом

$$Q_d = Q \sqrt{\frac{\rho_d}{\rho}} = Q \sqrt{\frac{839,9}{597,7}} \approx 1,19Q,$$

т. е. действительный расход в 1,19 раза больше показаний прибора.

Дифманометры-уровнемеры включают на заполненные импульсные линии аналогично расходомерам. Заполнение импульсных линий производят либо от постороннего источника (вода, конденсат), либо конденсатом греющего пара. В том случае, когда уровнемеры должны работать при заполнении емкости до подачи пара (уровнемеры ПВД), заполнение водой плюсовой импульсной линии и дифманометра производят от напорной линии конденсатных насосов. При подаче пара заполнение системы производится конденсатом греющего пара через двухкамерный сосуд, минусовую импульсную линию и дифманометр при закрытом вентиле на плюсовой врезке сосуда; для заполнения системы через дифманометр дают небольшой расход воды. Таким же образом через сосуд можно заполнить и плюсовую импульсную линию. При измерении уровня в конденсаторах турбин заполнение дифманометра и импульсных линий производят от напорной линии.

Проверку «нуля» («нулевого» перепада) производят так же, как и для расходомеров. При этом прибор должен показать максимальный уровень. При опробовании необходимо помнить, что при использовании сосуда с частично обогреваемым «плюсом» «нулевой» перепад на дифманометре не является рабочим.

При сверке показаний уровня в барабане котла по разным сосудам учитывают точность установки различных сосудов по гидроразности и горизонтальность установки барабана.

При сверке показаний с водоуказательной колонкой, кроме того, нужно иметь в виду, что ее показания совпадают с действительным уровнем только сразу после продувки водоуказательной колонки.

Корректировку уровнемеров подогревателей производят на работающем с номинальными параметрами подогревателе по указательному стеклу при среднем эксплуатационном уровне.

Таблица 5-16

## Возможные неисправности приборов дифференциально-трансформаторной системы и способы их устранения

Внешние признаки неисправности	Неисправный элемент прибора	Характер неисправности	Способ устранения неисправности
Полная потеря чувствительности	Кинематическая система измерительной схемы Реверсивный электродвигатель Усилитель Входной трансформатор Силовой трансформатор Датчик	Заедание в редукторе реверсивного двигателя Обрыв тросика Повреждение обмотки заднего опорного подшипника Полный выход из строя электронных ламп (транзисторов) Потеря чувствительности усилителя Замыкание; обрыв То же Обрыв обмотки Плохой контакт в штепсельном разъеме Обрыв сердечника в месте пайки Повреждение чувствительного элемента	Произвести ревизию или заменить двигатель Заменить тросик Заменить двигатель Заменить ротор двигателя или весь двигатель Заменить электронные лампы (транзисторы) Восстановить электрическую схему или заменить усилитель Заменить трансформатор То же Заменить катушку Восстановить контакт Восстановить соединительные сердечника Заменить датчик

Внешние признаки неисправности	Неисправный элемент прибора	Характер неисправности	Способ устранения неисправности
Заниженная чувствительность и повышенная погрешность показаний	Кинематическая система измерительной схемы Усилитель	Повышенное трение Чрезмерный натяг тросика Частичная потеря эмиссии электронных ламп	Произвести ревизию Ослабить натяг Заменить электронные лампы
Повышенная погрешность показаний между оцифрованными точками	Кулачок измерительной системы	Ноплавный профиль	Восстановить плавность профиля или заменить кулачок
Повышенная вариация	Датчик	Затирание сердечника	Устранить затирание
Диаграммная лента не перемещается	Кинематическая система силовой части прибора Редуктор лентопрогибного механизма «Паразитная» шестерня	Заедание в редукторе синхронного двигателя Заедание в редукторе, повреждение шестерни Отсутствие зацепления	Произвести ревизию или заменить двигатель Произвести ревизию, заменить шестерню Восстановить зацепление
Повышенная погрешность счетчика интегратора	Синхронный двигатель Контактные полукольца Контакты включения электромагнитной муфты	Аналогично реверсивному электродвигателю Загрязнение Неправильное взаимное расположение	Промыть бензином Отрегулировать взаимное расположение
Неудовлетворительное качество записи	Капилляр пера Наконечник пера	Засорение Царапание диаграммы	Промыть или прочистить Произвести притирку пера

## 5-6. ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ ПРИБОРОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Возможные неисправности в работе приборов дифференциально-трансформаторной системы и способы их устранения приведены в табл. 5-16. Устранение неисправностей производят при отключенном приборе.

Если отказ в работе приборов вызван дефектами основного оборудования до первого по ходу отбора давления запорного вентиля (подтекание из сальника, нарушение плотности или засорение отборного устройства), необходимо сделать запись в журнале дефектов основного оборудования и сообщить об этом заказчику или вышестоящему руководителю.

## РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

### НАЛАДКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЕЩЕСТВ

#### 6-1. ПРИБОРЫ ГАЗОВОГО АНАЛИЗА, КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ И ПАРА

Основные технические характеристики газоанализаторов приведены в табл. 6-1.

Основная погрешность газоанализаторов выражается в процентах от диапазона измерения прибора и определяется при следующих нормальных условиях: температура окружающей среды  $20 \pm 2$  °С; относительная влажность 30—80%; атмосферное давление  $745 \pm 25$  мм рт. ст.; дополнительно задаются номинальные значения температуры, давления и влажности анализируемой газовой смеси или среды, расхода ее через датчик, допустимые значения неизмеряемых компонентов и т. д.

Основные технические характеристики солемеров приведены в табл. 6-2.

Солемеры состоят из пробоотборного устройства, охладителя, концентратора, конденсатора пара, датчика и вторичного прибора. В солемерах типа СПЦ, СПИМ и др. производится многократное упаривание пробы и практически полное удаление из нее растворенных газов, в результате чего повышается точность анализа [Л. 22].

Основные технические характеристики кислородомеров приведены в табл. 6-3.

Основные технические характеристики датчиков рН-метров приведены в табл. 6-4.

Таблица 6-1

Тип газо-анализатора	Определяемый компонент	Измеряемая среда	Диапазон измерений, % (по объему)	Относительная основная погрешность не более, $\pm$ %	Вторичный прибор
ТП-1116М ТП-1120	H <sub>2</sub>	Воздух Охлаждающие газы	0—6 80—100	2,5	МСР1-03, ЭМВ2-211
МН-5106 МН-5130 МГК-14	O <sub>2</sub>	Дымовые газы	0—10	2,5	МС1-01, МСР1-03 МС1-01, МСР1-03 ЭПП, ЭПД, ПСР1
			0—1; 0—2 0—1; 0—2	5 2,5	
МК-59 (МК-62), МКН			0,5—10	—	В комплекте селек- тронными регуля- торами
ТХГ-5А	H <sub>2</sub>	Кислород	0—2	5	ЭМД-202
ТХГ-5Б	O <sub>2</sub>	Водород	0—1	5	

Чувствительный элемент состоит из стеклянного (измерительно-го) электрода типа ЭСП-00-14 и вспомогательного (сравнительного) электрода. Вспомогательный электрод состоит из потенциало-образующего электрода типа ЭХСВ-1 и электролитического ключа. Электроды ЭСП-00-14 выпускаются трех модификаций: ЭСП-01-14, ЭСП-04-14 и ЭСП-06-14 (цифры шифра обозначают марку электродного стекла, наполнитель электрода, конструктивную особенность).

В качестве вторичных приборов используются высокоомные преобразователи ПВВ-65И, ПВУ-5256 и рН-261, высокоомные потенциометры типа ЭППВ-28 и КСПВ4. К указываемому преобразователю типа ПВУ-5256 или рН-261 может быть подключен вторичный прибор с пределом измерений 0—5 мА постоянного тока или потенциометр с пределами измерений от 0 до 20—50 мВ.

Основные технические характеристики концентратометров приведены в табл. 6-5. Контролируемая среда может находиться при давлении до 5 кгс/см<sup>2</sup> при температурах 1—110 °С и вязкости до 0,1 пз.

Сигнализаторы истощения материала фильтров типа СИФ и СИАФ имеют пределы измерения от 0 до 200 · 10<sup>-6</sup> См/см; допустимая погрешность не более  $\pm 5\%$ .

Таблица 6-2

Тип солемера	Измеряемая среда	Предел измерений	Основная погрешность не более, $\pm$ %	Вторичный прибор
СПП, СППМ СПВ, СПВМ СКТ, СКТМ	Перегретый пар Питательная вода Конденсат турбин	200 мкг/кг 200 мкг/кг 200 мкг/кг	5,0 5,0 5,0	МСР1-113
РЭС-106 РЭС-111	Насыщенный пар	4 мг/кг	1,0	ЭМП-62 МС1-06; МСР1-17
СВЭ-254	Питательная вода	50 мг/л	4,0	МПР-12С
УСВ2-01	Дистиллят	400 КОм/см	4,0	МПР7-06
СЭМС-01 (02)	Конденсат	1; 5 мг/кг	3,0	ЭМВ2-221 (222)
КСКВ	Котловая вода	70— 9 000 мг/л	—	В комплекте с электронными регуляторами
ССК-1	Конденсат	5; 10; 30 мг/л	—	Сигнализатор

Таблица 6-3

Тип кислородомера	Предел измерений, мг/л	Основная погрешность не более, $\pm$ %	Тип вторичного прибора
АК-5-1	0,1	5	МСР1
АК-5-2	0,15	5	МСР1
АК-298	0,2	5	ППР7-03

Таблица 6-4

Тип датчика	Обозначение	Пределы измерений, рН	Параметры среды, не более	
			Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Температура, °С
Магистральный (проточный)	ДМ-5М	0—14	6	100
	ДПр-5315	1—14	Негерметичный	
Погружной	ДПг-4М	0—14	6	
	ДПг-5274		Негерметичный	

Таблица 6-5

Тип концентратомера	Пределы измерений, См/см	Контролируемая среда	Основная погрешность, ±%	Вторичный прибор
КК-1	$10^{-6}$ — $10^{-3}$	Чистые неагрессивные растворы	2,5	ЭМД-212; ЭМД-232; МСР1-03
КК-2, КК-3	$10^{-4}$ —1			
КК-4, КК-5	$10^{-4}$ — $10^{-2}$	Чистые и загрязненные агрессивные растворы		
КК-6—КК-9	$10^{-3}$ —1			

## 6-2. НАЛАДКА ПРИБОРОВ ГАЗОВОГО АНАЛИЗА

В объем наладки газоанализаторов входит: лабораторная поверка комплекта; проверка монтажа газоанализатора; проверка монтажа электрических соединительных линий; подготовка газовой схемы; включение газоанализатора; проверка газоанализатора по контрольным точкам в рабочих условиях; проверка показаний прибора на рабочей точке; устранение неисправностей.

В объем лабораторной поверки газоанализатора входит: внешний осмотр; проверка герметичности датчика; ревизия вторичного прибора; проверка исправности вторичного прибора; проверка срабатывания контактов сигнальных устройств; проверка работы лентопротяжного механизма и качества записи; проверка шкалы газоанализатора.

Лабораторную поверку производят на стенде, оборудованном побудителем расхода, блоком контроля, редуктором для подключения баллонов с контрольными смесями, печью дожигания, запорными вентилями, стабилизатором напряжения и другими вспомогательными устройствами.

При проверке герметичности датчика с помощью побудителя расхода в системе создают давление (разрежение), равное полтора-кратному рабочему давлению (разрежению), после чего закрывают запорные вентили. Давление (разрежение) в датчике в течение 5 мин должно оставаться практически неизменным.

Проверка исправности вторичного прибора (электронного моста типа МС) отдельно от приемника для газоанализаторов типа МН и ТП производится по схеме на рис. 6-1. В качестве источника напряжения используется обмотка 6,3 В силового трансформатора прибора. Напряжение источника питания должно быть синфазно с питанием вторичного прибора.

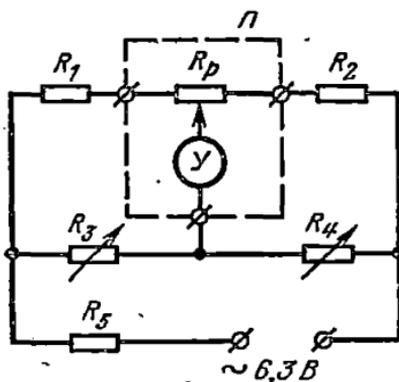


Рис. 6-1. Принципиальная схема проверки вторичных приборов газоанализаторов типа МН и ТП.

П — вторичный прибор; Y — электронный усилитель прибора;  $R_p$  — реохорд прибора (90 Ом);  $R_1$  и  $R_2$  — подгоночные катушки (2,5 Ом каждая);  $R_3$ ,  $R_4$  — магазин сопротивлений ( $R_3 + R_4 = 95$  Ом);  $R_5$  — резистор 30 кОм.

В качестве источника напряжения используется обмотка 6,3 В силового трансформатора прибора. Напряжение источника питания должно быть синфазно с питанием вторичного прибора. Проверка состоит в изменении величины сопротивлений магазинов  $R_3$  и  $R_4$  через 1 Ом при сумме сопротивлений магазинов неизменной и равной 95 Ом. Показания по шкале прибора должны изменяться на величину 0,8—1,8% разности предельных значений шкалы. Началу шкалы соответствует сопротивление  $R_3 = 4 \div 8$  Ом, концу шкалы соответствует  $R_3 = 85 \div 90$  Ом. Проверку производят как при возрастающих (прямой ход), так и при убывающих значениях (обратный ход) сопротивления  $R_3$ . По разнице показаний между прямым и обратным ходом судят о вариации показаний прибора.

Для проверки шкалы газоанализатора производят подключение электрических цепей датчика и вторичного прибора согласно за-

водской инструкции. Датчики газоанализаторов МН и ТП запитывают стабилизированным напряжением.

Проверку шкалы газоанализатора МН производят по двум контрольным точкам. Проверку «нуля» выполняют при подаче в датчик азота из баллона, при этом определяют возможность с помощью «нулевого» потенциометра установить указатель прибора на отметку условного «нуля» (красная черта в начале шкалы). Если указатель прибора уходит за конец шкалы, обеспечивают синфазность питания датчика и вторичного прибора, для чего меняют полярность питания датчика или вторичного прибора. После прогрева датчика и установления теплового равновесия плечевых элементов (через время, указанное в заводской инструкции) выставляют указатель прибора на нулевую отметку. Далее прекращают подачу азота и через датчик пропускают воздух, переключатель «измерение—контроль» устанавливают в положение «контроль», после чего производят проверку чувствительности. При нормальной

чувствительности через 5—10 мин указатель должен установиться на красной черте в конце шкалы; при необходимости чувствительность регулируют потенциометром «чувствительность». Далее проверяют работу магнитного шунта: при опускании шунта показания прибора должны быть близки к нулю; при последующем поднимании шунта показания прибора должны увеличиться.

При проведении проверки шкалы газоанализатора рекомендуется зафиксировать температуру окружающего воздуха для последующего определения возможных причин «сползания» контрольных точек.

Для приборов со шкалой 0—1 и 0—2%  $O_2$  при шунтировании магнитного поля погрешности газоанализатора типа МН по контрольным точкам обычно составляет не менее  $\pm 0,2\%$   $O_2$ , что является недопустимым. Проверку этих приборов рекомендуется производить по рабочим точкам. Предварительную проверку выполняют газовой смесью, полученной в результате смешения газа после печи дожигания и воздуха; для получения газовой смеси с нулевым содержанием кислорода газ после печи дожигания смешивается с азотом. Нулевое содержание кислорода контролируют по переносному прибору типа ГХИ-3М или с помощью других контрольных приборов. Окончательную проверку приборов производят с использованием контрольных смесей [Л. 24].

При проверке монтажа газоанализатора проверяются монтаж газовой схемы, установка датчика и другие операции в объеме заводских монтажно-эксплуатационных инструкций. При этом обращают особое внимание на следующее:

- а) для анализа должен быть обеспечен отбор представительной пробы газа;
- б) запаздывание показаний газоанализатора должно быть наименьшим;
- в) газовая схема не должна вносить искажений в состав пробы газа;
- г) должна быть обеспечена достаточная надежность работы газоанализатора и возможность удобного его обслуживания.

При производстве наладки приборов газового анализа следует иметь в виду следующие замечания и рекомендации.

*По газовой схеме:*

1. Недостатками газовой схемы под разрежением (рис. 6-2) являются: большое запаздывание, нестабильный расход газа через датчик, возможность подсосов воздуха и связанное с этим завышение показаний.

2. Перевод газовой схемы на частичную работу под давлением (побудитель расхода типа ПР-7 устанавливается между блоком очистки и датчиком) позволяет уменьшить указанные недостатки [Л. 40].

3. Хорошие практические результаты достигаются при применении газовой схемы с гидрокомпрессором (рис. 6-3) (так называемая «мокрая» газовая схема). Достоинством схемы является высокая надежность всех ее элементов, простота и удобство в обслуживании. Недостатком схемы является искажение состава пробы газа, вызванное поглощением углекислого газа конденсатом и, как следствие этого, обогащением пробы газа кислородом. По данным ОРГЭС

при использовании для гидрокомпрессора конденсата указанная погрешность может достигать 0,1—0,2%  $O_2$ ; при ухудшении качества конденсата (повышении его температуры и насыщенности кислородом) погрешность возрастает.

«Мокрая» схема применяется при работе котлов на твердом или газообразном топливе со средними избытками воздуха; при работе на сернистом мазуте схема применяется как обеспечивающая хорошую очистку от сернистых соединений,

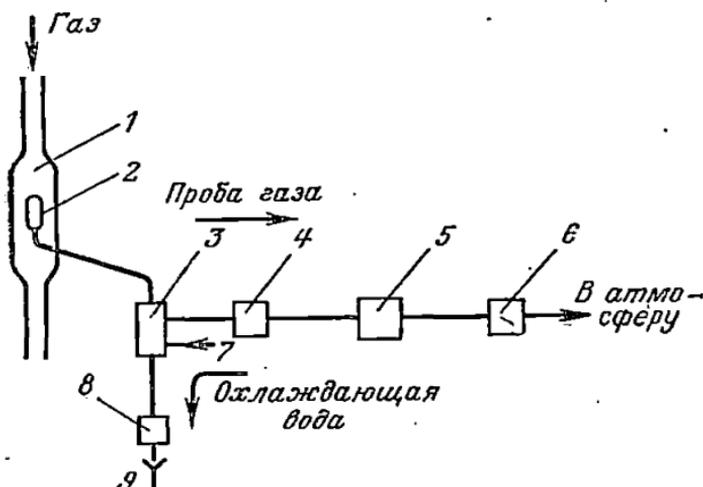


Рис. 6-2. Газовая схема газоанализатора типа МН-5106 с сухим отбором газа.

- 1 — шунтовая труба; 2 — фильтр предварительной очистки; 3 — блок очистки; 4 — фильтр тонкой очистки; 5 — датчик; 6 — побудитель расхода; 7 — линия охлаждающей воды; 8 — сливной сосуд; 9 — сливная линия.

4. Наиболее предпочтительной является «сухая» газовая схема, полностью работающая под давлением; в этом случае газовая схема совершенно не искажает состав пробы газа. Реализовать указанную схему можно при применении виброкомпрессоров, надежно работающих при высоких температурах и в агрессивной среде. В последнее время проведены опытные разработки таких виброкомпрессоров.

По элементам газовой схемы:

1. Надежность работы фильтра предварительной очистки зависит от материала фильтра. Так, заводской керамический фильтр при работе котла на твердом топливе с большим содержанием золы и сажи быстро забивается; очистка заводского фильтра затруднена. В этом случае рекомендуется применять фильтр из шнурового асбеста; при работе котла на сернистых мазутах рекомендуется применять фильтр из кремнеземистого волокна,

Должна быть предусмотрена возможность быстрой замены фильтра; приспособление для этой цели рекомендовано в [Л. 41].

2. Холодильник заводского изготовления, как правило, не обеспечивает достаточного охлаждения пробы газа. Рекомендации по изготовлению холодильника приведены в [Л. 41].

3. Сернистый фильтр не обеспечивает достаточной очистки газа, особенно при сжигании высокосернистых мазутов. В последнем случае применяются химические поглотители сернистых соединений.

4. Фильтр тонкой очистки (из фланели) при сжигании высокосернистых мазутов неработоспособен. В этом случае применяются фильтры из стекловолокна, пенопласта и других пористых материалов, стойких к агрессивным газам.

5. Недостатком электрических побудителей расхода типа ПР-7 является наличие вращающихся частей и в связи с этим необходимость ухода за ними (добавление масла). При установке этих побудителей расхода до датчика не исключена возможность попадания паров масла в датчик.

По установке газоотборного устройства:

1. Газоотборный патрубок устанавливается в конвективной шахте котла в зоне хорошего перемешивания газов при минимальных присосах воздуха и при температурах 200—550 °С. Место установки патрубка (по ширине сечения газохода) определяется на основании тарировки сечения газохода по содержанию в продуктах горения компонентов газовой смеси при теплотехнических испытаниях котла. При ширине газохода свыше 10 м выполняются два отборных устройства, от которых производится отбор газа на анализ для двух независимых измерений. Глубина погружения патрубка в газоход 1,5—2 м. Патрубок изготавливается из трубы диаметром не менее 100 мм; материал трубы — жаропрочная сталь. В нижней части патрубка выполняется щелевое отверстие треугольной формы, торец патрубка заглушается. Размеры отверстия зависят от неоднородности газов по глубине газохода и от содержания механических примесей (золы и сажи) в продуктах горения.

2. Шунтовая труба выполняется вертикально с минимальным гидравлическим сопротивлением (крутые повороты и горизонтальные участки должны отсутствовать). Переход газоотборного патрубка

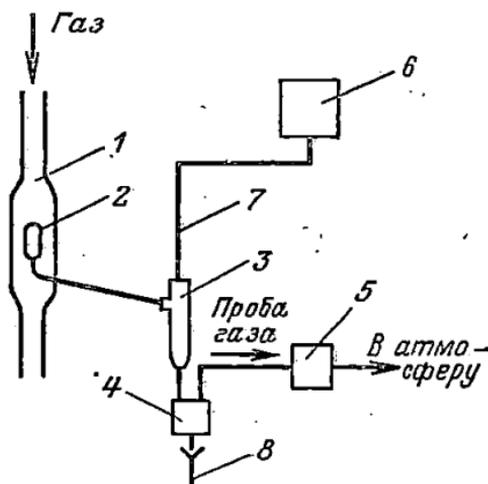


Рис. 6-3. Газовая схема газоанализатора типа МН-5106 с гидроккомпрессором.

1 — шунтовая труба; 2 — фильтр предварительной очистки; 3 — гидроккомпрессор; 4 — газоделиватель; 5 — датчик; 6 — напорный бачок; 7 — линия конденсата; 8 — сливная линия.

в шунтовую трубу должен быть плавным. Диаметр шунтовой трубы выбирают не менее диаметра газоотборного патрубка. Сварные швы на шунтовой трубе должны быть плотными и не должны иметь наваров внутрь трубы. Для исключения конденсации газа шунтовую трубу покрывают теплоизоляционным материалом; теплоизоляцию наносят с просветами для возможности обстукивания шунтовой трубы.

При соблюдении указанных условий в шунтовой трубе достигается наибольшая скорость газов и уменьшается возможность ее забивания.

*По установке фильтра предварительной очистки:*

1. Фильтр предварительной очистки устанавливается в уширителе шунтовой трубы в зоне температур 200—300 °С. Здесь же предусматривается штуцер для отбора пробы газа на периодический химический контроль. Температура стенки металлической газоподводящей трубки фильтра должна быть не ниже точки росы паров серной кислоты (150 °С).

2. Соединение фильтра с последующим элементом газовой схемы должно выполняться из антикоррозийного материала. Такое соединение удобно выполнять при помощи гибкого шланга из вакуумной резины; наружную часть шланга при этом покрывают шнуровым асбестом. Для указанного соединения также применяют трубки из фторопласта.

*По установке датчика газоанализатора:*

Датчик газоанализатора располагают в местах, удобных для обслуживания, и вблизи газоотборного устройства. Температура окружающего воздуха должна быть в пределах 15—50 °С. Для датчиков без устройств термостатирования или термокомпенсации желательно, чтобы температура окружающего воздуха соответствовала градуировочной температуре прибора 20 °С и не менялась в течение суток больше чем на  $\pm 5$  °С; в противном случае работа таких датчиков в зоне переменных и высоких температур приводит к частому смещению контрольных точек газоанализатора и появлению дополнительной погрешности до 1% O<sub>2</sub> (при повышении температуры газоанализатор занижает показания).

Проверка монтажа электрических соединительных линий производится аналогично проверке, описанной в § 4-4. Соединительные провода прокладываются в гибких металлических шлангах или трубах, заземленных у вторичного прибора. Цепи питания датчика и измерительные цепи должны прокладываться отдельно и в разных трубах. Сопротивление изоляции между электрическими цепями и землей должно быть не менее 3 МОм при температуре окружающей среды 10—45 °С и относительной влажности до 90%. Далее для газоанализаторов типа МН производят подгонку электрического сопротивления каждой соединительной линии до сопротивления  $2,5 \pm 0,05$  Ом.

Схема электроснабжения датчика выполняется с резервированием питания, так как при перерывах питания датчика происходит устойчивое смещение шкалы прибора. При использовании электрического газового насоса питание датчика и насоса следует выполнять от одного источника напряжения.

Подготовка газовой схемы заключается в подготовке отдельных ее элементов (зарядка фильтра, промывка линий подачи конденсата,

регулировка производительности насоса и др.) и проверке герметичности газовой схемы.

*Проверка герметичности газовой схемы* производится так же, как и проверка герметичности датчика (см. выше). При проверке падение давления в газовой схеме в течение 5 мин не должно превышать 10 мм вод. ст. При большей скорости падения давления следует устранить неплотности.

Включение газоанализатора производится в следующем порядке: включают насос для прокачки воздуха через датчик, подают питание на вторичный прибор и датчик; после прогрева датчика в течение 1,5—2 ч начинают пропускать пробу газа через датчик; затем регулируют давление и расход газа.

*Проверка газоанализатора по контрольным точкам в рабочих условиях.* Проверку «нуля» производят на анализируемом газе при включенном магнитном шунте; проверку «чувствительности» — при пропуске воздуха через датчик. При необходимости обеспечивают фазировку питания датчика и вторичного прибора. Положение переключателей и способы регулировки такие же, как и при лабораторной поверке.

Проверку газоанализатора в рабочих условиях выполняют два лица, а при наличии переносного дублирующего прибора проверку производит один работник.

Проверка газоанализатора на рабочей точке производится путем сравнения с показаниями переносного газоанализатора (ГХП-3М, ВТИ-2 и др.). Перед сравнением показаний проверяют «нуль» с помощью магнитного шунта. Пробу для контрольного прибора отбирают из шунтовой трубы. Показания газоанализатора корректируют потенциометром «чувствительность». При необходимости более точных измерений нулевую точку проверяют при дожигании остатков кислорода в анализируемой пробе газа.

При проверке шкалы газоанализатора рекомендуется зафиксировать температуру окружающего воздуха, а при применении «мокрой» схемы, кроме того, и качество конденсата (температуру и насыщенность кислородом).

**Возможные неисправности газоанализаторов и способы их устранения.** Возможные неисправности в работе вторичных приборов и датчиков и способы их устранения аналогичны неисправностям потенциометров и мостов (табл. 4-29 и 4-30).

Возможные неисправности газовой схемы приведены в табл. 6-6.

### 6-3. НАЛАДКА ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ И ПАРА

В объем наладки приборов для измерения качества воды и пара входит: лабораторная поверка приборов; проверка монтажа приборов; проверка монтажа электрических соединительных линий; подготовка схемы для отбора пробы; включение приборов; проверка показаний приборов при работающем агрегате; устранение неисправностей.

Объем лабораторной поверки вторичных приборов — мостов и потенциометров изложен в § 4-4. Основная погрешность вторичных

Таблица 6-6

## Возможные неисправности газовой схемы газоанализаторов и способы их устранения

Внешние признаки неисправности	Неисправный элемент газовой схемы	Характер неисправности	Способы устранения неисправности
Увеличенное западание показаний	Газоотборное устройство	Забивание	Прочистить
	Фильтр предварительной очистки		Заменить
Завышение показаний	Сливной сосуд	Отсутствие воды	Заполнить сосуд водой
	Элементы газовой схемы, работающие под давлением	Нарушение герметичности	Установить место негерметичности и уплотнить его
		Система подачи конденсата	Низкое качество конденсата
Разрушена фланель фильтра тонкой очистки	Серпигный фильтр	Отработалась стружка в фильтре	Заменить стружку
Мало давление (разрежение) в газовой схеме	Побудитель расхода	Недостаточная производительность	Отрегулировать производительность побудителя

приборов солемеров проверяется по таблицам, приводимым в заводских монтажно-эксплуатационных инструкциях.

Проверка пастройки преобразователей рН-метров производится с помощью высокоомного потенциометра типа ППТВ-1, Р-307, Р37/1 (для контроля рабочего тока потенциометров применяется гальванометр с постоянной порядка  $10^{-8}$  А/дел и нормальный элемент НЭ-11) или имитатора электродной системы типа И-01 по таблицам э. д. с. электродных систем. Таблицы э. д. с. приводятся для различных градуировок в зависимости от координат ( $pH_{и}$ ;  $E_{и}$ ) изопотенциальной точки. Знак, указанный в таблице, обозначает полярность зажима потенциометра, подключаемого к зажиму «Изм» преобразователя рН-метра.

С помощью имитатора И-01 проверяют влияние изменения сопротивления электродов и напряжения между раствором и «землей» на показания преобразователя.

При необходимости производят регулировку преобразователя с помощью резисторов установки начала и конца шкалы.

При необходимости уменьшения величины выходного напряжения, соответствующего конечной отметке шкалы преобразователя, исключают (закорачивают) из электрической схемы резистор R214 сопротивлением 3,6 Ом (применительно к преобразователям типа рН-261). При этом выходное напряжение, соответствующее конечной отметке шкалы преобразователя, можно изменить в диапазоне 5—35 мВ; настройка преобразователя при указанном изменении схемы практически не меняется.

При лабораторной поверке датчиков солемеров и концентратометров производят внешний осмотр и проверку сопротивления изоляции датчиков.

Проверка монтажа приборов производится в соответствии с требованиями заводских монтажно-эксплуатационных инструкций.

Проверка монтажа электрических соединительных линий производится аналогично проверке, описанной в § 4-4. Сопротивление линии от датчика солемера к электронному мосту должно быть равно  $5 \pm 0,05$  Ом. Подключение датчиков рН-метров к вторичным приборам должно производиться коаксиальным кабелем типа РК.

Сопротивление изоляции между силовыми цепями и зажимом «Всп», соединенным с корпусом преобразователя рН-метра, измеренное с помощью мегомметра напряжением 1000 В, должно быть не менее 200 МОм. Сопротивление изоляции между зажимом «Всп» и корпусом, измеренное тераомметром при напряжении 150 В, должно быть не менее 40 МОм.

Подготовка схемы для отбора пробы заключается в продувке трубок и всей аппаратуры по подготовке пробы. Для датчиков рН-метров производят заполнение системы вспомогательного электрода насыщенным раствором хлористого калия, после чего устанавливают электроды и проверяют сопротивление цепи вспомогательного электрода (сопротивление должно быть 0,5—20 кОм).

Включение прибора производят в следующем порядке: с помощью запорных вентилях подводят пробу к датчику (для солемеров с дегазацией и обогащением пробы также производится подача греющего пара и охлаждающей воды), затем регулируют расход пробы.

Для солемеров определяют кратность обогащения пробы по формуле

$$K = \frac{G + g}{g},$$

где  $G$  — расход конденсата выпара;  $g$  — расход конденсата после датчика.

Расход пробы определяют с помощью мерной колбы; замеры продолжительностью 6 мин производят 3—4 раза. Среднее значение кратности обогащения должно быть равно  $15 \pm 1$ .

Далее подают питание на вторичный прибор.

**Проверка показаний приборов** при работающем агрегате производится сравнением с результатами периодического химического контроля. Солемеры проверяют по контрольным растворам. Для рН-метров настройку комплекта проверяют по буферным растворам.

**Устранение неисправностей** вторичных приборов производят аналогично описанному в § 4-4. Исправность рН-метров проверяют с помощью имитатора И-01. Отклонения на стеклянных электродах рН-метров приводят к искажению результатов измерений.

## РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ

### НАЛАДКА ОТДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАЩИТ

#### 7-1. НАЛАДКА УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОТОРОВ И ЦИЛИНДРОВ ТУРБИНЫ

Расстановка датчиков контроля перемещения ротора для турбин типа К-300-240 Ленинградского металлического завода имени XXII съезда КПСС (ЛМЗ) схематично показана на рис. 7-1.

Датчики относительных температурных расширений роторов и цилиндров (ОРР) турбины закрепляются на корпусе турбины около консолей, наиболее удаленных от упорного подшипника соответствующего цилиндра. Датчик осевого сдвига (ОС), контролирующий перемещение ротора в упорном подшипнике, закрепляется на корпусе турбины около упорного подшипника (рис. 7-2).

При перемещении каждого из роторов в направлении, указанном стрелками (рис. 7-1), приборы контроля ОРР должны показывать «удлинение ротора», прибор контроля ОС — «рабочие колодки».

Электрические схемы устройств контроля ОС для турбин ЛМЗ, Харьковского турбогенераторного завода (ХТГЗ), Уральского турбомоторного завода (УТЗ) приведены на рис. 7-3.

Технические данные обмоток датчиков приведены в табл. 7-1.

В объем наладки устройств контроля ОС и ОРР турбины входит: лабораторная поверка, проверка электрической монтажно-коммутационной схемы, контроль механической установки датчика, проверка шкалы показывающего прибора и настройка реле защиты, устранение неисправностей.

Для наладки устройств применяются следующие приборы: мост постоянного тока, индикатор перемещения, ампервольтметр, мегомметр, щуп.

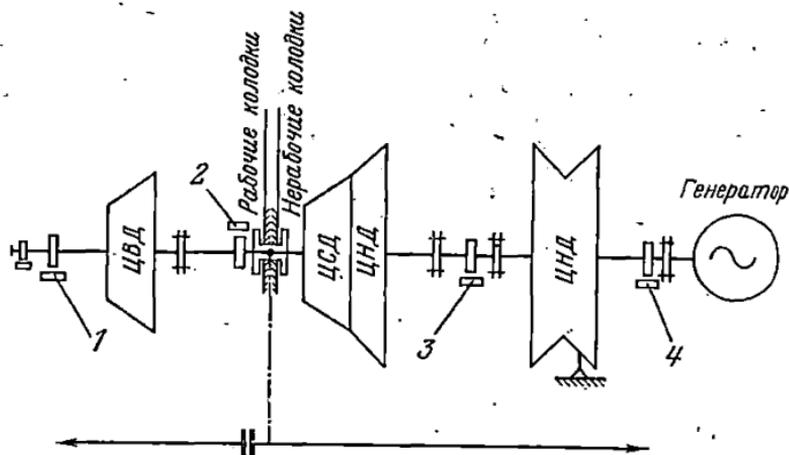


Рис. 7-1. Схема расположения датчиков ОС и ОРР на турбине типа К-300-240.

1 — ОРР ЦВД; 2 — ОС; 3 — ОРР ЦСД; 4 — ОРР ЦНД.

Лабораторная поверка устройств контроля ОС включает в себя измерение сопротивлений постоянному току и изоляции обмоток датчиков, проверку реле РОС-1 и РОС-2, проверку работоспособности стабилизатора и трансформаторов, проверку работоспособности комплекта в собранной схеме.

Таблица 7-1

Обозначение обмоток	Число витков, марка провода и диаметр (мм) обмоток датчиков осевого сдвига		
	Конструкции ЛМЗ	Конструкции ХТГЗ	Конструкции УТЗ
$w_1$	600; ПЭЛШО 0,5	400; ПЭВ 0,9	800; ПЭЛ 0,25
$w_2$	800; ПЭЛШО 0,25	1 000; ПЭВ 0,25	1300; ПЭЛ 0,12
$w_3$	500; ПЭЛШО 0,25	1 000; ПЭВ 0,25	1 300; ПЭЛ 0,12
$w_4$	500; ПЭЛШО 0,25	—	—
$w_6$	800; ПЭЛШО 0,25	—	—

Для устройств завода УТЗ производится полная ревизия вторичного прибора, при этом особенно тщательно проверяется работоспособность контактных групп.

Проверка электрической монтажно-коммутационной схемы производится в соответствии с § 1-5, при этом следует иметь в виду:

а) с целью удобства наладки и эксплуатационных плановых проверок целесообразно выделить питание устройств контроля ОС и ОРР из общей схемы питания. Мощность стабилизатора питания должна быть равной 1—1,2

мощности нагрузки;

б) напряжение питания первичной обмотки датчика ОС должно быть 24—30 В;

в) для исключения ложного срабатывания защиты при вводах резервного питания или резком изменении индуктивной нагрузки во внешней сети трансформатор питания датчика ОС должен подсоединяться к стабилизатору через нормально открытый контакт промежуточного реле или реле времени с выдержкой 0,5 с (рис. 7-4).

При контроле механической установки датчика особое внимание обращается на соответствие зазоров *a*, *в*, *с* (рис. 7-2) заводским формулярам. Допустимое отклонение зазора *о* составляет  $\pm 0,1$  мм, зазоров *a* и *в* составляет  $\pm 0,5$  мм. Необходимо учитывать, чтобы остаточные зазоры *a* и *в* при предельно допустимом смещении ротора были не менее 0,8 мм. Затем проверяются надежность крепления датчика

и отсутствие люфтов: болты 5 крепления датчика к коромыслу и болты 10 крепления коромысла к станине должны быть затянуты и законтрены шайбами 4 и 11, контрольные шпильки 6 и 2 — вставлены.

Для проверки шкалы соблюдаются следующие условия: электрическая схема собрана полностью, стабилизатор нагружен рабочей нагрузкой, роторы турбины соединены и прижаты к колодкам упорного подшипника в сторону, указанную заводом, зазоры *a*, *в*, *с*, (рис. 7-2) выставлены согласно заводским формулярам, турбина должна быть холодной и не иметь относительных перемещений роторов и цилиндров вследствие температурных воздействий.

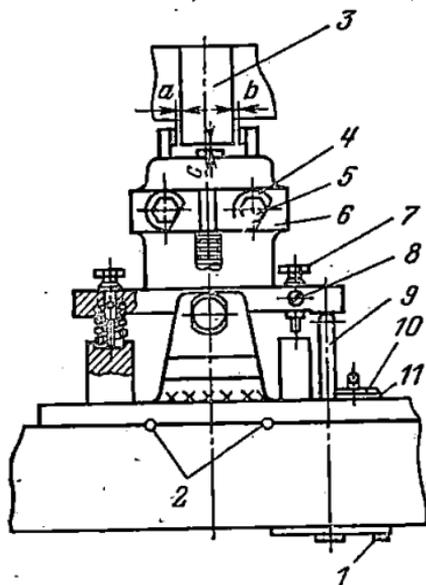


Рис. 7-2. Установка датчика на турбине.

1, 8 — винты стопорные; 2, 6 — контрольные шпильки; 3 — кольцевая выточка ротора; 4, 11 — шайбы; 5 — болт крепления датчика; 7 — винт; 9 — шток лимба; 10 — болт крепления коромысла.

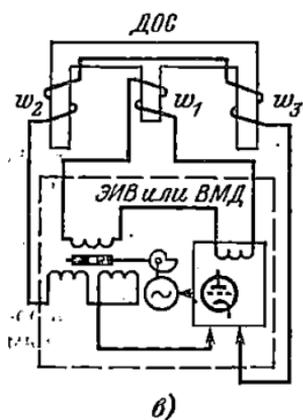
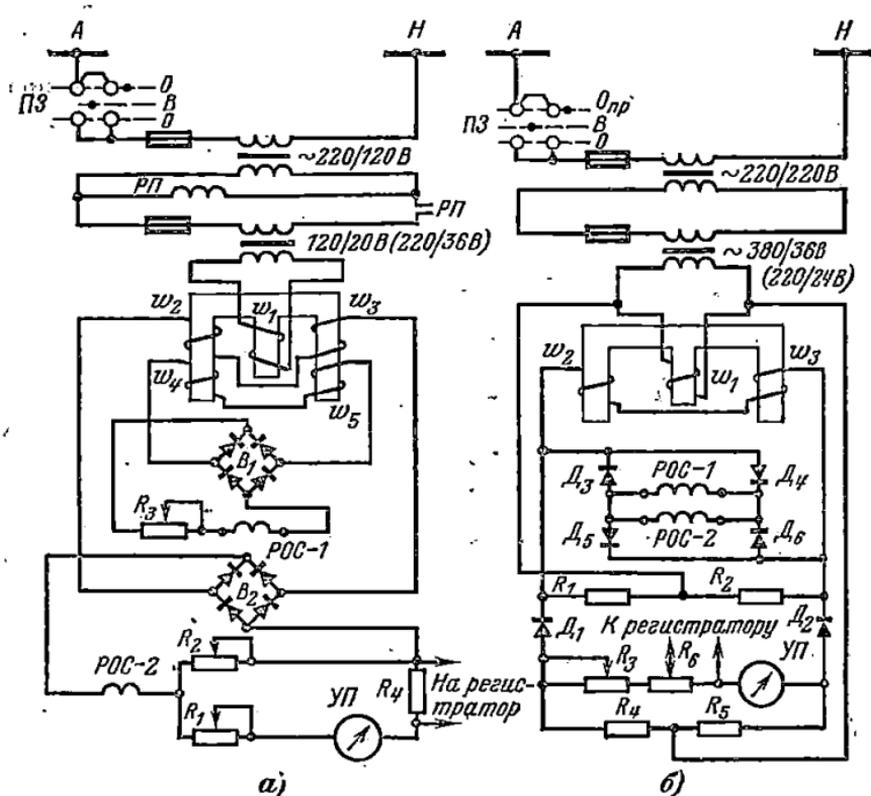


Рис. 7-3. Электрическая схема включения датчика ОС.

а — датчик конструкции ЛМЗ:  $w_1$  —  $w_3$  — обмотки датчика; РП — реле промежуточное;  $B_1$ ,  $B_2$  — мост выпрямительный;  $R_1$  —  $R_4$  — резисторы регулировочные; РОС-1, РОС-2 — реле осевого сдвига; УП — указатель положения; ПЗ — переключатель защиты; б — датчик конструкции ХТГЗ:  $w_1$  —  $w_3$  — обмотки датчика;  $D_1$ ,  $D_2$  — диоды;  $R_1$  —  $R_6$  — резисторы; РОС-1, РОС-2 — реле осевого сдвига; УП — указатель положения; ПЗ — переключатель защиты; в — датчик конструкции УТЗ: ДОС — датчик осевого сдвига;  $w_1$  —  $w_3$  — обмотки датчика; ЭИВ или ВМД — вторичные электронные приборы,

Проверка шкалы прибора и настройка реле производятся в следующей последовательности (применительно к устройству ОС):

1. Индикатор перемещения типа КИ с помощью специальных приспособлений прикрепляется к датчику (рис. 7-5, а) или к кольцевой выточке ротора (рис. 7-5, б).

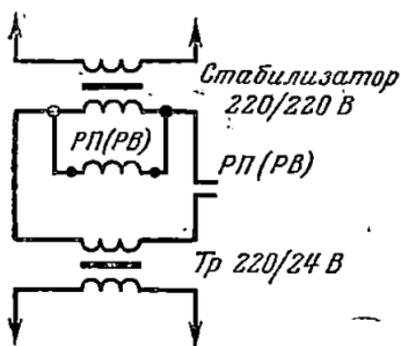


Рис. 7-4. Схема блокировки от ложного срабатывания реле защиты ОС.

РП (РВ) — реле блокировки;  
Тр — трансформатор.

4. Подается напряжение в схему. Показывающий прибор при этом должен установиться в «нулевом» положении; в противном случае перемещением датчика добиваются установки прибора на «нуль».

5. Сравнением показаний вторичного прибора и индикатора при перемещении датчика, имитирующего перемещение ротора

Для исключения погрешности измерения следят, чтобы продольная ось индикатора перемещения и средняя линия боковых кернов датчика находились в одной вертикальной плоскости.

2. Вторичный прибор располагается у панели реле при сохранении рабочей цепи подключения прибора, для чего провода подключения вторичного прибора закорачиваются, а прибор включается в рассечку цепи на панели.

3. В первичную обмотку датчика ОС (устройства завода ЛМЗ) включается резистор 4,7 Ом с целью имитации нагрева датчика в эксплуатационных условиях.

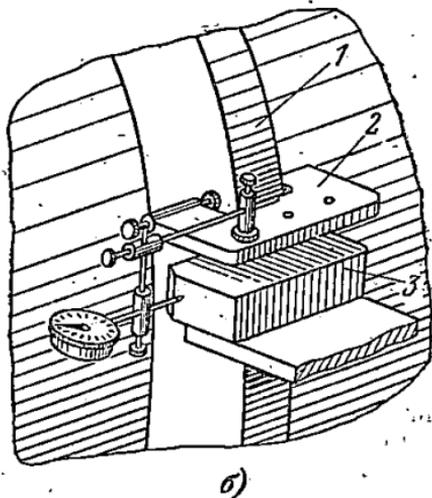
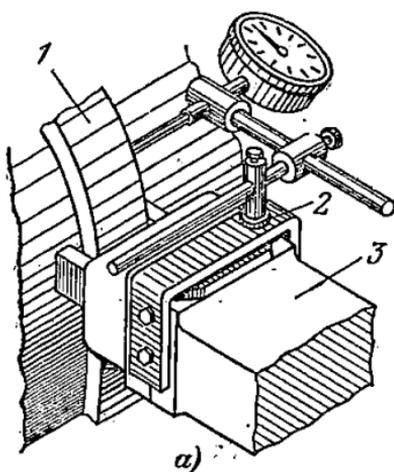


Рис. 7-5. Приспособление для установки индикатора перемещения.

а — на датчике ОС; б — на кольцевой выточке ротора; 1 — кольцевая выточка; 2 — приспособление; 3 — датчик ОС.

в противоположную сторону, проверяется шкала прибора. Наибольшее допустимое расхождение показаний прибора и индикатора не должно превышать  $\pm 0,1$  мм. При необходимости крутизну сигнала, получаемого от датчика, можно менять изменением зазора  $c$  (в пределах  $\pm 0,1$  мм) и сопротивлением резистора  $R_1$  (рис. 7-3, а) или  $R_3$  (рис. 7-3, б). В случае неэффективности регулировки необходимо вычертить новую шкалу прибора. Для окончательной проверки шкалы прибора предварительно настраивают реле РОС-1 и РОС-2 (рис. 7-3). Регулировку устройства завода УТЗ производят аналогично регулировке вторичных приборов дифференциально-трансформаторной системы (см. § 5-4).

6. Настраиваются реле РОС-1 и РОС-2. Уставка срабатывания выставляется поводом реле. Для обеспечения четкой работы реле поводок должен находиться на последних  $2/3$  шкалы, в противном случае необходимо регулировать сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$  для РОС-2 и  $R_3$  для РОС-1. В случае изменения сопротивления резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  производится окончательная проверка шкалы прибора.

7. Проверяется шкала регулятора. Размах шкалы прибора регулируется сопротивлением резистора  $R_4$  (рис. 7-3, а) и  $R_6$  (рис. 7-3, б).

8. Снимается карта напряжений в характерных точках схемы измерений.

Аналогичным образом производится настройка устройств, контролирующих ОРР.

Точность настройки прибора должна быть не ниже  $\pm 0,2$  мм.

При настройке устройств завода ЛМЗ необходимо исключить переход на нерабочую часть характеристики (точка Б, рис. 7-6) при перемещении ротора в сторону укорочения и связанное с этим «опрокидывание» сигнала. Для этого оставляется достаточный запас в левой части шкалы после отметки максимально допустимого укорочения ротора.

Характерные неисправности и способы их устранения при настройке устройств контроля ОС и ОРР завода ЛМЗ приведены в табл. 7-2.

После проверки шкалы приборов и настройки схемы измерений необходимо исключить из схемы дополнительный резистор 4,7 Ом; «защелкнуть» винтом 8 (рис. 7-2) винты 7, которые в устройстве контроля ОС являются ограничителями, а в некоторых датчиках контроля ОРР служат для установки и перемещения датчика; «шток» 9 выставить на «0»; завернуть стопор  $I$ .

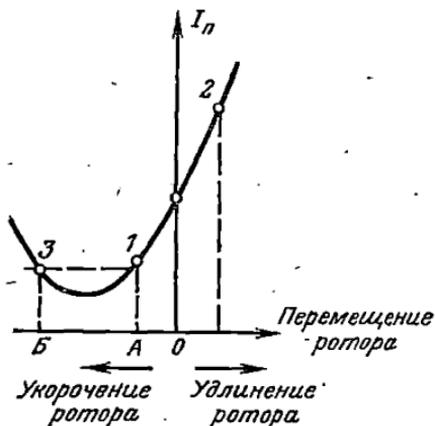
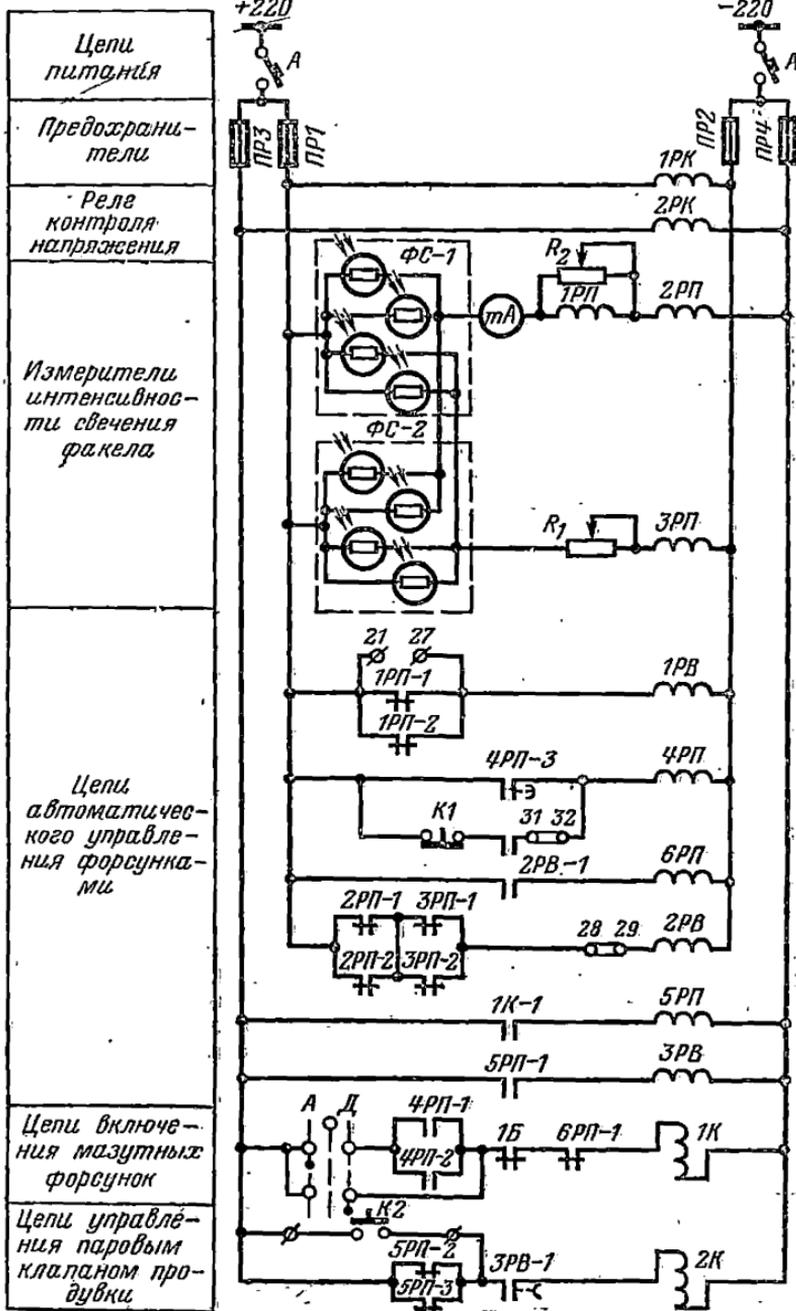


Рис. 7-6. Характеристика изменения тока в показывающем приборе ОРР в зависимости от перемещения ротора.

1—2 — рабочая часть; 1—3 — нерабочая часть;  $I_p$  — ток прибора.



Т а б л и ц а 7-2

Признаки неисправности	Характер неисправности	Способ устранения
Мощность стабилизатора на 40—50% больше нагрузки	Неправильно подобран тип стабилизатора	Установить стабилизатор соответствующей мощности или догрузить его балластным резистором
Показания второго прибора противоположны перемещению датчика	Нарушено соответствие пар обмоток $\omega_2 - \omega_3$ и $\omega_4 - \omega_5$ своим измерительным схемам реле	Поменять местами пары проводов от обмоток к измерительным схемам
Регистрирующий прибор зашкаливает а «нуль»	Неправильная полярность подключения прибора	Переменить полярность
Недостаточен ход регистратора при полностью введенном резистором	Неправильно выбран диапазон входного сигнала для регистратора	Заменить регистратор
Нечеткая работа реле РОС-2 (поводок реле находится за минимальной уставкой скалы реле при всех отсчетах сопротивлений $R_1$ и $R_2$ )	Мало выходное напряжение трансформатора	Повысить выходное напряжение трансформатора

Перед закрытием подшипников дополнительно проверяется: затяжка болтов 5 и 10 и наличие на них стопорящих шайб 4 и 11; наличие контрольных шпилек 6, 2; затяжка стопоров 1, 8.

Корректировка параметров электрической схемы и изменение положения датчика на прогретой турбине (прокачка масла через подшипники, работа циркуляционных и конденсатных насосов, подача пара на уплотнения и др.) не допускаются.

Результаты настройки устройств контроля ОС и ОРР оформляются в виде протоколов. Пример форм протоколов приведен в приложении 10.

рис. 7-7. Электрическая схема автомата типа АЗК-4М защиты котла от потускнения и погасания факела.

А — автомат питания схемы; ПР1—ПР4 — предохранители; 1РК, 2РК — реле контроля напряжения; ФС-1, ФС-2 — блоки фоторезисторов; 1РВ—3РВ — реле времени; 1К, 2К — контакторы включения мазутных форсунок и паровых клапанов.

### 7-2. НАЛАДКА ЗАЩИТ ПРИ ПОТУСКНЕНИИ И ПОГАСАНИИ ФАКЕЛА

Для котлов, работающих на газомазутном топливе, защиту при погасании факела выполняют при падении давления в магистральной, подводящей топливо.

Для котлов, работающих на пылеугольном топливе, защиту при погасании пылевого факела выполняют с помощью автоматов защиты котла АЗК-3 или АЗК-4. Защита служит для автоматического

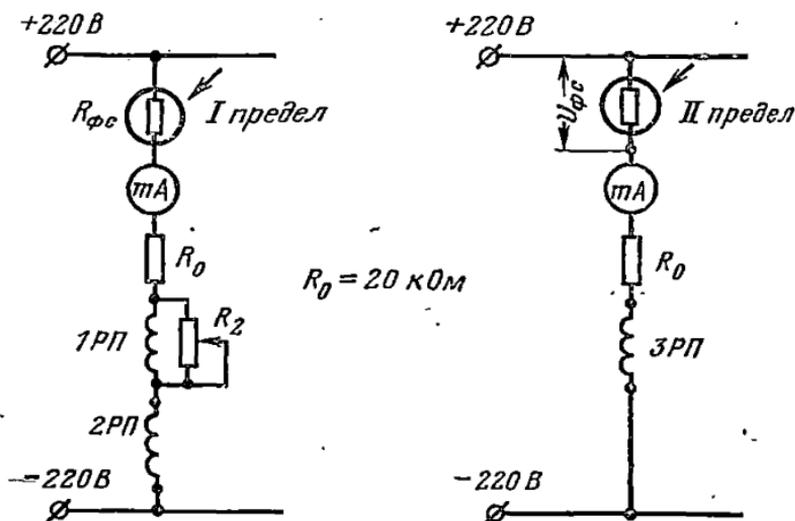


Рис. 7-8. Схема включения измерителей интенсивности свечения факела.

$R_{\text{фс}}$  — фоторезисторы; мА — миллиамперметр;  $R_0$  — балластный резистор; 1РП — 3РП — реле промежуточные.

подхвата факела при неустойчивом процессе горения, а также для автоматического отключения котла в случае невозможности восстановления факела.

Электрическая схема автоматов АЗК-4 приведена на рис. 7-7.

Защиту рекомендуется выполнять по двухпредельной схеме с использованием импульса по яркости факела на обоих пределах: потускнение и погасание факела. Предусматриваемый в схеме импульс по разрежению для первого предела защиты недостаточен, так как величина всплеска разрежения, помимо погасания факела, зависит от многих факторов.

Яркость свечения факела контролируется двумя блоками фоторезисторов типа ФС-К2. Максимальная мощность рассеяния каждого фоторезистора составляет 0,1 Вт, поэтому схема должна исключать возможность превышения указанной величины мощности. В противном случае фоторезисторы выходят из строя. Рекомендуемая схема включения фоторезисторов приведена на рис. 7-8. Ограничительный

резистор  $R_0$  в цепи фоторезисторов должен ограничивать мощность рассеяния комплекта из четырех фоторезисторов ФС-К2 до 0,4 Вт (ток в каждом фоторезисторе не более 0,8 мА). Параллельно включенные фоторезисторы ФС-К2 должны иметь одинаковые световые, вольтамперные и температурные характеристики. Фоторезисторы типа ФС-К2 не могут быть заменены на фоторезисторы типа ФС-К1, так как чувствительность последних значительно зависит от температуры окружающей среды.

Лабораторная поверка комплекта АЗК-4 включает в себя проверку изоляции, работоспособности, формовку и определение све-

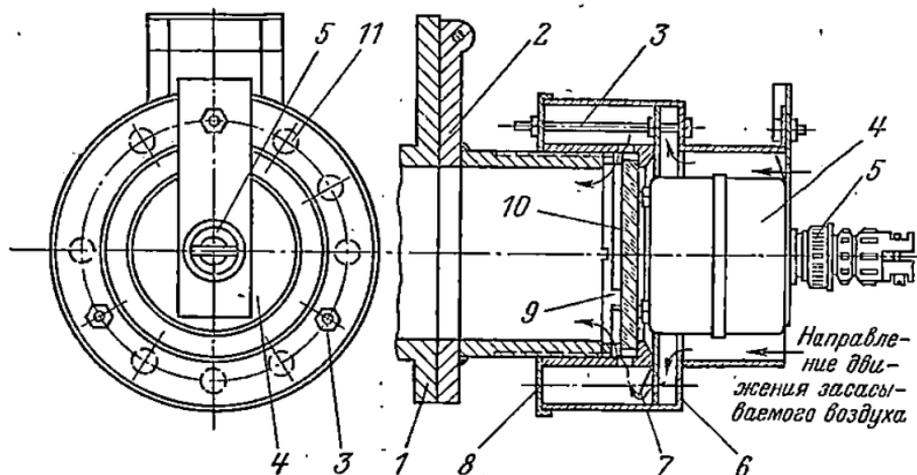


Рис. 7-9. Установка измерителей интенсивности свечения факела.

1 — люк; 2 — крышка; 3 — шпилька крепления; 4 — тубус; 5 — штекерный разъем; 6 — кожух; 7 — пластинчатый обратный клапан; 8 — прижимное кольцо; 9 — прижимная гайка; 10 — стекло; 11 — окно обратного клапана.

товых, вольтамперных и температурных характеристик, максимальной мощности рассеяния фоторезисторов, измерение сопротивлений обмоток постоянному току и определение токов срабатывания  $I_{ср}$  и возврата  $I_{в}$  реле 1РП, 2РП, 3РП.

Для формовки фоторезистора комплекта нужно включить их на напряжение 220 В и осветить таким источником света, чтобы ток в каждом фоторезисторе был не более 0,4 мА. Продолжительность формовки, обеспечивающей постоянство характеристик ФС-К2-300, равна 400 ч. По окончании формовки производится отбор фоторезисторов для двух комплектов с таким расчетом, чтобы в каждом из комплектов токи между фоторезисторами распределялись равномерно.

Максимальная мощность рассеяния  $P_{ф.макс}$  определяется по наиболее нагруженным по току фоторезисторам при такой их освещенности, регулируемой лампами накаливания, когда напряжение на фоторезисторах  $U_{ф}$  будет равно 110 В.

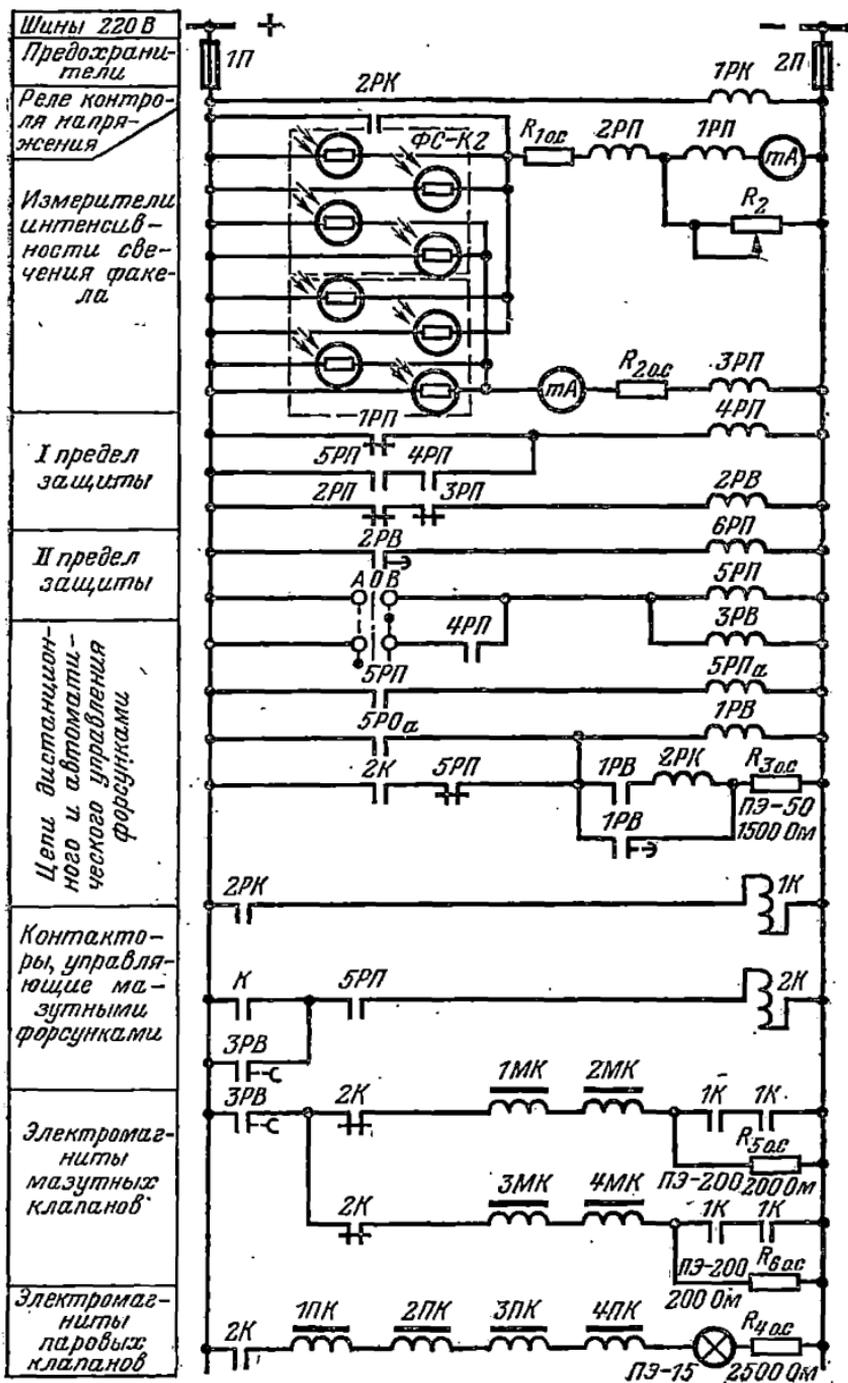
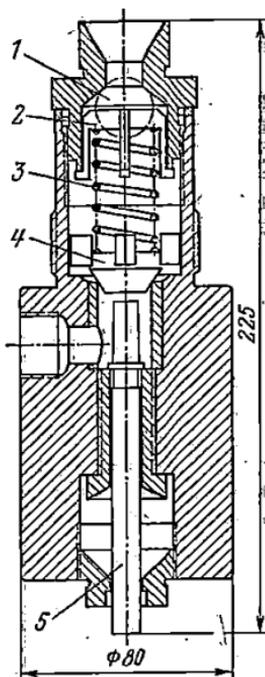


Рис. 7-11. Паровой клапан автомата АЗК-3 с обратным шариковым клапаном.

1 — обратный шариковый клапан; 2 — крестовина; 3 — возвратная пружина; 4 — иглообразный клапан; 5 — шток.



Если  $P_{ф.макс} = U_{ф}I_{ф}$  больше, чем допустимая мощность рассеяния, равная 0,1 Вт, то необходимо ввести в схему ограничительный резистор  $R_0$  (рис. 7-8). Ориентировочно  $R_0 = 15 \div 20$  кОм при сопротивлении обмоток реле 1РП и 2РП, равном 10 кОм.

При проверке монтажа особое внимание обращается на следующее: тубусы с фоторезисторами должны располагаться на расстоянии 0,5 м от смотрового лючка; должна предусматриваться возможность постоянной обдувки тубусов холодным воздухом.

Рекомендуемый способ установки измерителя на котле, топка которого работает под разрежением, показана на рис. 7-9.

В целях увеличения быстродействия защиты электромагнитные клапаны устанавливаются непосредственно у горелок, а мазутные и паровые линии прокладываются рядом и вместе изолируются.

Электрическое соединение комплекта с фоторезисторами должно выполняться экранированным кабелем. В цепи реле 3РП для контроля фототока необходимо установить миллиамперметр (рис. 7-8).

В случае применения автомата АЗК-3 целесообразно выполнить его реконструкцию:

а) заменить на гетинаксовую или пластмассовую гигроскопичную текстолитовую плату для крепления фоторезисторов;

б) установить переходные зажимы для подключения кабеля к фоторезисторам;

в) заменить на стекло малопрозрачные слюдяные пластинки на тубусах;

г) перевести питание электромагнитов на постоянный ток по двухступенчатой схеме, показанной на рис. 7-10;

д) на паровом клапане установить обратный клапан от попадания мазута в паровую магистраль (конструкция показана на рис. 7-11).

Рис. 7-10. Схема управления электромагнитами автомата АЗК-3 на постоянном токе.

1П, 2П — предохранители; ФС-К2 — блоки фоторезистора; mA — миллиамперметр; 1РП — 6РП — реле промежуточное; 1РВ, 2РВ — реле времени;  $R_{10.с}$  —  $R_{60.с}$ ;  $R_2$  — резисторы; 1К, 2К — контакторы управления мазутными форсунками и паровыми клапанами; 1МК — 4МК, 1ПК — 4ПК — электромагниты управления мазутными и паровыми клапанами.

Настройку защиты от погасания факела целесообразно производить в следующей последовательности:

а) измерители включаются в схему, после чего производится регистрация пульсации фототока в реле 1РП при различных режимах работы котла. Если при пульсации исключена возможность уменьшения тока до величины тока возврата реле 1РП, то реле времени 1РВ из схемы можно исключить. В противном случае 1РВ в схеме остается, а по периоду пульсации выбирается его выдержка времени — ориентировочно 2—3 с;

Т а б л и ц а 7-3

Признаки неисправности	Характер неисправности	Способ устранения
Автомат включает форсунки при нормальном топочном режиме	Мал или отсутствует ток в цепи измерителей из-за:  а) зашлаковки люков, на которых установлены измерители; б) загрязнения линзок измерителей; в) нарушения контакта или обрыва цепи измерителей	Прочистить люки  Протереть линзки  Проверить надежность контактов фоторезисторов и внешних связей
Автомат не включает форсунки при потухании и погасании факела	1. Отсутствует питание  2. Ток в цепи измерителей велик вследствие короткого замыкания фоторезисторов	Проверить наличие напряжения на шинах питания, сменить предохранители Заменить неисправные фоторезисторы

б) отключением части горелок имитируется неустойчивый режим горения. Регулируя сопротивление  $R_2$ , добиваются отпадания реле 1РП. Ток возврата реле 1РП  $I_{в.р.п.}$  должен быть 2,7—3 мА. При восстановлении освещения факела реле 1РП должно надежно срабатывать. В противном случае необходимо предусмотреть в схеме возможность кратковременного шунтирования фоторезисторов дистанционно или автоматически. Пример автоматического возврата реле 1РП показан на рис. 7-10;

в) определяется надежность возврата реле 2РП и 3РП при погасании факела. Соотношение токов возврата реле  $I_{в2РП} = I_{в3РП} = (0,8-1,3)$  мА и «темного» тока фотокомплекта  $I_{т.ф}$  должно быть следующим:

$$\frac{I_{в2РП}}{I_{т.ф}} = \frac{I_{в3РП}}{I_{т.ф}} \geq 2;$$

г) экспериментально определяется время  $t_{в}$ , необходимое для восстановления нормальной яркости факела с момента подачи импульса на включение форсунок. Выдержка времени срабатывания второго предела защиты должна быть более  $t_{в}$  на 3 с;

д) определяется время, необходимое для полной продувки мазутной форсунки после отключения мазутного клапана. Выдержка временем реле ЗРВ должна быть на 4 с более времени продувки;

е) на работающем котле проверяется плотность электромагнитных мазутных клапанов и обратная плотность паровых клапанов. Воздушный зазор электромагнита выбирается из условия четкого закрытия клапана и отсутствия вибрации, когда клапан открыт.

Характерные неисправности автомата АЗК приведены в табл. 7-3

# НАЛАДКА СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ И УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН

## РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ

### НАЛАДКА СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН

#### 8-1. ОБЪЕМ РАБОТ ПО НАЛАДКЕ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Под наладкой системы возбуждения подразумевают проверку, настройку и испытание аппаратов и машин, обеспечивающих надежное питание постоянным током и контроль его в цепи ротора синхронной машины.

В современных системах возбуждения применяются в основном три типа устройств:

- 1) с генератором постоянного тока (машинные);
- 2) с индукторным генератором повышенной частоты и с неуправляемым выпрямителем (высокочастотные);
- 3) с ионным управляемым выпрямителем (ионные).

Независимо от типа возбудителя система возбуждения должна обеспечивать:

1) плавную регулировку тока ротора от  $(0,7-0,8) I_{р.х.х}$  до  $(1,1-1,2) I_N$  — для синхронных генераторов и  $(0-1,2) I_{рн}$  — для синхронных компенсаторов;

2) форсировку возбуждения до заданной величины кратности по току и напряжению ротора;

3) быстрое гашение поля генератора в аварийных случаях;

4) ограничение напряжения на роторе в пределах допустимого (не выше  $0,7 U$  заводского испытательного во всех переходных режимах: самосинхронизация, гашение поля и т. д.);

5) быстрый и безопасный перевод возбуждения с основного на резервный возбудитель без перерыва в питании ротора (для турбогенераторов).

В объем наладки системы возбуждения входит:

1. Проверка соответствия установленной аппаратуры проектным данным.
2. Проверка соответствия паспортных данных аппаратуры и токопроводов реальным токам и напряжениям в схеме.
3. Ревизия и проверка характеристик реостатов (сопротивление изоляции, сопротивление постоянному току, схемы соединения и т. д.).

При проверке гасительных сопротивлений на них устанавливается отпайка, соответствующая оптимальному условию гашения, что имеет место, если гасительное сопротивление ротора в 4—5 раз превышает сопротивление ротора в горячем состоянии, а гасительное сопротивление обмотки возбуждения возбудителя в 8—10 раз превышает сопротивление обмотки. Пусковое сопротивление синхронного двигателя должно в 6—10 раз превышать сопротивление ротора, а сопротивление самосинхронизации генератора должно в 3—4 раза превышать сопротивление ротора генератора.

Допускается отклонение измеренной величины сопротивления не более  $\pm 10\%$  ранее измеренного или заводского. Сопротивления реостатов в цепях возбуждения должны измеряться на каждой ламели.

Реостаты в цепи возбуждения испытывают напряжением промышленной частоты  $0,75 (2U_n + 1000)$ , где  $U_n$  — номинальное напряжение возбудителя, но не менее 1 000 В в течение 1 мин.

Сопротивления, соединенные с цепями ротора генератора или СК, должны испытываться напряжением промышленной частоты 2 000 В в течение 1 мин.

Проверка автоматов, контакторов и рубильников производится в соответствии с действующими инструкциями. Методика их проверки приводится в [Л. 1].

Наладка автоматов гашения поля. Автомат гашения поля (АГП) синхронной машины предназначен для быстрого уменьшения тока до минимального, при этом напряжение на роторе не должно превышать допустимого  $0,7 U$  заводского испытательного. В современных системах возбуждения применяются два основных типа АГП:

а) с разрядом ротора на постоянное активное сопротивление (применяются для генераторов до 30 МВт и синхронных двигателей);

б) с разрядом ротора на переменное активное сопротивление (в современных АГП роль переменного сопротивления выполняет дугогасительная решетка).

Гашение поля синхронных двигателей обычно осуществляется гашением поля возбудителя или вводом пускового сопротивления в цепь ротора, для чего используются обычные контакторы, устанавливаемые на станции управления и защиты двигателя совместно с остальной аппаратурой.

Автомат гашения поля по схеме ХЭМЗ. Гашение поля осуществляется блоком управления, который при гашении поля переключает ротор генератора на разрядное сопротивление без разрыва цепи ротора. Блок имеет два замыкающих и один размыкающий главных контактов, очередность работы которых строго определена.

Наладка производится в следующей последовательности.

Проверяют соответствие типа автомата параметрам цепей возбуждения генератора. Электрические данные автоматов приведены в табл. 8-1.

Далее производят осмотр контактной системы, проверяют схему цепи управления. Обращается внимание на наличие амортизационных (резиновых) прокладок. Аппараты и доску тщательно протирают чистой сухой ветошью и продувают сжатым воздухом.

Таблица 8-1

Тип блока управления	Предельный ток возбуждения генератора, А	Напряжение цели управления, В	Тип блока управления	Предельный ток возбуждения генератора, А	Напряжение цели управления, В
БНЛ 7901-32А0	150	24	БНЛ 7901-42А2	300	220
БНЛ 7901-32А1	150	110	БНЛ 7901-52А0	600	24
БНЛ 7901-32А2	150	220	БНЛ 7901-52А1	600	110
БНЛ 7901-42А0	300	24	БНЛ 7901-52А2	600	220
БНЛ 7901-42А1	300	110			

Примечание. Предельное напряжение возбуждения генератора 220 В.

Видимые нарушения в аппаратах (изгибы, смещения, изломы и т. п.) устраняют, разрушенные части заменяют. Проверяют все болтовые соединения.

При необходимости регулируют зазоры и провалы главных контактов (при снятых камерах дугогашения) и блок-контактов аппаратов. Предельные значения зазоров и провалов контактов приведены в табл. 8-2 и показаны на рис. 8-1.

Таблица 8-2

Тип блока управления	Допустимые зазоры и провалы контактов, мм*					
	Главные контакты				Блок-контакты	
	закрывающие		размыкающие		C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> (не менее)	D
	B (не менее)	A	B (не менее)	A		
БНЛ 7901-32А	16	3 ± 0,5	} 10	2,5—3,5	8	4—1
БНЛ 7901-42А	17	5 ± 0,5				
БНЛ 7901-52А	20	6 ± 0,5				

\* Размеры А, В, С показаны на рис. 8-1.

Проверяют очередность работы контактов: при включении возбуждения сначала должны замыкаться замыкающие контакты, затем размыкаться размыкающие контакты. При отключении сначала замыкаются размыкающие контакты, а затем замыкаются замыкающие контакты.

Проверяют перекрытие между главными контактами контактора, т. е. величину провала главного замыкающего контакта, соответствующую началу замыкания обоих замыкающих контактов. Величина перекрытия устанавливается на заводе равной полному провалу замыкающего контакта. Изменение перекрытия может произойти вследствие ослабления крепления к валу подвижных частей главных контактов и упорной скобы. При устранении ослабления названных креплений необходимо добиваться как требуемой величины перекрытия, так и одновременности касания замыкающих контактов соответствующей затяжкой крепящих гаек.

Измеряется сопротивление изоляции между токоведущими частями и корпусом аппаратов. Измерение производят мегомметром на напряжение не ниже 500 В. Сопротивление изоляции должно быть не ниже 2 МОм. При более низком сопротивлении следует найти слабое место изоляции и сделать необходимые исправления или замену.

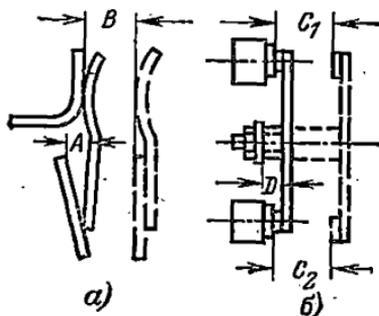


Рис. 8-1. Зазоры и провалы контактов.

а — главный контакт (В — зазор, А — провал); б — блок-контакт ( $C_1 + C_2$  — общий зазор; D — провал).

Проверяется работа блока управления на включение и отключение вхолостую (при невключенных главных контактах). Включения и отключения должны происходить четко и безотказно, без задержек в промежуточных положениях. При недостаточно надежной работе проверяют и устраняют заедания и перекосы в механизме и контактах защелки.

Определяется минимальное напряжение срабатывания при включениях и отключениях, про-

веряется работа защелки и блокировки от повторных включений при работе защиты.

Главные замыкающие контакты, а в блоках на 150 А и замыкающий контакт имеют магнитное дутье с помощью постоянных магнитов. Таким образом, автомат является полярным, и поэтому определяется полярность цепей возбуждения, подключенных к контактам. Направление дутья при этом можно определить, пропуская постоянный ток по гибкому проводнику, помещенному в камеру.

Изоляция главных контактов испытывается в течение 1 мин повышенным напряжением промышленной частоты 2 000 В, а схем вторичных соединений 1 000 В.

После проверок включают главные контакты в цепь возбуждения генератора, соблюдая полярность, указавшую на обратной стороне блока против каждого выводного зажима; производят пробные включения и отключения блока управления с током в цепь возбуждения; осматривают состояние главных контактов и определяют по имеющимся следам направление выдувания дуги в главных контактах (выдувание дуги должно происходить в пространство

камеры дугогашения; при обратном направлении выдувания надо изменить полярность выводных зажимов контакта).

Автоматы гашения поля с дугогасящей решеткой. Активным элементом, гасящим дугу постоянного тока, в автомате является дугогасящая решетка, представляющая собой набор из  $n$  медных пластин толщиной 2 мм с прокладками из фибры 1,5 мм. Благодаря свойству короткой дуги сохранять в большом диапазоне постоянное

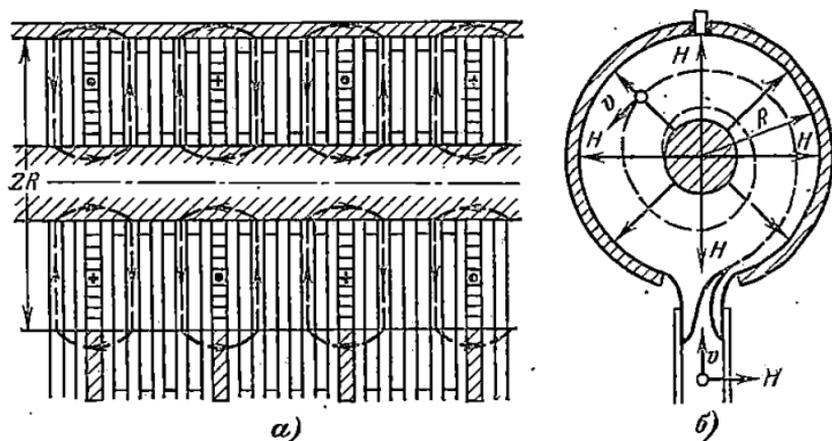


Рис. 8-2. Схема распределения магнитного потока и движения дуги в автомате гашения поля типа АГП-1.

*a* — в камере поперечного дутья; *б* — в дугогасительной решетке.

падение напряжения (равное 25—30 В), на решетке будет напряжение, равное  $(25 \div 30) n$  практически постоянной величины, за счет чего достигаются оптимальные условия гашения поля машины.

При малых токах напряжение на дуге резко повышается, и для того, чтобы не нарушать изоляцию ротора, пластины шунтируются по секциям сопротивлениями, подобранными так, чтобы напряжение на решетке не превосходило заданной величины.

Пластины укладывают на стержень из магнитопроводящего материала, и между пластинками закладывают катушки таким образом, чтобы проходящий по ним ток дуги образовал в пространстве между пластинами поперечное поле, заставляющее совместно с аэродинамическими силами дугу двигаться по спирали от края пластины к центру, максимально используя площадь пластины и не позволяя дуге остановиться, что вызвало бы оплавление пластины. Направление тока не играет роли, но направление выреза пластин должно быть согласовано с направлением движения дуги, чтобы дуга не задерживалась на входе (рис 8-2).

Автоматы с дугогасящей решеткой быстродействующие, и возможен режим, когда после отключения генератора защитой ротор

к моменту отключения статора окажется разомкнут. Для защиты от пробоя ротора в таких режимах используют разрядник в цепи возбуждения, замыкающий ротор на сопротивление самосинхронизации при пробое.

В случае отсутствия разрядника следует выполнять замедление отключения АГП, согласуя его со временем отключения выключателя.

В автомате имеются главные и искрогасительные контакты; последние при отключении размыкаются позже главных, а при включении — замыкаются раньше, чем достигается сохранность основных контактов.

По способу магнитного дутья автоматы делятся на полярные типа АГП-1, где магнитное поле образуется постоянными магнитами, и неполярные типа АГП-30, где магнитное поле образуется с помощью тока ротора, проходящего по катушкам магнитного дутья.

Не рекомендуется отключать автоматом токи меньше 10—15% номинального тока автомата из-за обгорания контактов, так как дуга не успевает втягиваться в этом случае в решетку. В АГП-1 помимо этого создаются условия для остановки дуги в местах, где поле постоянного магнита направлено встречно с полем катушек радиального дутья в решетке, что приводит к постоянному выгоранию пластин и фибры в этом месте.

Автомат гашения поля типа АГП-1. Наладка производится в следующей последовательности.

Проверяется соответствие АГП по числу пластин данной системе возбуждения и допустимому максимальному напряжению на роторе.

Технические данные АГП-1:

Номинальный ток — до 2 000 А (продолжительный режим).

Номинальное напряжение — до 400 В

Род тока — постоянный.

Допускается кратковременная до 50 с форсировка тока до 4 000 А напряжением до 1 600 В.

Дугогасительная система автомата рассчитана на отключение токов от 200 до 4 000 А при индуктивной нагрузке до 0,8 Гн и напряжении на возбудителе до 1 600 В.

Автомат может произвести пятикратное отключение номинального тока 2 000 А, при этом температура пластин не превысит 300 °С.

Технические данные привода ПС-10:М

Напряжение включения, В . . . . .	110	220
Ток включения, А . . . . .	80	40
Ток отключения, А . . . . .	7,2	3,6

Для проверки работы контактной системы и правильности сборки дугогасительной решетки производят частичную разборку автомата. Для этого:

а) отсоединяют шунтирующие сопротивления от решетки;

б) вывертывают шпильки на камере поперечного дутья, которые держивают вкладыши, прикрывающие болты крепления рогов к дугогасительной решетке;

в) отворачивают болты, крепящие рога к дугогасительной решетке (верхний и нижний);

г) отвертывают болты, крепящие рога к главным контактам;

д) отвертывают болты, крепящие верхний швеллер и освобождают верхний конец дугогасительной решетки от крепления;

е) отвертывают болты, крепящие нижний подвижный подпятник дугогасительной решетки и выдвигают решетку из щели камеры поперечного дутья;

ж) отвертывают верхнюю стягивающую гайку и снимают одну из двух половин внешнего стального кожуха и виниловую прокладку. Полного разбора дугогасительной решетки при новом включении можно не производить.

После разборки проверяют промежутки решетки пробником на отсутствие замыканий; проверяют общее число промежутков и число промежутков, зашунтированных сопротивлениями; проверяют правильность установки катушек радиального дутья. (Их поля должны быть направлены встречно друг другу, а направление в пластинках секции промежутков между катушками должно совпадать с направлением вращательного движения дуги в камере.) При сборке решетки необходимо учесть следующее:

а) Начинают сборку с нижней катушки.

б) Катушки устанавливают таким образом, чтобы пластина, соединенная с наружным витком катушки, была внизу.

в) Рабочие пластины каждой секции решетки должны быть положены так, чтобы направление выреза в них соответствовало направлению намотки катушки от наружного витка к внутреннему.

г) Направление намотки соседних катушек должно быть противоположным.

д) При сборке пластины с выводами необходимо установить через такое же число промежутков, как и до разборки.

е) При изменении числа пластин решетки ее высота должна оставаться неизменной, что регулируется количеством изоляционных шайб.

Если автоматы хранились в очень влажных помещениях, иногда необходимо проводить сушку (формовку) прокладок, если они выполнены из фибры. В этом случае формовку можно производить одним из двух способов:

1. Рекомендуют заводом метод заключается в отключении цепи ротора при значениях тока 500, 1 000, 1 500, 1 800 А в указанной последовательности по 2—3 раза при каждом значении тока (если указанный ток может быть получен и не превышает двойного значения номинального тока генератора). После этого необходимо проверить промежутки решетки пробником (омметром) на отсутствие спекшихся пластин (допускается не более 10%).

2. Способ формовки, применяемый в Мосэнерго, заключается в сушке прокладок газовой горелкой. При этом решетку необходимо разобрать, изготовить оправку из шин 100 × 10 так, чтобы она закрывала  $\frac{2}{3}$  наружной фибровой прокладки, оставляя  $\frac{1}{3}$  внут-

репней части открытой. Сушат осторожно, чтобы не допустить отклеивания прокладок или их сторания (прокладка только слегка обугливается). Отклеенные прокладки можно приклеивать клеем БФ-2 с обязательной запечкой. Далее проверяется очередности работы главных и дугогасительных контактов. Для этого необходимо или снять камеру поперечного дутья, или отвести назад каретку с контактной системой. Штурвалом ручного управления АГП производится медленное включение и отключение контактов. При замыкании первыми должны замыкаться дугогасящие контакты, а при размыкании первыми должны размыкаться главные контакты. Это можно проверить пробником, прокладывая бумажку между дугогасительными контактами.

Указательный штифт при включенном положении автомата должен выступать над латунной скобкой не менее чем на 6 мм.

Раствор дугогасительных контактов в положении «отключено» должен быть более 40 мм.

Величина свободного хода дугогасительного контакта в районе контактной напайки при разомкнутом автомате должна быть не более 4 мм.

Сопротивление контактов не должно превышать 20 мкОм. После установки камеры поперечного дутья необходимо проверить направление магнитного поля в зазоре камеры. Для этого в зазор вводится тонкая проволока и по ней от батарейки карманного фонарика пропускается ток в том же направлении, как и направление тока возбуждителя («плюс» снизу). При этом проводник выталкивается в сторону дугогасительной решетки.

Завод устанавливает магнитную систему так, что северный полюс постоянных магнитов оказывается слева, а южный — справа, если смотреть на автомат со стороны маховика. На боковых поверхностях камеры поперечного дутья стоят соответственно надписи *N* и *S*. При этом «плюс» цепи возбуждения должен подводиться снизу камеры.

После сбора автомата в порядке, обратном разборке, измеряют сопротивления постоянному току шунтирующих сопротивлений электромагнитов включения и отключения, отключающего расцепителя, контактора включения АГП и контактора возбуждения возбуждителя (если он установлен на каркасе АГП); подсоединяют шунтирующие сопротивления к решетке в соответствии с рис. 8-3; измеряется минимальное напряжение срабатывания всех элементов, время включения и отключения АГП (должно быть 0,06—0,08 с) и сопротивление изоляции цепей вторичной коммутации и контактной системы (сопротивление изоляции должно быть не менее 10 МОм). Производится испытание повышенным напряжением 2 000 В переменного тока 50 Гц в течение 1 м промежутка между неподвижными контактами в разомкнутом состоянии и изоляции между токопроводом и корпусом при замкнутых контактах.

Производится опробование работы АГП. При этом АГП необходимо отключить как от электромагнита отключения привода при снятом проводнике с расцепителя, так и от расцепителя при снятом проводнике с электромагнита отключения провода.

Перед первым включением турбогенератора в сеть во время испытаний генератора проверяют гашение поля на холостом ходу

при коротком замыкании. При этом производится осциллографирование тока ротора, напряжения или тока статора и напряжения на решетке. Без этой проверки включать генератор в сеть не рекомендуется.

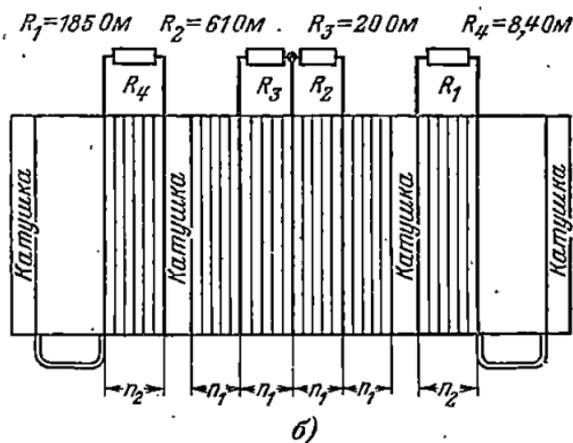
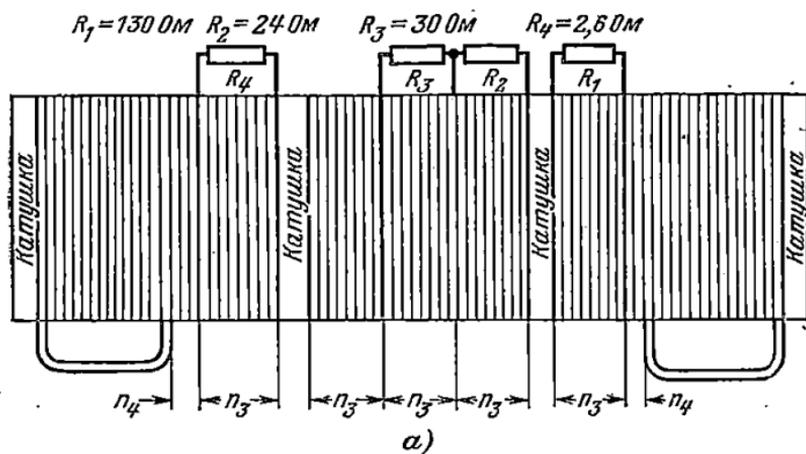


Рис. 8-3. Схема подсоединения шунтирующих сопротивлений к решетке автомата АГП-1.

а — схема при 46 промежутках; б — схема при 32 промежутках;  
 $n_1$  — 5 промежутков;  $n_2$  — 6 промежутков;  $n_3$  — 8 промежутков;  
 $n_4$  — 3 промежутка.

Как правило, производить полную разборку автоматов не следует. В случае необходимости разборки или регулировки автомата следует пользоваться заводским описанием и инструкцией по монтажу и обслуживанию.

Автомат гашения поля типа АГП-30. Наладочные работы производят в следующей последовательности,

Проверяют соответствие паспортных данных автомата параметрам цепи возбуждения и управления.

Условное обозначение типа автомата — АГП-30-42, где АГП — автомат гашения поля, 30 — номинальный ток (в сотнях ампер), 4 — количество промежутков (десятки), 2 — напряжение цепи управления (в сотнях вольт).

Автоматы выпускаются на 30, 40 и 50 промежутков.  
Технические данные автоматов:

Тип автомата . . . . .	АГП-30-3	АГП-30-4
Номинальное напряжение, В . . . . .	500	500
Номинальный ток, А . . . . .	3 000	3 000
Напряжение в режиме форсировки, В . . . . .	750	1 000
Ток в режиме форсировки, А . . . . .	6 000	6 000
Время включения не более, с . . . . .	0,2	
Время отключения не более (без учета горения дуги), с . . . . .	0,1	
Сопротивление контактов не более, мкОм . . . . .	12	

Автомат обеспечивает пять отключений с интервалами 5 с цепи обмотки ротора в режиме холостого хода генератора или два отключения при токе  $2I_n$ . Максимальная энергия, поглощаемая решеткой, равна  $(2,1 \div 2,8) \cdot 10^6$  Вт·с. Блок-контакты автомата рассчитаны на длительное прохождение тока до 10 А, включение тока до 35 А и отключение переменного тока 7 А (380 В) или постоянного 2 А (110 В) или 1 А (220 В). Автомат рассчитан на 10 000 операций, из них 2 000 отключений номинального тока.

Автомат должен устанавливаться в вертикальном положении и обеспечивать доступ к задней стороне основания для удобства регулировки в случае необходимости. Без прямой необходимости разбирать автомат и дугогасительную решетку не рекомендуется. Достаточно отвернуть гайки, крепящие наружный магнитопровод, снять крышку разрывной камеры и виниловую накладку (можно ослабить рым-болты решетки) для осмотра разрывных контактов катушек магнитного дутья и наружной части решетки. Для осмотра главных контактов достаточно отвернуть два фасонных винта сбоку; на подвижной скобе и откинуть всю подвижную систему главных и разрывных контактов вместе с траверсой. Подвижная система должна ходить свободно, без затираний, до замыкания разрывных контактов.

Для полного включения автомата вручную можно вставить металлическую планку в верхний вырез скобы и, опирая ее на неподвижную часть магнитопровода электромагнита включения, резко включить автомат (при медленном включении выступ защелки не удерживается под опорной поверхностью траверсы).

В камере разрывных контактов не должно быть оплавления копоти и нагара на контактных пластинках, стенках и катушках.

В случае разборки решетки следует правильно укладывать катушки радиального поля. После установки решетки на автомат

следует проверить, чтобы зазор между торцами пластин решетки и выступом основания разрывной камеры не превышал 1 мм.

Четкая и правильная работа автомата обеспечивается при соблюдении зазоров и провалов (характеризующих нажатие) главных, разрывных и блокировочных контактов (рис. 8-4). Провал главных контактов должен быть 2—2,5 мм. При этом падение напряжения на контактах в номинальном режиме не превышает 35 мв ( $R \leq 12$  мкОм).

При провале контактов меньше 1,5 мм или загрязнениях поверхности главных контактов сопротивление увеличивается. Для кон-

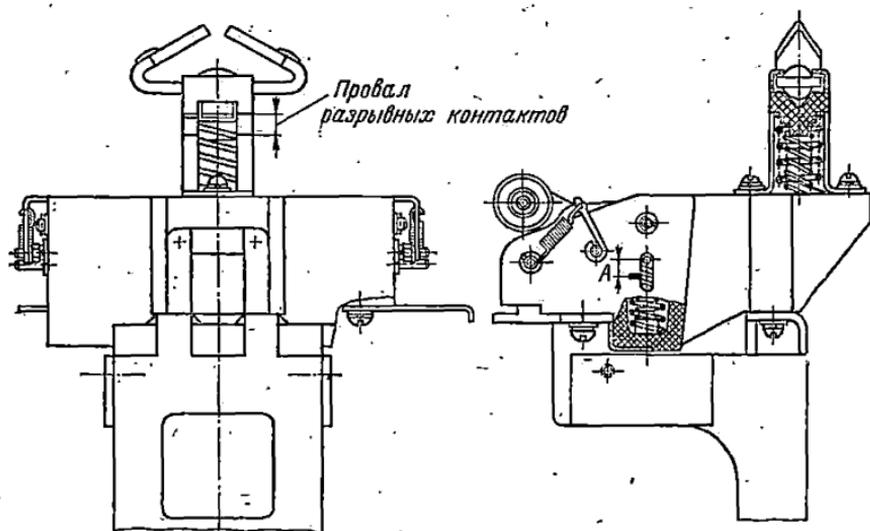


Рис. 8-4. Контролируемые размеры контактной системы автомата АГП-30.

А — размер, контролирующий провал главных контактов.

троля провала главных контактов имеются специальные указатели на боковой стенке в прорези траверсы подъемных контактов. Размер А, определяемый разницей положения указателей при включенном и отключенном состоянии автомата, должен быть равен 5—6 мм, что соответствует провалу контактов 2—3 мм.

В случае необходимости производится регулировка провала контактов в следующей последовательности:

1. Снимают паружный магнитопровод автомата, крышку камеры разрывных контактов и винипластовую накладку; вынимают сердечники катушек и отворачивают два болта, крепящие рога к выводам катушек решетки.

2. Ослабляются четыре болта с задней стороны автомата, крепящие неподвижное основание главных контактов к основанию автомата.

3. Расконтривают вертикальные регулировочные болты, видные сзади в прорези основания автомата, и, поворачивая их, добиваются, чтобы размер  $A$  стал 5—6 мм с каждой стороны.

4. Затягивают четыре болта, крепящие основание, еще раз контролируют размер  $A$  и регулировочные болты затягивают.

5. Проверяют положение скобы разрывных контактов (она должна быть по центру окна) и провал (вжим) разрывных контактов по расстоянию между рисками на скобе (оно должно быть не более 8,0 мм).

Провал регулируется передвижением основания камеры (ослабляют винты, находящиеся рядом с катушками магнитного дутья).

Одновременно контролируется, чтобы раствор разрывных контактов был не менее 10 мм.

При растворе разрывных контактов менее 10 мм, так же как и при затирании подвижной системы, будут обгорать разрывные контакты. При провале разрывных контактов более 9 мм автомат будет недовключаться и отпадать при снятии импульса на включение. Контакты ключа управления при этом будут обгорать.

6. Опускают дугогасительную решетку на основание разрывной камеры, при этом соблюдают зазор между пластинами решетки и выступом основания 1—2 мм. Пробником проверяют решетку на отсутствие замыканий между пластинами. Если четыре-пять пластин замкнуто, разбирают решетку и устраняют замыкание. Проверяют, чтобы катушки были поставлены правильно (две соседние намотаны одинаково), а потоки двух катушек вместе с каждой стороны камеры направлены встречно друг другу (рис. 8-2).

7. Собирают автомат в последовательности обратной разборке. Производят регулировку блок-контактов.

Собственные блок-контакты (под отключающим электромагнитом) переключают цепи электромагнитов автомата и могут служить причиной плохой работы (многократное включение или вообще непереключение цепей). Перекидные мостики блок-контактов должны переходить через мертвое положение и отключаться при зазоре 1,5—2 мм между упором рычага, стрелки и основанием. Тяга должна передвигаться без затираний.

Регулировка осуществляется отгибанием хвостовика рычага. Если автомат при собранной цепи включения включается, сразу же отпадает и снова включается, размыкание блок-контактов происходит слишком рано, — надо хвостовик рычага защелки отогнуть назад. Если это сделать чрезмерно, то при включении автомата блок-контакты не будут перебрасываться и на контактах ключа при возврате будет возникать затяжная дуга.

Блок-контакты цепей сигнализации должны быть установлены так, чтобы свободный ход блоков-контактов был 1,5—3 мм. Растворы блок-контактов должны быть 4—5 мм.

После регулировки блок-контактов проверяют затяжку всех винтов и гаек, а также производят измерение сопротивления изоляции между разомкнутыми токоведущими частями, основанием и цепей вторичной коммутации. Если изоляция менее 20 МОм, продувают автомат горячим воздухом. Измеряют сопротивление постоянному току электромагнитов и сопротивлений дугогасительной решетки (табл. 8-3).

Схема электрических соединений и параметры пультующих сопротивлений

Тип автомата	Схема соединений и маркировка выводов	Тип цилиндра	Число витков	Сопротивление, Ом	Диаметр провода, мм	Масса провода, кг
АГП-30-31 АГП-30-32		ЦФ 146/134 ЦФ 146/82 ЦФ 146/134 ЦФ 146/82	112 80 108 80	50 8,4 29 15	0,4 0,8 0,5 0,6	0,017 0,042 0,027 0,024
АГП-30-41; АГП-30-42		ЦФ 146/134 ЦФ 146/82 ЦФ 146/134 ЦФ 146/85	112 80 134 80	50 8,4 108 15	0,4 0,8 0,5 0,6	0,017 0,042 0,011 0,024
АГП-30-51; АГП-30-52		ЦФ 146/134 ЦФ 146/134 ЦФ 146/134 ЦФ 146/134 ЦФ 146/134	134 134 134 134 134	108 108 61 61 26	0,3 0,3 0,4 0,4 0,6	0,011 0,011 0,02 0,02 0,039

Подается напряжение и опробуется включение и отключение автомата. Измеряются минимальное напряжение срабатывания электромагнитов и время работы автомата.

Производится испытание повышенным напряжением промышленной частоты в течение 1 мин силовых цепей ( $U_{исп} = 2\ 000\ В$ ) и цепей вторичной коммутации ( $U_{исп} = 1\ 000\ В$ ).

Опробуется работа автомата в схеме управления.

Осциллографируется напряжение на роторе (или на решетке) при отключении автоматом тока ротора.

Проверка изоляции и испытание цепей возбуждения. Производится в собранной схеме (обмотки возбуждителя и ротора отсоединены) мегомметром 1 000—2 500 В. Если сопротивление изоляции не ниже 1 МОм, производится испытание повышенным напряжением промышленной частоты 1 000 В в течение 1 мин.

Подгонка амперметра тока ротора. Из-за большой длины кабеля от шунта до милливольтметра показания прибора могут быть искажены. Проверку и подгонку цепи можно сделать при работающей машине, но целесообразно произвести ее до начала пусковых испытаний. Для этого полностью собирается вся цепь от шунта до милливольтметра и производится затяжка всех винтовых соединений. В рассечку цепи включаются контрольный милливольтметр и источник в. д. с., равный по величине номинальному напряжению шунта.

При этом напряжении отмечаются показания щитового милливольтметра и, если необходимо, производится подгонка его показаний с помощью специального сопротивления внутри прибора (или магнитного шунта).

Если указанным способом не удалось добиться соответствия показаний, производят переградуировку шкалы щитового прибора.

Проверка характеристик системы при работе на холостом ходу и на ротор машины. Методика определения характеристик отдельных узлов системы приведена в соответствующих разделах этой главы. Она различна в зависимости от исполнения возбуждителя. Общим для испытания любой системы возбуждения является:

определение скорости нарастания напряжения возбуждителя; определение величины напряжения на роторе при работе автомата гашения поля; определение постоянных времени машины.

Наиболее распространенным способом определения перечисленных характеристик является запись процесса на пленку или бумагу с помощью электромеханического осциллографа и дальнейшая обработка полученных осциллограмм.

Определение скорости нарастания напряжения возбуждителя согласно ГОСТ 10169-62 производится в режиме холостого хода возбуждителя (для системы с индукторным генератором это требование невыполнимо и скорость определяют при включенном возбуждителя на ротор генератора).

Обработка осциллограммы процесса нарастания напряжения возбуждителя от номинального до потолочного при форсировке возбуждения ведется следующим образом (рис. 8-5):

1. Определяется величина

$$U' = 0,632 (U_{пот} - U_n).$$

2) Определяется по осциллограмме время  $t_1$  от начала форсировки до величины

$$U = U_H + U'.$$

3) Скорость нарастания напряжения возбuditеля (1/с) определяется по формуле

$$U = \frac{U'}{U_H t_1}.$$

По ГОСТ 10169-62 скорость нарастания напряжения для систем с электромашинным возбудителем должны быть не менее  $2U_H$  в секунду и потолок возбуждения не менее  $2U_H$ .

Для осциллографирования напряжения на роторе или на контактах АГП собирается делитель напряжения, с которого и подается напряжение в схему осциллографирования. В зависимости от типа и схемы включения АГП напряжение на роторе будет различным. Если ротор закорачивается на постоянное активное сопротивление, то напряжение на нем не превышает величины  $U_{\text{сопр}} = (0,7 \div 0,9) I_{\text{рот}} R$ . При последовательном включении сопротивления в цепь ротора напряжение на роторе будет равно:

$$U_{\text{рот}} = U_{\text{сопр}} - U_B.$$

При включении дугогасительной решетки, представляющей собой активное переменное сопротивление, напряжение остается практически неизменным в течение времени гашения и равным  $U_{\text{реш}} = (25-30) n$ , где  $n$  — число промежутков решетки.

Определение постоянных времени машины производится в различных режимах работы машины. Существует несколько способов определения постоянных, изложенных в [Л. 49]. Как правило, чаще всего используют метод, использующий осциллограммы ударного возбуждения машины в режиме холостого хода и короткого замыкания, а также восстановление напряжения при отключении установившегося короткого замыкания.

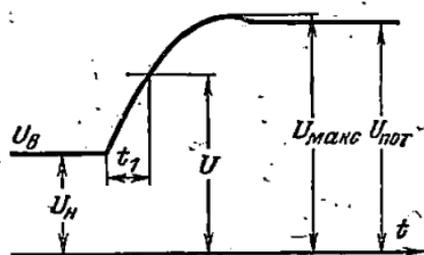


Рис. 8-5. Осциллограмма процесса нарастания напряжения возбuditеля.

### 8-3. НАЛАДКА СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ С ГЕНЕРАТОРОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Общие вопросы наладки и испытания схемы возбуждения изложены в § 8-2. Методика наладки и испытаний генераторов постоянного тока изложены в первом томе настоящего справочника [Л.1].

### Определение характеристик системы и выбор величины сопротивлений в схеме возбуждения

Характеристика холостого хода  $U_B = f(i_B)$  определяется для всех обмоток возбуждения при номинальной частоте вращения машины до потолочного значения или до величины напряжения, при котором напряжение между соседними пластинами коллектора не превышает 24 В.

Соотношение витков дополнительных и основной обмоток возбуждения определяется по отношению токов в обмотках при одном и том же напряжении возбудителя [Л. 1].

Характеристика  $U_B = f(i_B)$  при работе на ротор синхронной машины определяется до максимально допустимого тока ротора. Часто ее определение совмещают с определением характеристики холостого хода генератора [Л. 1].

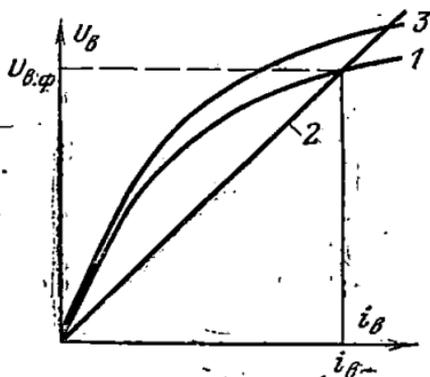


Рис. 8-6. Характеристики возбуждения.

1 — нагрузочная; 2 — самовозбуждения; 3 — холостого хода.

ограничения возбуждения при форсировке, определяется на основании нагрузочной характеристики возбудителя 1 и характеристики самовозбуждения возбудителя 2 (рис. 8-6).

Величина добавочного сопротивления составляет для схемы самовозбуждения

$$R_{\text{доб}} = \frac{U_{\text{в.ф.}}}{i_{\text{в.ф.}}} - R_{\text{о.в.в}} - R_{\text{пров.}}$$

для схемы независимого возбуждения

$$R_{\text{доб}} = \frac{U_{\text{подв.}}}{i_{\text{в.ф.}}} - R_{\text{о.в.в}} - R_{\text{пров.}}$$

где  $R_{\text{доб}}$  — добавочное сопротивление;  $R_{\text{о.в.в}}$  — сопротивление обмотки возбудителя;  $R_{\text{пров.}}$  — сопротивление соединительных проводов;  $i_{\text{в.ф.}}$  — ток возбуждения возбудителя в режиме форсировки;  $U_{\text{подв.}}$  — напряжение подвозбудителя.

Выбор величины добавочных сопротивлений и рабочего диапазона шунтового реостата. При форсировке возбуждения обычно должен быть использован полностью потолок возбуждения возбудителя. Однако в некоторых случаях возникает необходимость ограничить потолок возбуждения. Так, у генераторов с форсированным охлаждением обмоток ротора в настоящее время ограничивают потолок возбуждения, исходя из обеспечения двукратного номинального тока ротора при работе на холодный ротор. Величина добавочного сопротивления, необходимая для

Как правило, точки нагрузочной характеристики совпадают с точками характеристики холостого хода при напряжениях, близких к номинальному, и ниже их на 10—15% при напряжениях, близких к напряжению форсировки.

Для возможности плавного регулирования возбуждения рекомендуется выполнять подсоединения секций шунтового реостата таким образом, чтобы рабочий диапазон сопротивления шунтового реостата был распределен на возможно большее число ламелей.

Величины сопротивления шунтового реостата в режиме холостого хода (или номинальном) определяется из выражения

$$R_{ш.р} = \frac{U_B}{I_B} - R_{о.в} - R_{доб.}$$

В схеме независимого возбуждения вместо  $U_B$  следует в приведенном выражении использовать напряжение подвозбудителя.

Сопротивление гашения поля возбудителя (СГ) обычно выбирают не более  $(5 \div 10) R_{о.в.в}$ . В схеме независимого возбуждения при этом поле возбудителя полностью не гасится. При наладке обращают внимание на то, чтобы оно одновременно включалось и в цепь устройства компаундирования.

После окончательного выбора добавочного сопротивления, ограничивающего потолок возбуждения, следует определить повторно скорость нарастания напряжения возбудителя, которая, как правило, с вводом добавочного сопротивления уменьшается.

Особенности наладки систем возбуждения синхронных двигателей. Обращается внимание на осуществление закорачивания ротора при пуске во избежание повреждения обмотки.

Основной метод пуска синхронных двигателей — прямой синхронный пуск. При этом если момент сопротивления нагрузки не превышает  $0,4 M_{ном}$ , рекомендуется глухое подключение возбудителя к обмотке ротора (в некоторых случаях с разрешения завода-изготовителя это допустимо и при больших нагрузках).

Для увеличения момента на время пуска в цепь ротора вводится сопротивление  $R = (6 \div 10) R_{рот}$ , которое при частоте вращения ротора, близкой к синхронной, замыкается контактором возбуждения (обычно применяется контактор с защелкой, чтобы схема возбуждения машины при работе не зависела от наличия оперативного напряжения).

#### 8-4. НАЛАДКА СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ С ИНДУКТОРНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ И ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ

Система возбуждения является основной для турбогенераторов завода «Электросила», мощность, которых 165 МВт и выше. Источником тока является индукторный генератор повышенной частоты 500, Гц (ВГГ)\*, жестко связанный с валом турбогенератора. Гене-

\* В данном разделе применяются сокращенные названия, используемые в заводской документации на систему возбуждения.

ротор ВГТ имеет две независимые трехфазные системы рабочих обмоток, каждая из которых работает на выпрямительный мост (ВУТГ). На стороне постоянного тока мосты соединены в последовательную цепь с ротором и последовательной обмоткой (ОВП) генератора ВГТ. Последовательная обмотка создает основную намагничивающую силу (н. с.) возбуждения ВГТ.

Если обмотка создает большую н. с., чем необходимо для обеспечения соответствующего тока ротора, систему называют переконструированной (переконпенсированной) при равенстве — нормально сконструированной, при недостаточной н. с. — недоконструированной.

В зависимости от степени конструирования изменяются режимы работы системы и настройка регулятора возбуждения (см. разд. 9).

Последовательная обмотка возбуждения шунтируется контактами автомата резервного возбуждения при включении его параллельно основной системе. Это исключает повреждение выпрямительной установки при неправильном переводе возбуждения. (Перевод возбуждения на резервный возбудитель должен происходить при напряжении резервного возбудителя, превышающем напряжение ротора на 10—15%.)

*Индукторный генератор* представляет собой электрическую машину с явнополюсным шихтованным ротором, на котором отсутствуют обмотки. Обмотки возбуждения расположены на статоре и соединены таким образом, чтобы переменная э. д. с., возникающая в них при вращении ротора, была минимальной. Фаза рабочей обмотки состоит из нескольких параллельных ветвей:

Фазы в свою очередь объединены в две независимые трехфазные системы, собранные в звезду или треугольник. Число зубцов ротора равно 10, что при 3000 об/мин создает пульсацию потока (а следовательно, и э. д. с. в рабочих обмотках) частотой 500 Гц.

Параметры генераторов повышенной частоты приведены в табл. 8-4.

Каждый из шкафов (*выпрямительной установки ВУТГ*) собран по трехфазной мостовой схеме. Каждая фаза конструктивно состоит из четырех блоков, содержащих по три ветви выпрямителя. Равномерность распределения токов (с точностью до 10—15%) между всеми 12 ветвями переменного тока каждой фазы обеспечивается с помощью индуктивных делителей тока. Схема блока приведена на рис. 8-7.

В плече выпрямителя стоят два последовательных вентиля типа ВКД-200. Для равномерного распределения обратных напряжений они шунтированы цепочками из сопротивлений и емкостей. В диагонали моста, оборудованного двумя параллельными ветвями плечей, включены сигнальные реле РС, которые срабатывают при пробое одного из вентилях.

На выходе каждого моста включена защитная цепочка РС, снижающая коммутационные перенапряжения на вентилях.

Максимально допустимые напряжение и ток установки зависят от номинальных данных вентилях и предохранителей, которые в установках могут быть различными,

Таблица 8-4

Параметры	ВГТ-2500-500	ВГТ-2700-500	ВГТ-4500-500
Применяется для генератора	ТВВ-165-2	ТВВ-200-2	ТВВ-320-2
Соединение обмоток статора	$\lambda/\lambda$	$\Delta/\Delta$	$\Delta/\Delta$
Номинальное напряжение фазы обмотки статора, В	105	158	225
Номинальный ток, А	2 000	2 500	2 750
Частота вращения, об/мин.	3 000	3 000	3 000
Частота напряжения статора, Гц	500	500	500
Число полюсов обмотки возбуждения	4	4	4
<i>Соединение полюсов последовательной обмотки — параллельное</i>			
Число витков последовательной обмотки возбуждения (на полюс)	5	4	4
Число витков каждой обмотки независимого возбуждения (на полюс)	30 32*	30 32*	30 32*
Сопротивление последовательной обмотки возбуждения при 15 °С, Ом	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
Сопротивление одной обмотки независимого возбуждения при 15 °С, Ом *	} 1,02 0,61*	} 1,02 0,61*	} 1,25 0,735*
Сечение меди последовательной обмотки возбуждения, мм <sup>2</sup>			
Сечение меди обмотки независимого возбуждения, мм <sup>2</sup>	9,52 17,5*	9,52 17,5*	9,52 17,5*
Число параллельных ветвей в фазе обмотки статора	—	8	8

\* Для генераторов, выпускаемых с 1965 г.

До пуска турбогенератора производится следующая проверка элементов системы возбуждения.

1. Измерение сопротивления постоянному току обмоток. Для контроля целостности отдельных ветвей рабочей обмотки возбудителя рекомендуется измерить сопротивление каждой ветви. Сопротивления ветвей могут различаться на 15%. Сопротивления рабочих обмоток в собранном виде и обмоток возбуждения не должны отличаться от заводских более чем на  $\pm 5\%$ .

2. Измерение и испытание сопротивления изоляции. Измерения производятся мегомметром 1 000 В. Сопротивление изоляции отдельных элементов не нормируется, но, как правило, при исправной изоляции составляет не менее нескольких мегом. Измерения проводятся для всех обмоток возбудителя и подвозбудителя, каждой фазы токопровода, каждого из шкафов выпрямительной установки и отдельных элементов регулятора, а также для каждой параллельной

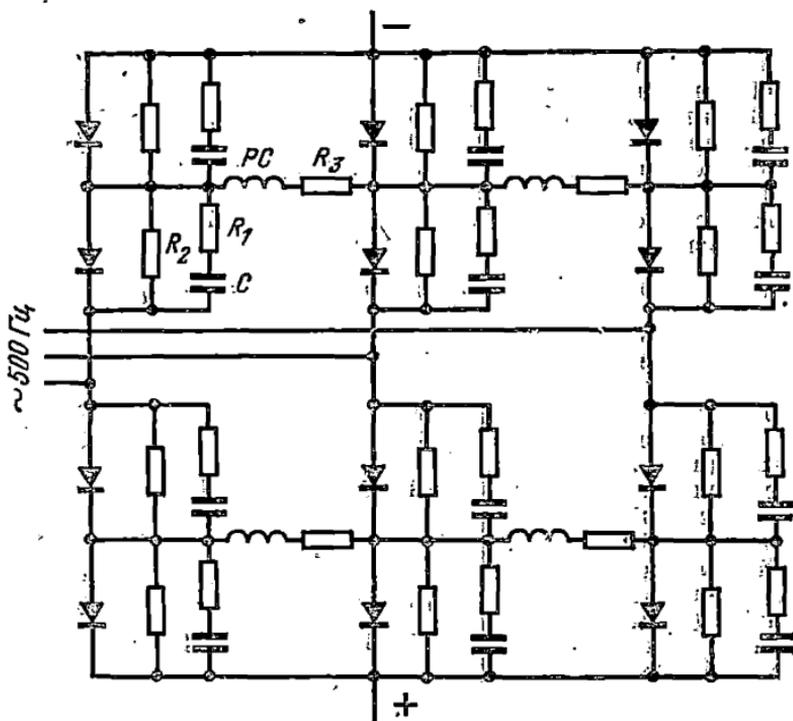


Рис. 8-7. Схема выпрямительного блока ВУТГ.

ветви рабочих обмоток возбудителя. При измерении сопротивления выпрямительной установки помимо общей изоляции силовых и вторичных цепей следует при разборке на блоки обращать внимание на сопротивление изоляции шпилек. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты производят или поэлементно, или всей системы в сборе.

Испытательное напряжение обмоток равно 0,7 величины испытательного заводского напряжения.

3. Определение полярности обмоток возбуждения производится с помощью батарейки и гальванометра. Особое внимание обращается на взаимную полярность последовательной и независимых обмоток возбуждения, так как проверка взаимной полярности на вращающемся агрегате усложняется,

4. Проверка элементов выпрямительной установки. Рекомендуется произвести выемку блоков из шкафов выпрямителя и затянуть все болтовые соединения в шкафах и блоках.

Подачей выпрямленного напряжения 220 В в непроводящем направлении на каждый блок проверяется напряжение срабатывания каждого из реле сигнализации (при закорачивании вентиля), а также распределения обратных напряжений в схеме. При отключении обратных напряжений на вентилях более 5%, следует проверить исправность сопротивлений шунтирующих вентили. Рекомендуется измерение напряжений производить на обкладках конденсаторов, так как при этом одновременно проверяется и целостность цепочек РС, шунтирующих вентили.

Напряжения срабатывания реле должно лежать в диапазоне рабочих токов ротора генератора (0,3 ÷ 0,8) Гц.

Все предохранители следует соединить в последовательную цепь и пропустить по ней от постороннего источника переменный ток, соответствующий току ротора при форсировке возбуждения. Предварительно из цепи исключаются предохранители, падение напряжения на которых на 15—20% больше, чем на остальных.

Если возникает необходимость перебрать вентили установки, то для обеспечения равномерности распределения напряжения между последовательно включенными вентилями при работе на ротор генератора следует подбирать вентили с одинаковыми временами восстановления (отличающимися не более чем на 10%). Если эти данные неизвестны, можно включить вынутый из установки блок по схеме моста на активное сопротивление и, питая схему от подвозбудителя или другого источника 400—500 Гц, измерить обратные напряжения.

При значительном разбросе (более 10—15%) следует перебрать блок, комплект вентили с соответствующими падениями в последовательную цепь. Как правило, одной перестановки достаточно, чтобы обеспечить распределение в пределах нормы.

5. Проверка схемы вторичных соединений. Производится проверка двигателей вентиляторов, схемы управления их пускателями, автоматами рабочего и резервного возбуждения, схемы сигнализации и релейной аппаратуры.

Схема теплоконтроля возбудителя должна быть проверена к моменту первого разворота возбудителя. Основные потери возбудителя — вентиляционные, и при отсутствии протока воды в газоохладителях возбудителя изоляция обмоток может повредиться.

При пуске турбогенератора на номинальной частоте вращения производится определение характеристик системы, позволяющих определить исправность оборудования путем сравнения их с характеристиками, снятыми предварительно или на однотипном оборудовании, а также производить правильную настройку автоматического регулятора возбуждения.

При определении характеристик указывают схему соединения обмоток, место установки закоротки, тип и класс приборов, так как эти факторы влияют на характеристику, и учитываются в дальнейшем при повторных испытаниях. Определение характеристик должно сопровождаться измерением частоты вращения турбогенератора.

Отклонения характеристик от ранее снятых не нормируются, но практически при исправном оборудовании и одинаковых условиях проверки отклонения лежат в пределах точности измерения.

Целесообразно при определении характеристик контролировать распределение токов и напряжений в схеме выпрямительной установки. Следует иметь в виду, что распределение напряжений по вентилям в режиме холостого хода ВУГТ не соответствует распределению напряжений при работе ВУГТ на ротор генератора. В первом случае можно определить только исправность блоков после сборки и минимальное напряжение ротора, при котором срабатывает сигнализация дробоя вентиля.

6. Снятие характеристики короткого замыкания ВГТ  $I_d = f(aw_B)$ . Характеристика должна определяться при работе на закоротку, установленную непосредственно на выводах ВГТ, чтобы можно было сравнить результаты с заводскими данными.

Значительно удобнее определять характеристику  $I_d = f(aw_B)$  при работе одного из выпрямительных шкафов или обоих на закоротку, соединя независимые обмотки последовательно и исключая последовательную обмотку. Ее определяют для возможности дальнейшего контроля системы в процессе эксплуатации.

Одновременно, подавая постоянный ток в различные обмотки возбуждения, можно определить их взаимную полярность и отсутствие витковых замыканий. Наличие витковых замыканий более надежно определяется при измерении полного сопротивления обмоток возбуждения при питании их переменным током.

7. Снятие характеристики холостого хода. В соответствии со сказанным выше характеристики холостого хода рабочих обмоток ВГТ  $U_{500} = f(aw_B)$  можно заменить характеристикой  $U_d = f(aw_B)$ , одновременно измеряя напряжение 500 Гц рабочих обмоток.

Следует иметь в виду, что последняя характеристика зависит от параметров защитной цепочки  $RC$ , включенной на выходе моста для снижения перенапряжений на вентилях. Она же оказывает влияние и на соотношение  $U_d/U_{500}$ , которое вначале резко уменьшается с ростом нагрузки и остается в дальнейшем близким к единице.

8. Снятие нагрузочной характеристики системы. Под нагрузочной характеристикой  $U_d = f(aw_B)$  или  $I_d = f(aw_B)$  при работе системы на ротор генератора. Необходимость в ней возникает при необходимости правильной настройки регулятора возбуждения. Целесообразно исключить последовательную обмотку, но если это затруднительно, то ее закорачивают, и определяют две характеристики  $U_{d1} = f(aw_{нез} + aw_{посл})$  и  $U_{d2} = f(aw_{нез} - aw_{посл})$  (при согласном и встречном включении независимой и последовательной обмоток), вычисляют нагрузочную характеристику как среднюю арифметическую от выше названных:

$$U_d = f(aw_{нез}) = \frac{U_{d1} + U_{d2}}{2}.$$

Как правило, определение нагрузочной характеристики связано с большими неудобствами, поэтому часто ее определяют при работе системы на активное сопротивление, эквивалентное ротору.

Допустимость ввода системы в эксплуатацию решается на основании результатов испытания ее совместно с АРВ при работе на генераторе. При этом контролируется тепловой режим всех элементов схемы в течение длительного времени работы с номинальным током ротора. Одновременно определяется и допустимое время аварийной работы системы при неисправностях в системе охлаждения.

Целесообразно после окончательной наладки при работе системы в установившемся режиме составить карту напряжений и токов в схеме возбуждения и АРВ, чтобы иметь возможность периодически контролировать работу системы при работе ее на генераторе.

## РАЗДЕЛ ДЕВЯТЫЙ

### НАЛАДКА УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ

#### 9-1. ОБЩИЕ ПРОВЕРКИ И ИСПЫТАНИЯ

**Цель и объем наладочных работ.** Целью наладки устройств автоматического регулирования возбуждения (АРВ) является обеспечение надежной работы регулятора и заданного качества регулирования в нормальных и аварийных режимах работы генератора.

При наладке серийных устройств АРВ определяются статические характеристики отдельных элементов, узлов АРВ в целом и системы генератор — АРВ, а также динамические характеристики системы генератор — АРВ (преимущественно те, которые определяют устойчивость или быстродействие всей системы).

Проверка способности АРВ улучшить динамическую устойчивость генератора производится при специальных промышленных испытаниях первых образцов или в процессе накопления эксплуатационного опыта и не входит в объем наладки при первом включении АРВ.

В объем наладочных работ при первом включении серийных панелей АРВ на электрических станциях входит:

1. Проверка соответствия паспортных данных АРВ напряжениям и токам в схеме возбуждения, необходимым для обеспечения нормальных и аварийных режимов работы генератора, и выбор параметров элементов.

2. Внешний осмотр элементов, контроль паяк и винтовых соединений.

3. Проверка характеристик элементов и испытание изоляции элементов и схемы АРВ в целом.

4. Проверка статических характеристик.

5. Проверка элементов на нагрев, при работе регулятора на эквивалентное сопротивление с максимально допустимыми токами и напряжениями в схеме в течение 5—10 ч.

6. Проверка устойчивости и пределов регулирования возбуждения в режиме холостого хода.

7. Проверка устойчивости регулирования, пределов изменения возбуждения и статических характеристик генератора или синхронного компенсатора при работе в энергосистеме с АРВ.

Проверка соответствия паспортных данных АРВ и режимов его работы, выбор параметров. Параметры различных элементов схемы АРВ должны быть такими, чтобы АРВ обеспечивало все эксплуатационные режимы генератора без перегрузки элементов регулятора сверх допустимой заводом-изготовителем.

Эксплуатационными режимами возбуждения обычно являются следующие.

*Для генераторов:*

1) Отклонение номинального напряжения статора в режиме холостого хода генератора (блока) не более чем на  $\pm 10\%$ .

2) Изменение реактивной мощности от нуля до максимально допустимой при работе с любой активной нагрузкой. При этом допускается отклонение напряжения статора генератора на  $\pm 5\%$  номинального.

3) Максимальное напряжение или ток ротора, допускаемые техническими условиями на генератор при форсировке возбуждения.

*Для синхронных компенсаторов:*

1) В нормальных режимах изменение тока ротора от нуля до номинального при отклонении напряжения статора не более чем на  $5\%$  номинального.

2) При форсировке — аналогично п. 3 для генераторов.

Регулятор возбуждения при работе генератора или синхронного компенсатора должен поддерживать напряжение в заданной точке системы в пределах требуемого статизма внешних характеристик и обеспечивать эксплуатационные режимы.

Ток и напряжение ротора генератора или синхронного компенсатора в каждом из проверяемых режимов определяются экспериментально или расчетным способом (предпочтение следует отдавать упрощенным методам расчета). На основании полученных экспериментально или расчетом результатов определяют ток и напряжения в схеме регулятора и сопоставляют их с допустимыми.

Для практических расчетов нормальных режимов генератора наиболее удобно использовать упрощенную векторную диаграмму генератора.

Методика расчета токов в схеме регулятора и выбора основных параметров различна для разных АРВ.

При возможности выбора нескольких наборов параметров, обеспечивающих расчетные режимы генератора, предпочтение отдается таким параметрам, при которых:

1) увеличивается надежность регулятора (облегчается тепловой режим элементов, уменьшается влияние на режим работы генератора при выходе элемента из строя и т. п.);

2) увеличивается быстродействие системы возбудитель — АРВ или улучшаются ее динамические характеристики;

3) обеспечиваются дополнительные режимы генератора (ограничение минимального или максимального тока ротора, прогрев ротора и т. п.).

Проверка технических данных и выбор параметров производится в следующей последовательности:

1. Проверяется соответствие поставленного оборудования АРВ проекту и паспортным данным.

2. Определяется ток регулятора (при заданной схеме включения); обеспечивающий заданные режимы возбуждения; т. е.

для генератора:

а) ток ротора в режиме холостого хода ( $\pm 10\%$ );

б) номинальный ток ротора;

в) ток ротора при номинальной активной нагрузке генератора, полной нагрузке по реактивной мощности и при допустимых отклонениях напряжения статора;

г) ток ротора при номинальной активной нагрузке и отсутствии реактивной нагрузки ( $\cos\varphi = 1,0$ );

д) ток ротора в режиме форсировки;

для синхронного компенсатора:

а) ток ротора равен нулю;

б) ток ротора при реактивной нагрузке, равной нулю;

в) номинальный ток ротора;

г) ток ротора при допустимом отклонении напряжения статора и номинальной нагрузке;

д) ток ротора в режиме форсировки.

3. Устанавливается модификация регулятора, а также параметры и уставки элементов, обеспечивающие заданные режимы.

**Проверка элементов схемы.** При неудовлетворительном состоянии панели АРВ (что иногда имеет место в результате перевозки и хранения), а также при значительных отклонениях выходных характеристик от заводских или от характеристик аналогичных панелей производится поэлементная проверка, объем которой определяется в каждом конкретном случае характером отклонений. В общем случае проводятся следующие проверки.

1. **Проверка реостатов и резисторов.** При этом производится внешний осмотр, проверяется качество пайки выводов и надежность крепления хомутика в регулируемых сопротивлениях, качество подвижного контакта и болтовых соединений у реостатов. Измеряется сопротивление изоляции. Определяется сопротивление постоянному току. У реостатов в ответственных цепях определяется сопротивление постоянному току на каждой ламели. Составляются номинальные данные и измеренные величины сопротивлений с расчетными данными сопротивлений и токов в схеме.

2. **Проверка выпрямителей:** При внешнем осмотре обращается внимание на номинальные данные вентиляей, схему их соединения, отсутствие погнутых пластин, целостность покраски, отсутствие посторонних предметов между пластинами, надежность пайки и плотность сборки столбика. Наименее надежное место — пайка выводов схемы и болтовые соединения в мощных цепях.

Следует контролировать, чтобы крепление вывода обеспечивалось механическим соединением провода и лещетка, а пайка только уменьшала переходное сопротивление.

Сопротивление изоляции выпрямителей измеряется мегомметром 500—2500 В в зависимости от выполнения и назначения цепей. При этом следует закорачивать выход выпрямителя, если он отсоединен от нагрузки.

При обнаружении одной-двух неисправных пластин в столбике селенового выпрямителя их можно не заменять, если напряженно во всех режимах не превышает допустимого для оставшихся пластин.

Чаше всего об исправности выпрямителя судят по величине коэффициента выпрямления по току  $\beta_i = I_{\text{---}}/I_{\sim}$  при работе на активную нагрузку. У исправных выпрямителей  $\beta_i \geq 0,75$  для однофазного моста и  $\beta_i \geq 1,15$  для трехфазного моста.

Селеновые выпрямители требуют предварительной формовки. Формовка производится включением выпрямителя на холостой ход вначале — на пониженном напряжении, а затем при постепенном повышении последнего до допустимой величины. При формовке обратные напряжения на вентилях могут значительно отличаться друг от друга по величине.

При работе регулятора контролируются токи и напряжения выпрямителей и сравниваются с допустимыми, а при последовательном соединении кремниевых вентилей контролируется и распределение обратных напряжений при номинальной частоте.

3. *Проверка дросселей, трансформаторов и магнитных усилителей.* При этом определяется сопротивление постоянному току обмоток, расположенных на общих сердечниках. Наличие витковых замыканий определяется по отклонению коэффициента трансформации, увеличенному нагреву, увеличенному значению тока намагничивания или уменьшению падения напряжения на обмотке, пониженному сопротивлению обмотки постоянному или переменному току.

При проверке магнитных усилителей (МУ) появление значительного напряжения в силовых обмотках одного сердечника при подаче напряжения на силовые обмотки другого (при разомкнутых обмотках управления) свидетельствует о наличии виткового замыкания в одной из обмоток управления. Полезно измерять распределение напряжений и токов в симметричных схемах. Это позволяет в дальнейшем при работе регулятора контролировать состояние обмоток и элементов схемы. Обычно при проверках магнитных усилителей или дросселей с подмагничиванием, работающих на выпрямительную схему, определяют характеристику  $I_{\text{---}} = f(a\omega_{\text{упр}})$  при работе на заданное сопротивление нагрузки, где  $I_{\text{---}}$  — выпрямленный ток в нагрузке;  $a\omega_{\text{упр}}$  — н. с. обмоток управления магнитного усилителя.

Иногда определяют контрольную характеристику  $U_{\text{---}} = f(a\omega_{\text{упр}})$ , где  $U_{\text{---}}$  — выпрямленное напряжение на нагрузке, которое не зависит от сопротивления нагрузки. Знание этих характеристик позволяет согласовать параметры силовой и управляющей части регулятора, а также определить неисправные элементы или витковые замыкания в схеме МУ.

Наиболее частым видом неисправности в МУ являются витковые замыкания обмоток или обрыв проводника обмотки в месте вывода.

Для схем, включающих цепи со сталью, эффективно сравнение характеристик элементов с аналогичными в пределах одной панели, работающими в симметричных схемах в одинаковых условиях.

4. *Проверка релейной аппаратуры, трансформаторов напряжения и трансформаторов тока* производится в соответствии с действующими инструкциями [Л,1].

Для определения максимальной мощности, отдаваемой регулятором при питании от трансформаторов тока, следует иметь характеристику намагничивания трансформатора  $U_2 = f(i_2)$ , снятую до максимально допустимого напряжения вторичной обмотки.

5. Проверка правильности соединений. Правильность соединений определяется прозвонкой или при проверке взаимодействия аппаратуры. Как правило, ошибки монтажа в серийных панелях встречаются редко и легко определяются при проверке характеристик, если при этом производятся контрольные измерения напряжений и токов в различных частях схемы.

6. Испытание изоляции внешних цепей панели производится в собранной схеме переменным напряжением промышленной частоты 1 000 В в течение 1 мин. До и после испытания измеряется сопротивление изоляции. Изоляция цепей панели в собранной схеме, измеренная мегомметром 1 000 В, не должна быть меньше 5—10 МОм. При пониженной изоляции аппаратуру необходимо сушить горячим воздухом или устранить причину снижения сопротивления изоляции.

7. Термическая проверка элементов. Окончательная исправность или пригодность элементов панели устанавливается при определении характеристик регулятора и последующих тепловых испытаниях панели с максимально длительно допустимыми токами и работе на эквивалентное сопротивление или на обмотки возбуждения. При наладке необходимо сопоставлять номинальные данные аппаратуры, применяемой в регуляторе, с реальными значениями токов и напряжений при работе регулятора на возбудитель (по техническим данным).

При проверке теплового режима элементов температура воздуха между пластинами селенового выпрямителя не должна превышать 40—50° С. Как правило, температура сердечников и катушек не превышает 50—70° С (рука терпит длительно), температура остеклованных сопротивлений может быть 100—120° С.

Мощные магнитные усилители и дроссели с рабочими токами до 20—30 А, а также магнитные усилители, включенные на напряжение повышенной частоты, могут быть рассчитаны на длительную работу с температурой сердечников и обмоток до 100° С.

Проверка статических характеристик АРВ. Различают два вида характеристик: общие выходные и отдельных узлов.

Выходные характеристики определяют зависимость тока выхода АРВ от величины входного сигнала. Они используются для согласования режимов работы генератора и АРВ, а также являются контрольными для последующих проверок. Как правило, характеристики определяются для предельных значений уставок.

Иногда с целью более детального ознакомления с первыми образцами АРВ, а также для оптимального согласования характеристик отдельных элементов определяют характеристики узлов. При этом в регуляторе выделяют ряд условных узлов, каждый из которых имеет минимальное количество входов и выходов, а также элементов регулировки. Определяют характеристики каждого узла и последовательно от выхода ко входу подсоединяют узлы один к другому, наилучшим способом согласуя их характеристики, в конечном итоге приходя к определению выходных характеристик. Этот способ

требует больше времени для проверки; но с большей вероятностью гарантирует надежную работу регулятора.

Следует иметь в виду, что улучшение статических характеристик регулятора не всегда в такой же степени улучшает динамические свойства системы генератор — возбудитель, — АРВ.

**Определение динамических характеристик АРВ:** Динамические характеристики АРВ в целом или отдельных узлов обычно не определяют. Если необходимо сравнить различные варианты исполнения регулятора или динамические характеристики регулятора по отдельным каналам, производят осциллографирование тока или напряжения на выходе регулятора при ступенчатом изменении управляющего сигнала. Характер изменения осциллографируемых величин позволяет качественно и количественно оценить соответствующий канал.

**Определение характеристик регулирования при работе генератора с АРВ.** В режиме холостого хода генератора определяют устойчивость регулирования; пределы изменения напряжения статора при изменении уставки АРВ.

При работе генератора в сети с активной нагрузкой определяют устойчивость регулирования; пределы изменения возбуждения генератора при различных отклонениях напряжения статора и изменении уставки АРВ; качество регулирования напряжения в заданной точке при автоматическом регулировании и неизменных уставках АРВ.

В некоторых случаях для определения параметров предельных режимов (потолка и скорости нарастания напряжения возбудителя в режиме форсировки возбуждения) и проверки работы защит системы регулирования проводится испытание в режиме установившегося трехфазного короткого замыкания блока.

**Устойчивость регулирования возбуждения** определяется для каждого АРВ в режиме холостого хода генератора и при работе генератора в сети. Обычно регулирование считается удовлетворительным с точки зрения устойчивости, если при резких возмущениях на входе регулятора и последующем восстановлении режима наблюдается затухающий колебательный процесс (два-три колебания  $U_{ст}$  в режиме холостого хода и одно-два колебания при работе генератора в сети).

Обеспечение устойчивости регулирования достигается для каждого АРВ различными мерами. Следует иметь в виду, что запас устойчивости одноконтурной схемы регулирования увеличивается при уменьшении коэффициента усиления разомкнутой схемы регулирования и увеличении разности между постоянными времени элементов системы АРВ: — возбудитель — генератор.

**Пределы регулирования напряжения статора при работе генератора в режиме холостого хода** определяются путем воздействия на элемент, изменяющий уставку АРВ. Стремятся обеспечить настройку, позволяющую изменять напряжение статора в пределах  $\pm 10\%$  номинального. При предельных уставках следует проверить устойчивость регулирования.

**Пределы изменения возбуждения генератора при работе генератора в сети** определяются при различных активных нагрузках воздействием на уставку АРВ. При этом должны быть обеспечены все эксплуатационные режимы.

Качество регулирования напряжения в заданной точке (как правило, на шинах, к которым подключена основная нагрузка) проверяется путем воздействия на возбуждение генераторов, работающих параллельно с испытуемым. Уставка АРВ испытуемого генератора не изменяется. Определяется внешняя характеристика:  $U_{ст} = f(Q_{ст})$ .

Отклонение напряжения на шинах генератора при изменении уровня напряжения в системе и равномерное распределение реактивных нагрузок генераторов, работающих параллельно при неизменной активной мощности, определяются коэффициентом статизма:

$$\Delta = \frac{U_{ст, \cos \varphi = 1} - U_{ст, н}}{U_{ст, н}} \cdot 100\%,$$

где  $U_{ст, н}$  — напряжение статора в номинальном режиме;  $U_{ст, \cos \varphi = 1}$  — напряжение статора при  $P_{г, а} = P_{г, н}$  и  $Q = 0$ .

Статизм определяется при повышении напряжения на генераторе путем увеличения возбуждения параллельно работающих генераторов или при систематическом измерении режима генератора при работе его в сети с неизменной активной мощностью и неизменными уставками регулятора.

Численное значение коэффициента статизма выбирают из условия поддержания напряжения с точностью  $\pm(2-3)\%$  на шинах станции или статора генератора при изменении реактивной нагрузки генератора в допустимых пределах.

Уменьшение коэффициента статизма до нуля может привести к неустойчивому распределению реактивных нагрузок между параллельно работающими генераторами.

Отклонение напряжения при сбросе нагрузки генератора численно равно коэффициенту статизма внешней характеристики для неизменного  $\cos \varphi = \cos \varphi_{н}$ :

$$K_{ст} = \frac{U_{ст, х-х} - U_{ст, н}}{U_{ст, н}},$$

где  $U_{ст, х-х}$  — напряжение при холостом ходе генератора, поддерживаемое регулятором возбуждения после сброса нагрузки.

Определение его производится при разгрузке генератора по активной и реактивной мощности до нуля.

Чем меньше  $K_{ст}$  и  $\Delta$ , тем точнее поддерживает АРВ напряжение статора при работе генератора в системе.

Характеристики генераторов с регуляторами напряжения имеют величины  $K_{ст}$  и  $\Delta$ , близкие друг к другу. Регуляторы возбуждения, имеющие кроме канала напряжения статора другие каналы, воздействующие в статических режимах на регулятор (устройство изменения статизма, фазовое компаундирование и т. д.), как правило, имеют различные по величине  $K_{ст}$  и  $\Delta$ .

При определении коэффициента  $\Delta$  и внешней характеристики генератора при неизменной активной мощности, если АРВ имеет устройство, реагирующее на фазу тока статора, следует повышать напряжение на шинах до отрицательных значений реактивной мощности генератора. При этом внешняя характеристика не должна иметь резкого излома в точке  $\cos \varphi = 1$ .

Для АРВ синхронных компенсаторов определяется коэффициент  $\Delta$ , причем следует определить два значения  $\Delta$ : одно — для реактивной нагрузки, равной нулю, второе — по приведенной выше формуле, подставляя вместо  $U_{\cos\varphi=1}$  напряжение при токе ротора, равном нулю.

Динамические характеристики системы АРВ—возбудитель—генератор и сопоставление их с показателями динамической устойчивости генератора определяют при промышленных испытаниях первых образцов систем возбуждения или регуляторов. Из-за значительной трудоемкости работ при обычной наладке это, как правило, не производится, что оправдано тем больше, чем ближе генератор расположен к центру системы и чем меньше мощность генератора по отношению к мощности системы.

Быстродействие АРВ, как правило, не проверяется. В некоторых случаях для сравнительных оценок настройки регулятора определяют скорость нарастания напряжения ротора при снижении напряжения на входе канала напряжения статора с последующим восстановлением режима. Обычно это удобнее производить при работе генератора в сети.

Целесообразно оценивать поведение АРВ, осциллографируя динамические режимы системы генератор—АРВ в эксплуатационных условиях (синхронизация с отклонением напряжения на статоре от напряжения сети, сброс или наброс нагрузки, самозапуск или включение группы двигателей собственного расхода, перевод на другую систему шин и т. д.).

Устройство статизма регулятора стремятся вводить таким образом, чтобы в пределах изменения напряжения системы, не выходящих из величины  $\Delta$ , регулирование осуществлялось автоматически и при наборе активной нагрузки генератора уставка АРВ не изменялась.

## 9-2. НАЛАДКА РЕГУЛЯТОРОВ ТИПА УК С ЭМК

Наиболее распространенной панелью АРВ для турбогенераторов мощностью до 100 МВт включительно, является ЭПА-305, совмещающая в одной панели устройство компаундирования (УК), односистемный корректор напряжения (ЭМК) и устройство релейной форсировки возбуждения (РФ). На гидрогенераторах и синхронных компенсаторах применяются панели типа ЭПА-151, ЭПА-141 и ЭПА-161, ЭПА-142 и ЭПА-132, ЭПА-142 и ЭПА-162, ПРВ-401, представляющие собой УК и двухсистемные ЭМК совместно с устройствами релейной форсировки или расфорсировки (для гидрогенераторов).

На рис. 9-1 приведена схема УК с ЭМК панелей ЭПА-305, а на рис. 9-2 приведены результирующие выходные характеристики корректора для двух предельных значений установочного сопротивления  $SУ_3$ .

Схема панели ЭПА-151 (четвертый вариант) приведена на рис. 9-3, а результирующие характеристики двухсистемного корректора и характеристики отдельных его элементов приведены на рис. 9-4 и 9-5.

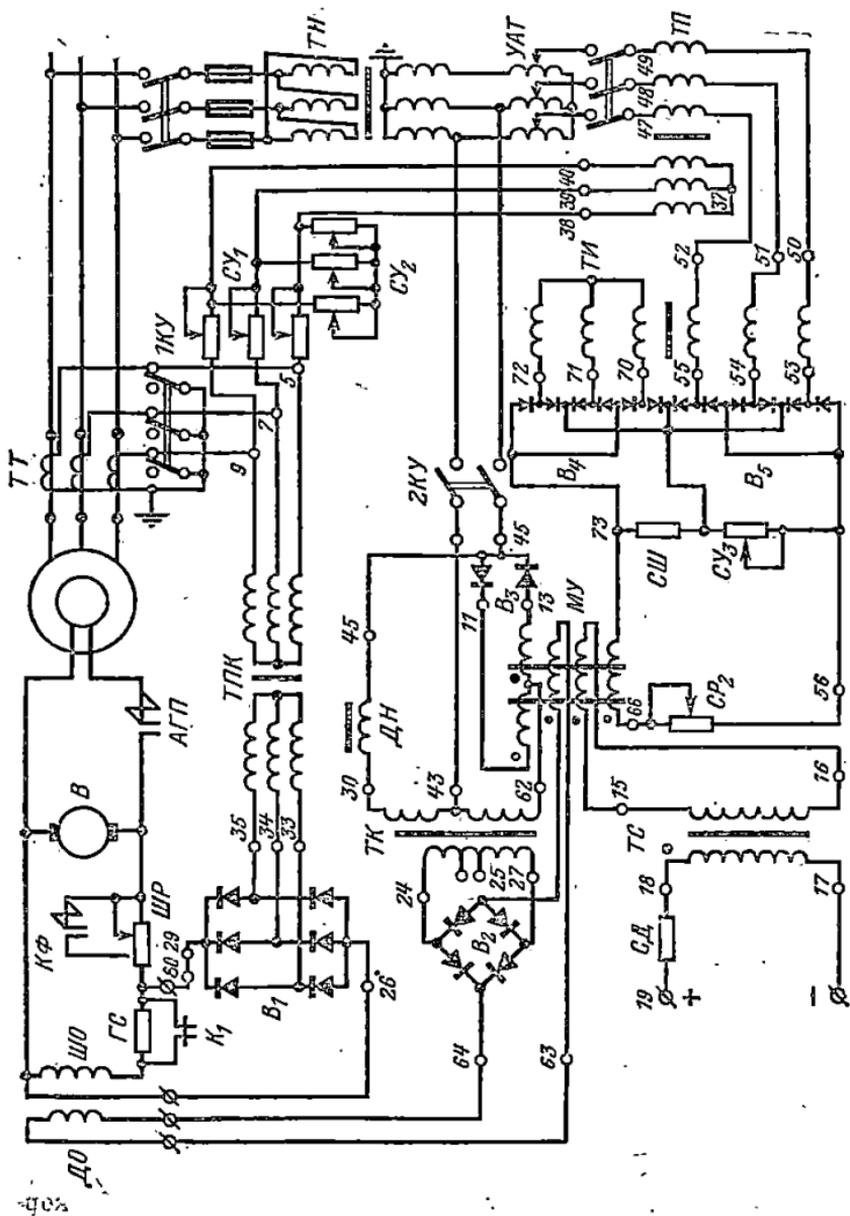


Рис. 9-1. Схема УК с ЭМК типа ЭПА-305.

Обычно УК включается на основную обмотку возбуждения, а ЭМК на дополнительную, но при наличии свободной дополнительной обмотки можно включить УК и на дополнительную обмотку,

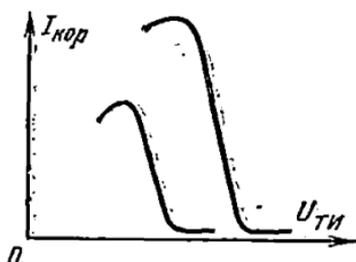


Рис. 9-2. Характеристики АРВ типа ЭПА-305 при двух предельных положениях сопротивления  $CY_3$ .

При этом, как правило, значительно уменьшается порог компаундирования и увеличивается устойчивость регулирования УК в зоне средних нагрузок (при отключенном ЭМК). Кроме того, часто умень-

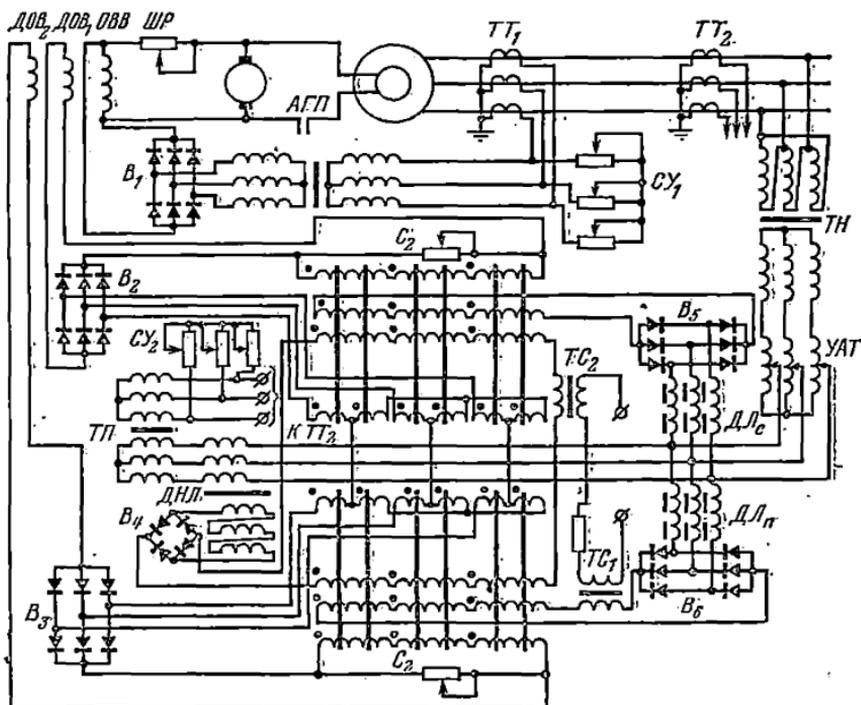


Рис. 9-3. Схема УК с ЭМК типа ЭПА-151.

шается нагрузка на трансформаторы тока, но, как правило, снижается степень форсировки от УК.

Регуляторы типа УК с ЭМК в большинстве случаев не обеспечивают двукратной форсировки возбуждения возбудителя. Они

дополняются устройством релейной форсировки возбуждения, которое после срабатывания (при понижении напряжения на статоре до 85% номинального) обеспечивает заданный потолок возбуждения.

Гидрогенераторы снабжаются, кроме того, устройством релейной расфорсировки возбуждителя при забросах напряжения генератора во время отключения генератора.

Технические данные элементов панели типа ЭПА-305 приведены в табл. 9-1—9-5\*), а панелей других типов в табл. 9-6 и 9-7.

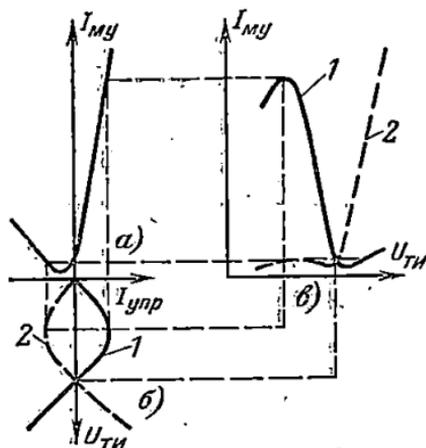


Рис. 9-4. Характеристики двухсистемного корректора.

*a* — характеристика магнитного усилителя; *b* — характеристика измерительного элемента; *в* — выходная характеристика корректора; 1 — согласованный корректор; 2 — противовключенный корректор.

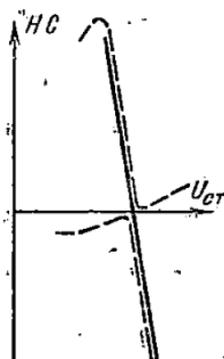


Рис. 9-5. Результирующая характеристика дополнительного потолка возбуждения от двухсистемного корректора.

Технические данные магнитных элементов ЛЭс, ЛЭд:

Число витков 815; провод ПЭЛБО или ПЭВ-2;  $\Phi$  10 мм; сопротивление 4 Ом при 20 °С.

Технические данные нелинейных элементов:

Тип НЭ-2. Первичная обмотка: провод ПЭЛ,  $\Phi$  35 мм, число витков 1 900, сопротивление 40 Ом при 20 °С. Вторичная обмотка: провод ПЭЛ,  $\Phi$  0,35 мм, число витков 300, сопротивление 6,5 Ом при 20 °С.

Тип ДН-21. Первичная обмотка  $H_1-K_1$ : провод ПЭЛ или ПЭВ,  $\Phi$  35 мм, число витков 950, сопротивление 18 Ом при 20 °С. Вторичная обмотка  $H_2-K_2$ : провод ПЭЛ или ПЭВ-2,  $\Phi$  35 мм, число витков 300, сопротивление 18 Ом при 20 °С.

\* Наименования и обозначения элементов, принятые в данном разделе, совпадают с обозначениями, принятыми заводом-изготовителем в заводской документации и надписях на панелях.

Таблица 9-1

Технические данные промежуточного трансформатора  
компанудирования ТПК типа ТС 1,5/0,5 (мощность 1500 кВ·А)

Схема соединения		Напряжение, В		Ток, А		Коэффициент трансформации	
ABC	abc	ABC	abc	ABC	abc	I	II
λ	λ	380	230	2,3	3,8	1,65	0,61
λ	Δ	380	133	2,3	6,6	2,85	0,35
Δ	λ	220	230	3,8	3,8	0,96	1,05
Δ	Δ	220	133	3,8	6,6	1,65	0,61

Таблица 9-2

Технические данные стабилизирующего трансформатора  
ТС типа ТС 72-60

Параметр	Зажимы первичной обмотки		Зажимы вторичной обмотки		
	AX <sub>2</sub>	AX <sub>1</sub>	ax <sub>0</sub>	ax <sub>2</sub>	ax <sub>1</sub>
Число витков	2 970	4 800	800	930	1 100
Сопротивление, Ом	150	250	8	10	12
Индуктивность, Гн	27—97		1,5—5		
Длительно допустимый ток, А	0,3		1,4		

Примечание. Технические данные измерительного трансформатора (типа ТИ-100) следующие: питание от ТН с линейным напряжением 173 В. Обмоточные данные первичной обмотки (внутренней):  $w = 380$ , ПЭЛВО,  $d = 0,86$  мм; вторичной обмотки (наружной):  $w = 61$ , ПЭЛВО,  $d = 0,86$  мм.

Таблица 9-3

Технические данные резисторов

Обозначение	Тип	R, Ом	I <sub>н</sub> , А
СУ1	РУ-33Б	0—25	4,0
СУ2	РШ-225	0—5	4,0
СУ3	РШ-300	8—50	2,2
СД	СДЗ-0,2	400—1 000	0,3

Таблица 9-4  
Технические данные магнитного усилителя МУ

Наименование и обозначение обмотки (рис. 9-6)	Провод	Диаметр провода, мм	Количество витков	Расположение обмоток
Переменного тока $H-K$	ПЭЛБО	1,45	350	Каждая на своем сердечнике
Переменного тока $H_1-K_1$	ПЭЛБО	1,45	350	
Стабилизации $H_{ст}-K_{ст}$	ПЭЛБО	0,86	700	Катушка охватывает оба сердечника. Обмотки расположены в порядке перечисления
Управления $H_y-K_y, H'_y-K'_y$	ПЭЛ	0,59	1 500 + 600	
Обратной связи	ПЭЛБО	1,56	2-6-9	

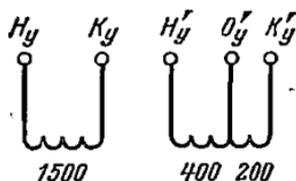


Рис. 9-6. Схема обмоток управления магнитного усилителя МУ.

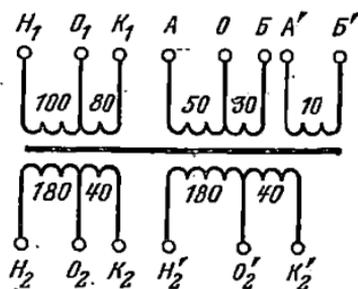


Рис. 9-7. Схема обмоток трансформатора ТК.

Таблица 9-5  
Технические данные трансформатора ТК

Наименование и обозначение обмотки (рис. 9-7)	Провод	Диаметр провода, мм	Количество витков	Количество обмоток
Первичная $H_1-K_1$	ПБД	2,4	180	1
Компенсационная $AB$	ПЭЛБО	1,0	80	1
Компенсационная $A'B'$	ПЭЛБО	1,0	10	1
Вторичный $H_2-K_2; H'_2-K'_2$	ПБД	1,81	220	2

Таблица 9-6

Технические данные промежуточных трансформаторов  
компаундирования ТПК типа ТС-2,5-0,5 панелей  
ЭПА-151 и ПРВ-401

Соединение обмоток	Напряжение, В	Ток, А	Возможные коэффициенты трансформации
$\lambda/\lambda$	380/230	3,8/6,3	1,65/0,605
$\lambda/\Delta$	380/130	3,8/10,9	2,85/0,35
$\Delta/\lambda$	220/230	6,6/6,3	1,05/0,95
$\Delta/\Delta$	220/133	6,6/10,0	1,65/0,605
$\lambda/\lambda$	150/70	9,6/20,6	2,15/0,465
$\lambda/\Delta$	150/40,5	9,7/35,7	3,7/0,27
$\Delta/\lambda$	87/70	16/20,6	1,25/0,805
$\Delta/\Delta$	87/40,5	16,6/35,7	2,15/0,465

Таблица 9-7

## Технические данные магнитных усилителей

Наименование и обозначение обмотки	Провод	Диаметр провода, мм	Сопротивление при 20 °С, Ом	Число витков
------------------------------------	--------	---------------------	-----------------------------	--------------

## Силовые усилители МУ-6 \*

Переменного тока $H_1-K_1; H'_1-K'_1$	ПЭЛБО	1,81	0,45	220
	или ПЭВ-2			
Управления $H_4-K_4$	ПЭЛ	1,45	2,14	300
	или ПЭВ-2			
Управления $H_3-K_3$	ПЭЛ	1,45	2,28	300
	или ПЭВ-2			
Обратной связи $K_2-O; 1-2-3;$ $4-5-K_2$	ПЭЛБО	1,81	0,45	50; 10 + 5;
	или ПЭВ-2			6 + 6

## Силовые усилители МУ-2 \*\*

Переменного тока $H_1-K_1; H_1-K_1$	ПВД	1,68—1,81	0,45	350
Управления $H_4-K_4$	ПВД	1,35—1,56	1,8	600
	ПВД	1,35—1,56	2,0	100
Обратной связи $H_2-O; 1-2-3-K_2$	ПВД	1,81	0,35	10 + 5 + 5

Продолжение табл. 9-7

Наименование и обозначение обмотки	Провод	Диаметр провода, мм	Сопротивление при 20° С, Ом	Число витков
------------------------------------	--------	---------------------	-----------------------------	--------------

## Промежуточные магнитные усилители МУ-3\*\*\*

Переменного тока $H_1-K_1; H_1-K_1$ Управления $H_3-K_3$	ПЭЛ	0,64	5,5	520
	или ПЭВ-2			
Стабилизации $H_4-K_4$ Обратной связи $H_2-1; 2-3-K_2$	ПЭЛ	0,44	16	350
	или ПЭВ-2			
	ПЭЛ	0,44	10	220
	или ПЭВ-2			
	ПЭЛ	1,0	1,2	105; 20+10
	или ПЭВ-2			

## Промежуточные магнитные усилители МУ-3I\*\*\*\*

Переменного тока $H_1-K_1; H_1-K_1$ Управления $H_3-K_3$	ПЭЛ	0,64	5,5	520
	или ПЭВ-2			
Стабилизации $H_4-K_4$ Обратной связи $H_2-O; 1-2-3-K_2$	ПЭЛ	0,44	18,5	400
	или ПЭВ-2			
	ПЭЛ	0,44	13	270
	или ПЭВ-2			
	ПЭЛ	1,0	1,5	100;
	или ПЭВ-2			10+5+5

\* Применяются на панелях ПРВ-401, ЭПА-162.

\*\* Применены на панелях ЭПА-132, ЭПА-151, ЭПА-162 (до 1962 г.), ПРВ-401 (до 1961 г.).

\*\*\* Применены на панелях ПРВ-401, ЭПА-162 (до 1961 г.).

\*\*\*\* Применяется на панели ЭПА-132.

Допустимые значения напряжений и токов селеновых выпрямителей на алюминиевой основе, применяемых для УК с ЭМК (данные приведены для одной пластины в плече выпрямителя  $n = 1$ ,  $m = 1$ ), следующие.

Для выпрямителей, выпущенных до введения новой маркировки (1961 г.) и имеющих маркировку, начинающуюся с буквы (например, АВС-39, АВС-56), длительно допустимое эффективное значение напряжения на входе выпрямителя равно:

$U_0 = 15$  В для однофазной мостовой схемы и  $U_0 = 13,5$  В для трехфазной мостовой схемы.

Для выпрямителей группы Ж (например, АВС-59Ж):  $U_0 = 26$  В для однофазной мостовой схемы и  $U_0 = 24$  В для трехфазной мостовой схемы.

Допустимые эффективные напряжения для выпрямителей, имеющих новую маркировку на один элемент, представлены в табл. 9-8.

Таблица 9-8

Класс выпрямителя, обозначенный первой буквой, следующей за цифрами	Эффективное напряжение на один элемент, В	
	заводское $U_0$	принимаемое для УК и ЭМК $U_{0.н}$
В	20	15
Г	25	20
Д	30	24
Е	35	28

Новая маркировка (например, 100ГД24А) расшифровывается следующим образом: 100 — квадратные 100×100 мм, Г — допустимое напряжение 25 В на элемент, Д — двухплечий; 24 — количество элементов в столбике, А — серия выпрямителей на алюминиевой основе.

В режиме форсировки допускается

$$U_{0.ф} = 2U_{0.н}$$

Допустимые токи выпрямителя представлены в табл. 9-9.

Таблица 9-9

Размер пластин, мм	Схема мостовая	Ток, А	
		длительно допустимый заводом	принимаемый для УК с ЭМК
100×100	Однофазная	4,0 <i>m</i> *	2,7 <i>m</i> *
100×100	Трехфазная	6,0 <i>m</i>	4,0 <i>m</i>
90×90	Однофазная	3,0 <i>m</i>	2,0 <i>m</i>
90×90	Трехфазная	4,5 <i>m</i>	3,0 <i>m</i>
40×40	Однофазная	0,6 <i>m</i>	0,4 <i>m</i>
40×40	Трехфазная	0,9 <i>m</i>	0,6 <i>m</i>

\* *m* — число параллельных ветвей в плече выпрямителя. В режиме форсировки допускается  $I_{доп. ф} = 5I_{н}$ .

**Расчет параметров.** При расчетах достаточно определить параметры УК  $N_k$  и  $R_{y.c.}$ , обеспечивающие «нормальное» компаундирование при условии, что генератор работает в номинальном режиме, ЭМК — отключен, а шунтовой реостат находится в положении, обеспечивающем номинальное напряжение статора в режиме холостого хода генератора.

Расчет удобнее вести в табличной форме, используя реальные характеристики возбудителя и выпрямителя УК. По условиям рас-

чета выбирают ближайший  $N_K$ , при котором удовлетворяются условия

$$R_{y.c} \leq 0,8 R_{y.c. \text{ макс}} \text{ и } I_{\text{ст.пор}} \leq 0,5 I_{\text{ст.н}}$$

Порядок расчета и расчетные формулы представлены в табл. 9-10. Условные обозначения, принятые в табл. 9-10, соответствуют при-

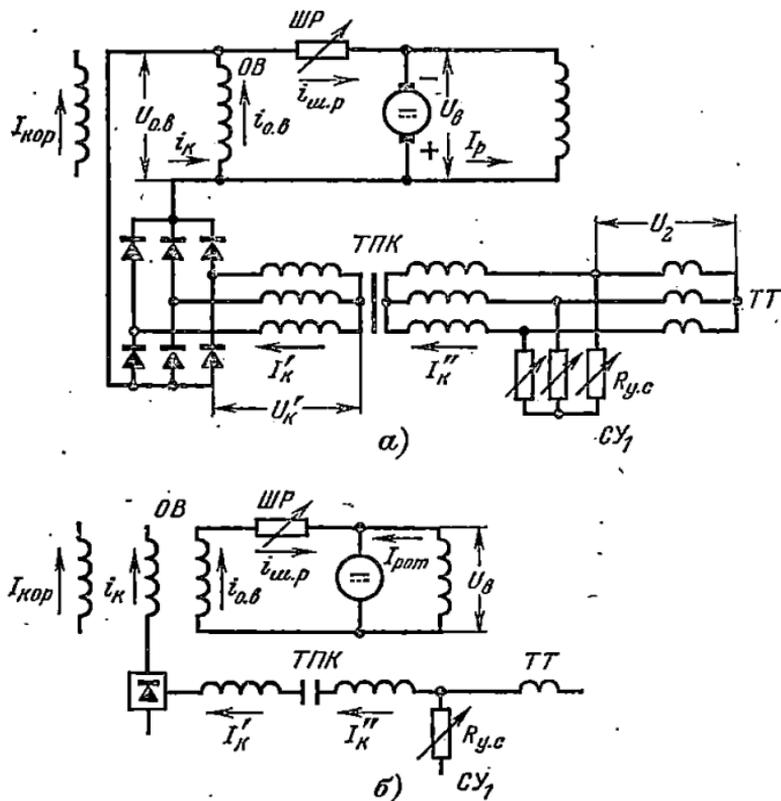


Рис. 9-8. Расчетная схема УК с ЭМК.

а — УК включено на основную обмотку возбудителя; б — УК включено на дополнительную обмотку возбудителя.

пятым для расчетной схемы на рис. 9-8. Более детальные сведения о расчете параметров приведены в [Л. 50].

Допустимые ток и напряжение элементов схемы УК не должны превышать расчетные. При работе релейной форсировки и включения УК на основную обмотку должно быть:

$$\frac{U_{0.в. \Phi}}{2n} \leq (1,2 \div 1,5) U_{0.н}$$

Таблица 9-10

Наименование величины	Расчетные формулы	
Сопротивление ротора в режиме холостого хода	$R_{\text{рот. х. х}} \approx 1,25R_{\text{рот } 15^\circ \text{ C}}$ (1)	
Ток ротора в режиме холостого хода	$I_{\text{рот. х. х}}$ — соответствует $U_{\text{ст. н}}$ по характеристике холостого хода генератора (2)	
Напряжение возбуждителя при холостом ходе генератора	$U_{\text{в. х. х}} = I_{\text{рот. х. х}} R_{\text{рот. х. х}}$ (3)	
Сопротивление основной обмотки возбуждения	$R_{\text{о. в}} \approx 1,5R_{\text{о. в } 15^\circ \text{ C}}$ (4)	
Ток возбуждения возбуждителя	$i_{\text{в. х. х}}$ соответствует $U_{\text{в. х. х}}$ по нагрузочной характеристике возбуждителя (5)	
Сопротивление шунтового реостата	$R_{\text{ш. р. х. х}} = \frac{U_{\text{в. х. х}}}{i_{\text{в. х. х}}} - R_{\text{о. в}}$ (6)	
Сопротивление ротора в номинальном режиме	$R_{\text{рот}} \approx 1,4R_{\text{рот } 15^\circ \text{ C}}$ (7)	
Напряжение возбуждителя	$U_{\text{в. н}} = I_{\text{рот. н}} R_{\text{рот}}$ (8)	
Ток возбуждения	$i_{\text{в. н}}$ — соответствует $U_{\text{в. н}}$ по нагрузочной характеристике возбуждителя (9)	
	Схема «а»	Схема «б»
Напряжение основной обмотки возбуждителя	$U_{\text{о. в. н}} = i_{\text{в. н}} R_{\text{о. в}}$ (10а)	$U_{\text{о. в. н}} = \frac{U_{\text{в. н}} R_{\text{о. в}}}{R_{\text{ш. р. х. х}} + R_{\text{о. в}}}$ (10б)

Продолжение табл. 9-10

Наименование величины	Расчетные формулы	
Ток в цепи ШР	$i_{\text{ш. р. н}} = \frac{U_{\text{в. н.}} - U_{\text{о. в. н.}}}{R_{\text{ш. р. х. х}}} \quad (11a)$	$i_{\text{ш. р. н}} = i_{\text{о. в. н.}} = \frac{U_{\text{в. н.}}}{R_{\text{ш. р. х. х}} + R_{\text{о. в.}}} \quad (11b)$
Ток компаундирования, необходимый для поддержания номинального режима	$i_{\text{к. н.}} = i_{\text{в. н.}} - i_{\text{ш. р. н}} \quad (12a)$	$i_{\text{к. н.}} = (i_{\text{в. н.}} - i_{\text{ш. р. н.}}) \frac{W_{\text{о.}}}{W_{\text{к.}}} \quad (12b)$
Переменный ток УК на входе выпрямителя	$I_{\text{к. н.}} = \frac{i_{\text{к. н.}}}{\beta_i}; \quad \beta_i = 1, 2. \quad (13)$	
Фазное напряжение на входе выпрямителя	$U'_{\text{к. н.}} = \frac{U_{\text{о. в. н.}}}{2,34} + \frac{\Delta U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \quad (14a)$	$U'_{\text{к. н.}} = \frac{i_{\text{к. н.}} R_{\text{л}}}{2,34} + \frac{\Delta U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \quad (14b)$
Вторичный ток трансформатора тока в номинальном режиме	$I_{2\text{н.}} = \frac{I_{\text{ст. н.}}}{n_{\text{т. т}}} \quad (15)$	
Максимальное значение $N_{\text{к.}}$ обеспечивающего «нормальное» компаундирование	$N_{\text{к. макс}} = \frac{I_{2\text{н.}}}{I_{\text{к. н.}}} \quad (16)$	
Ток в первичной обмотке трансформатора ТПК	$I_{\text{к.}}^* = I_{\text{к. н.}}^* N_{\text{к.}} \quad (17)$	
Напряжение на вторичной обмотке трансформатора тока в номинальном режиме	$U_{2\text{н.}} = \frac{U'_{\text{к. н.}} + I_{\text{к. н.}} z_{\text{ф}}}{N_{\text{к.}}} \quad (18)$	

Продолжение табл. 9-10

Наименование величины	Расчетные формулы
Ток в установочном сопротивлении СУ <sub>1</sub>	$I_y = I_{2н} - I''_{к.н}$ (19)
Сопротивление фазы СУ <sub>1</sub>	$R_{y.c} = \frac{U_{2н}}{I_y}$ (20)
Порог компаундирования	$I_{ст.пор} = \frac{\left( \frac{i_{в.х.х} R_{о.в}}{2,34} + \frac{\Delta U_{л.о}}{\sqrt{3}} \right) n_{т.т}}{N_k R_{y.c}}$ (21)

Примечание. При необходимости определить нагрузку на ТТ в другом режиме при заданных  $N_k$ ;  $R_{y.c}$ ;  $R_{ш.р}$ , или построении кривых  $I_{рот} = f(I_{ст})$  последовательно используют формулы (7) — (14), (17) — (19) и, учитывая, что  $I_2 = I''_k + I_y$ , находят  $I_{ст}$ , соответствующий заданному  $I_{рот}$ .

При недостаточном опыте наладки целесообразно определить кривые  $I_{рот} = f(I_{ст})$  при неизменных токах корректора  $I_{кор.мин}$  и  $I_{кор.макс}$  и сопоставить их с U-образными кривыми генератора. Это позволяет более наглядно оценить взаимосвязь между выбранными параметрами и облегчает наладку АРВ, особенно, если АРВ приходится включать при неполной нагрузке генератора по активной мощности.

При включении односистемного ЭМК сопротивление шунтового реостата (ШР) увеличивают так, чтобы ток корректора, приведенный к основной обмотке, составлял 30—70% тока холостого хода возбuditеля  $i_{в.х.х}$ .

При решении вопроса о предельной мощности, отдаваемой трансформаторами тока, используют их кривую намагничивания  $U_2 = f(i_2)$ . Насыщение трансформаторов тока наступает, как только напряжение на вторичной стороне (определяемое расчетом УК или опытным путем) достигнет точки перегиба.

Зона работы ЭМК совместно с УК без перегрузки корректора определяется по формулам табл. 9-11. При двухсистемном корректоре  $R_{ш.р} = R_{ш.р.х.х}$ . При односистемном корректоре  $R_{ш.р} > R_{ш.р.х.х}$  и определяется по формуле

$$R_{ш.р.р} = \frac{U_{в.х.х}}{i_{в.х.х} - i_{кор.х.х} \frac{\omega_{п}}{\omega_0}} - R_{о.в.}$$

При этом:

- а) обычно  $R_{ш.р.р}$  выбирают таким, чтобы обеспечить  $(0,7 \div 0,8) U_{ст.в}$  в режиме холостого хода и в отключенном ЭМК;

б)  $I_{кор.х.х} \geq 0,8 \text{ А}$ .

Таблица 9-11

Наименование величин	Расчетные формулы	
Ток ротора	$I_{рот}$ задается для расчетного режима генератора	
Напряжение возбуждителя	$U_B = I_{рот} R_{рот}$	
Ток возбуждения, необходимый для обеспечения режима	$i_B$ определяется по нагрузочной характеристике возбуждителя для $U_B$	
Ток корректора	$I_{кор}$ определяется по характеристикам панели	
Ток корректора, приведенный к основной обмотке	$I'_{кор} = I_{кор} \frac{w_{II}}{w_0}$	
Ток в цепи шунтового реостата	схема «а» $i_{ш.р.} = \frac{U_B - (i_B - I'_{кор}) R_{о.в.}}{R_{ш.р.р}}$	схема «б» $i_{ш.р.} = \frac{U_B}{R_{ш.р.р} + R_{о.в.}}$
Ток компаундирования, приведенный к основной обмотке, который должен обеспечить УК для поддержания расчетного $I_{рот}$	$i_K = i_B - [I'_{кор} + i_{ш.р.}]$	$i'_K = i_B - (I'_{кор} + i_{ш.р.})$

Далее расчет ведут по формулам (12)—(14), (17)—(19) табл. 9-10 и определяют  $I_{ст}$  для каждого значения  $I_{рот}$ . Значение  $i_K \leq 0$  означает, что заданный режим может быть обеспечен при отключенном УК.

Полученные кривые  $I_{рот} = f(I_{ст})$  сопоставляются с зоной рабочих режимов генератора, лежащей между регулировочными кривыми

выми генератора, которые могут быть рассчитаны по формулам

$$I_{\text{рот.}} = I_{\text{рот. х. х}} \sqrt{\left(\frac{U_{\text{ст}}}{U_{\text{ст. н}}}\right)^2 + \left(\cos \varphi_{\text{н}} X_d \frac{P_{\text{а}}}{P_{\text{н}}}\right)^2}, \text{ для } \cos \varphi = 1;$$

$$I_{\text{рот.}} = I_{\text{рот. х. х}} \left(\frac{U_{\text{ст}}}{U_{\text{ст. н}}} + \frac{I_{\text{ст}}}{I_{\text{ст. н}}} X_d\right) \text{ для } \cos \varphi = 0.$$

Иногда расчет заменяют непосредственным определением токов регулятора при работе генератора в сети. Можно пользоваться так называемым «методом эквивалентного корректора», предложенным

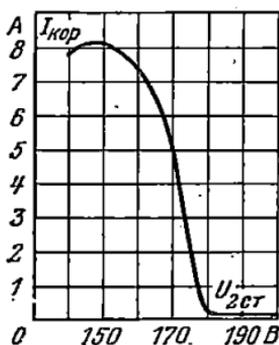


Рис. 9-9.

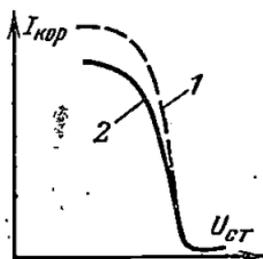


Рис. 9-10.

Рис. 9-9. Типовая характеристика ЭМК типа ЭПА-305.

Рис. 9-10. Влияние сопротивления  $CP_2$  на характеристику корректора ЭПА-305.

1 — типовая характеристика; 2 — сопротивление  $CP_2$  максимальное.

ОРГРЭС. По этому методу в дополнительную обмотку возбуждения возбудителя, предназначенную для корректора, подается питание от постороннего источника постоянного тока таким образом, чтобы при соответствующей активной нагрузке генератора создавались номинальный режим и режим работы с максимальным и минимальным  $\cos \varphi$ , допустимыми по условиям эксплуатации. Компаундирование при этом должно быть включено с теми же уставками, как и при работе с корректором. Режим работы генератора изменяется путем изменения возбуждения параллельно работающим с ним генераторов.

Проверка характеристик регулятора. Окончательно характеристики выбирают после испытания АРВ на генераторе при работе в режиме холостого хода.

На рис. 9-9—9-13 приведены типовая характеристика и характеристики, получающиеся при изменении определенных элементов настройки панели типа ЭПА-305. Аналогичные характеристики определяются и для других панелей.

Подробное описание методики проверки и регулировки параметров характеристик приведено в [Л. 50]. Стремится во всех слу-

чаях получить возможно больший максимальный ток регулятора, но он должен быть ограничен параметрами нагрузки и условиями устойчивой работы АРВ с генератором.

Для двухсистемных ЭМК следует правильно согласовать характеристики согласованной и противовключенной части. Стремится получить токи выхода каждой из частей одинаковыми и не более 0,5—0,8 А при номинальном напряжении на входе ЭМК (рис. 9-14).

Испытание АРВ при работе с генератором или СК. Объем дальнейших работ по определению характеристик АРВ и генератора описан в § 9-1. Подробная методика приведена в [Л. 50].

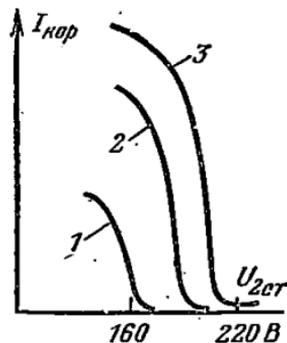


Рис. 9-11.

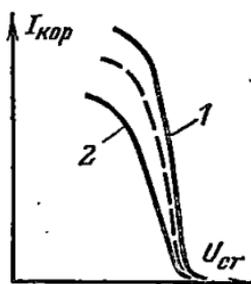


Рис. 9-12.

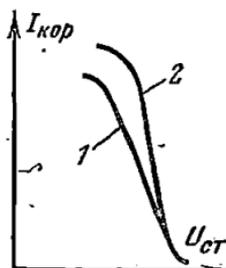


Рис. 9-13.

Рис. 9-11. Влияние сопротивления  $CU_3$  на характеристику корректора ЭПА-305.

1 —  $R = 50$  Ом; 2 —  $R = 20$  Ом; 3 —  $R = 9$  Ом.

Рис. 9-12. Влияние полярности внешней обратной связи на характеристику корректора ЭПА-305.

1 — согласованное включение внешней и внутренней обратной связи; 2 — встречное включение внешней и внутренней обратной связи.

Рис. 9-13. Влияние числа витков обмотки управления на характеристику корректора ЭПА-305.

1 — 1 500 витков; 2 — 2 100 витков.

Обычный порядок дальнейших испытаний УК с ЭМК следующий.

На генераторе в режиме холостого хода производят пробное включение ЭМК, при этом обеспечивается устойчивость регулирования. Дальше определяются пределы регулирования и выходная характеристика ЭМК при работе в полной схеме путем изменения сопротивления ШР при включенном АРВ.

На генераторе, работающем в сети, производится:

- 1) пробное включение и выбор уставки УК;
- 2) проверка устойчивости регулирования УК без ЭМК;
- 3) проверка устройства изменения статизма;
- 4) проверка пределов и устойчивости регулирования возбуждения УК с ЭМК при различных нагрузках генератора;
- 5) определение внешних характеристик генератора с АРВ.

При включении ЭМК на синхронном компенсаторе методика и объем проверки такие же, как и для генератора. Как правило, устойчивость регулирования достигается легко, так как в этих случаях статор замкнут на сеть.

В случае применения на синхронном компенсаторе двухсистемного корректора должны быть выполнены следующие условия:

1) при ручном регулировании возбуждения с помощью ЭМК ток ротора должен изменяться от нуля до величины, обеспечивающей номинальную мощность синхронного компенсатора при 110% номинального напряжения;

2) при повышении напряжения статора возбудитель не должен перематниваться током противовключенной части.

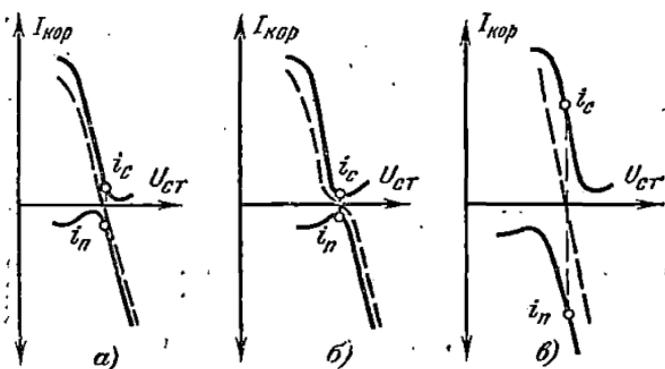


Рис. 9-14. Правильное и неправильное расположение характеристик двухсистемного корректора.

а — правильное расположение; б — слишком близкое расположение; в — слишком далекое расположение.

При работе УК без ЭМК снизить ток ротора синхронного компенсатора ниже тока холостого хода можно только с помощью реостата ШР.

В общем случае регулятор синхронного компенсатора следует настраивать в соответствии с заданным эксплуатационным условием длительного режима.

При использовании синхронного компенсатора для регулирования напряжения на шинах подстанции внешнюю характеристику  $U_{\text{шин}} = f(I_{\text{ст}})$  следует выполнять с коэффициентом статизма 0—3%.

Шунтовой реостат остается в положении, обеспечивающем ток ротора, равный 30—50% тока ротора при холостом ходе. Совместной настройкой УК и ЭМК обеспечивают необходимую величину статизма. Не всегда представляется возможным изменить напряжение на шинах подстанции или на статоре синхронного компенсатора. В этом случае характер зависимости  $U_{\text{шин}} = f(I_{\text{ст}})$  определяется при изменении напряжения в зависимости от колебания нагрузок в системе при неизменном положении установочных реостатов.

Устойчивость АРВ в режиме холостого хода генератора обеспечивают, включая трансформатор стабилизации ТС, причем следует опробовать несколько вариантов включения обмоток и дополнительного сопротивления.

При продолжающемся неустойчивом режиме уменьшают наклон результирующей характеристики, вводя сопротивление  $CR_2$ , увеличивая отрицательную обратную связь и уменьшая число витков обмотки управления.

В некоторых случаях, если устойчивой работы не удастся добиться из-за большого сопротивления цепей от трансформатора напряжения, разделяют цепи измерительного и силового элемента (объединение их происходит непосредственно у ТН).

Устройство статизма ЭМК вводят таким образом, чтобы после того как будет установлен установочный трансформатор (УАТ) в положение, соответствующее номинальному напряжению статора в режиме холостого хода (отметка Р), уставка вручную не изменялась во время набора активной мощности и дальнейшей работы (если по условиям работы системы уровень напряжения не меняется больше чем на величину  $\Delta$ ). При этом распределение реактивных нагрузок параллельно работающих генераторов с АРВ должно быть устойчивым и равномерным.

### 9-3. НАЛАДКА РЕГУЛЯТОРОВ ТИПА «УПРАВЛЯЕМОЕ ФАЗОВОЕ КОМПАУНДИРОВАНИЕ»

Регулятор представляет собой регулятор смешанного типа, осуществляющий регулирование по току статора и коэффициенту мощности генератора с коррекцией по отклонению напряжения статора.

В настоящее время на турбогенераторах применяется панель типа РВА-62, схема которой приведена на рис. 9-15.

Для гидрогенераторов предусмотрена возможность одновременного включения двух панелей РВА-62. На маломощных генераторах низкого и высокого напряжения применяется панель типа РНА-60, отличающаяся от РВА-62 только конструктивно. Ранние выпуски панелей фазового компаундирования имели индекс УБК.

Фазы напряжения и тока в первичных обмотках УТП регулятора выбираются таким образом, чтобы при уменьшения cos  $\phi$  нагрузки увеличивалась э. д. с. вторичной обмотки, а следовательно, и ток регулятора (табл. 9-12).

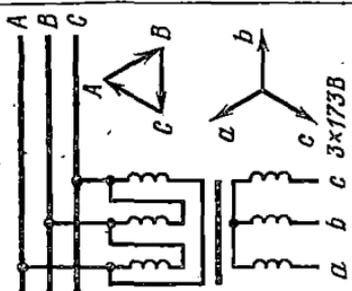
Технические данные регулятора представлены в табл. 9-13—9-15. Схемы соединений внутри отдельных элементов приведены на рис. 9-16—9-20. Обозначения элементов и выводов обмоток совпадают с принятыми в заводской документации.

Максимальный потребляемый ток от трехфазной группы трансформаторов напряжения при  $C_K = 20$  мФ не превышает в двух фазах 4,0 А, в третьей фазе 1,0 А.

Напряжение на трансформаторах тока при максимальной мощности регулятора 200 В (максимальная мощность равна 650 Вт).



Таблица 9-12

Фазы подключения трансформаторов тока и питания АТ		Трансформаторы тока и питания АТ		
Схема соединения трансформаторов напряжения	Трансформаторы тока в двух фазах (на разность токов)	Фазы подключения ТТ	Фазы питания АТ	
 <p>Схема соединения трансформаторов напряжения</p>	<p>Фазы подключения трансформаторов тока в двух фазах (на разность токов)</p>	<p>Фазы подключения ТТ</p>	<p>Фазы питания АТ</p>	
	<p>А и В</p>	<p>са (ba)</p>	<p>А + В - С</p>	<p>cb</p>
	<p>В и С</p>	<p>ab (cb)</p>	<p>В + С - А</p>	<p>ac</p>
<p>С и А</p>	<p>bc (ac)</p>	<p>С + А - В</p>	<p>ba</p>	

Продолжение табл. 9-12

Фазы подключения трансформаторов тока и питания АТ		Фазы подключения трансформаторов тока и питания АТ		Фазы подключения трансформаторов тока и питания АТ	
Схема соединения трансформаторов напряжения		Трансформаторы тока в двух фазах (на разность токов)		Трансформаторы тока в трех фазах	
Фазы подключения ТТ	Фазы питания АТ	Фазы подключения ТТ	Фазы питания АТ	Фазы подключения ТТ	Фазы питания АТ
	A и B	ab (cb)	A + B - C	Включение одного ТН для питания ТИ  Включение двух ТН для питания АТ и МУ  AC (BC) BA (CA) CB (AB)	
	B и C	bc (ac)	B + C - A		Включение одного ТН для питания ТИ  Включение двух ТН для питания АТ и МУ  BC (CA) CB (AB) BA (BC)
	C и A	ca (ba)	C + A - B		Включение одного ТН для питания ТИ  Включение двух ТН для питания АТ и МУ  CA (BA) AB (CB) BC (CA)
	A и B B и C C и A	Включение двух ТН для питания силовой цепи АТ и МУ  AB BC CA	A + B - C B + C - A C + A - B	Включение одного ТН для питания ТИ  CA AB BC	Включение одного ТН для питания ТИ  AC (BC) BA (CA) CB (AB)

Таблица 9-13

## Технические характеристики регулятора

Модификация	Выходные параметры		Данные выпрямителя ВС		Максимально допустимое напряжение при релейной форсировке
	$U_{\text{нн}}$ , В	$I_{\text{нн}}$ , А	$n$	$m$	
I	70	9,0	6	4	250
II	140	4,5	12	2	500

Примечание. Длительно допустимые токи в различных цепях регулятора: в дросселе ДФ 2,7 А; во вторичной обмотке АТ 2,0 А; в обмотке управления УТП 1,2 А.

Таблица 9-14

## Технические данные УТП

Наименование обмотки	Обозначение	Число витков	Марки провода
Обмотка управления $w_y$	$П_1$ $П_2$	$4 \times 375$ $4 \times 375$	ПЭВ-2 $\phi 0,9$
Первичная последовательная обмотка $w_1$ (для ТТ)	$П_3$ $П_4$ $П_5$ $П_6$	75 25 75 25	ПЭВ-2 $\phi 1,81 \times 2$
Первичная параллельная обмотка $w_{II}$ (для ТН)	$П_7$ $П_8$	280 80	ПЭВ-2 $\phi 1,25$
Вторичная обмотка $w_2$	$П_9$ $П_{10}$ $П_{11}$ $П_{12}$	$15 + 10$ 85 $15 + 10$ 85	ПЭВ-2 $\phi 1,81$

Технические данные дросселя ДФ:  
 Для обмотки  $\Pi_1$   $w = 600$ , обмотки  $\Pi_2$   $w = 100$ , обмотки  $\Pi_3$   $w = 50$ ,  
 Технические данные автотрансформатора:  
 Для обмотки  $\Pi_1$   $w = 380$ , обмотки  $\Pi_2$   $w = 360 + 110$ .  
 Технические данные компенсационных конденсаторов  $C_K$ :  
 Для конденсаторов типа СМ-0,65  $C = 5$  мФ,  $U_{раб} = 650$  В.

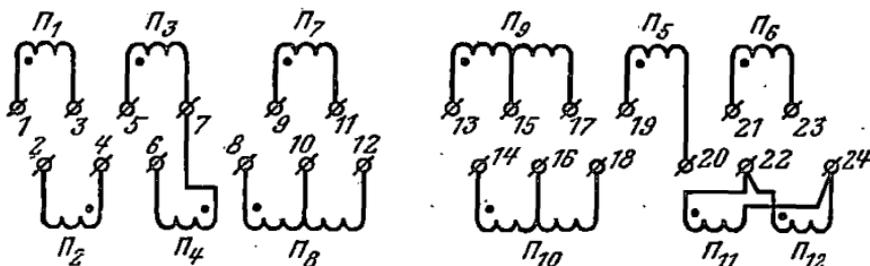


Рис. 9-17. Схема обмоток МУ регулятора РВА-62.

Технические данные фильтровых конденсаторов  $C_F$ :  
 Для конденсаторов типа ЭГЦ-а  $\frac{450}{20}$   $C = 20$  мФ,  $U_{раб} = 450$  В.

Схемы переключений обмоток элементов панели приведены на рис. 9-20, а — е.

Расчет параметров. Пользуясь формулами (1)–(12), приведенными в табл. 9-10, определяют величину сопротивления шунтового реостата  $R_{ш.р.}$ , необходимую для обеспечения  $0,8 U_{ст.н}$  в режиме холостого хода генератора. Затем определяют ток и напряжение регулятора, необходимые для обеспечения режима холостого хода и номинальной нагрузки генератора.

Модификация регулятора выбирается по условиям

Рис. 9-18. Схема обмоток ТИ регулятора РВА-62.

$$U_{р.н} \leq 0,8 U_{\dots};$$

$$I_{р.н} \leq 0,1 I_{\dots}$$

где  $U_{\dots}$  и  $I_{\dots}$  — выходные параметры модификации в соответствии с табл. 9-12.

Отношение витков токовой  $w_1$ , вторичной  $w_2$  и параллельной  $w_n$  обмоток определяются следующими соотношениями:

$$AK_p = \frac{I_{р.н} K_p}{I_2 \alpha \beta_i} \leq \frac{w_1}{w_2} \leq \frac{U_{доп.т.т}}{\left(\frac{U_{р.н}}{\beta_u} + \Delta U\right) K_a} = \frac{B}{K_3}$$

или при  $K_3 = K_p$  допустимо и другое соотношение:

$$\frac{w_1}{w_2} \approx \sqrt{A \cdot B} = \sqrt{\frac{U_{\text{доп.т.т}} I_{p.n}}{\left(\frac{U_{p.n}}{\beta_u} + \Delta U\right) I_2 \alpha \beta_i}}$$

здесь  $I_2$  — вторичный ток трансформаторов тока;  $\alpha$  — коэффициент, характеризующий схему соединений трансформаторов тока ( $\alpha = 1$  — один трансформатор,  $\alpha = 1,73$  — два трансформатора, включенные на разность фаз,  $\alpha = 2,0$  — трансформаторы тока в трех фазах);  $U_{\text{доп.т.т}} = 0,8U_1$  — допустимое напряжение на трансформаторах тока ( $U_1$  — напряжение насыщения);  $\beta_i = \beta_u = 0,85$  — коэффициенты выпрямления по току и напряжению двухфазной

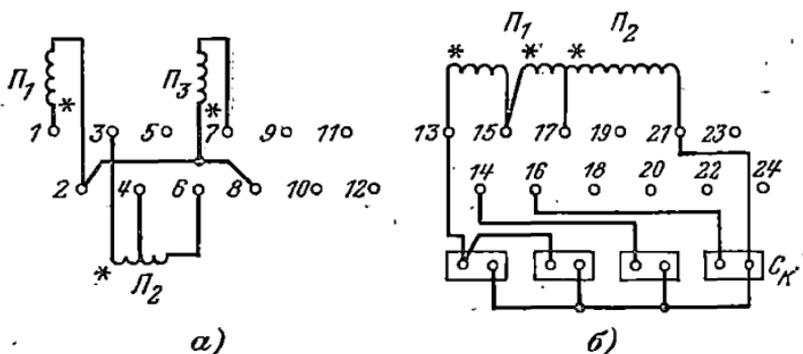


Рис. 9-19. Схема обмоток ДФ (а) и АТ (б) регулятора РВА-62.

мостовой схемы;  $\Delta U$  — падение напряжения на вентilyах в номинальном режиме (10—30 В).

Для выбранного соотношения  $w_1/w_2$  проверяется: коэффициент регулирующей способности АРВ

$$K_p = \frac{I_{\text{н}}}{I_{p.n}} = \frac{w_1}{w_2 A};$$

запас мощности трансформаторов тока

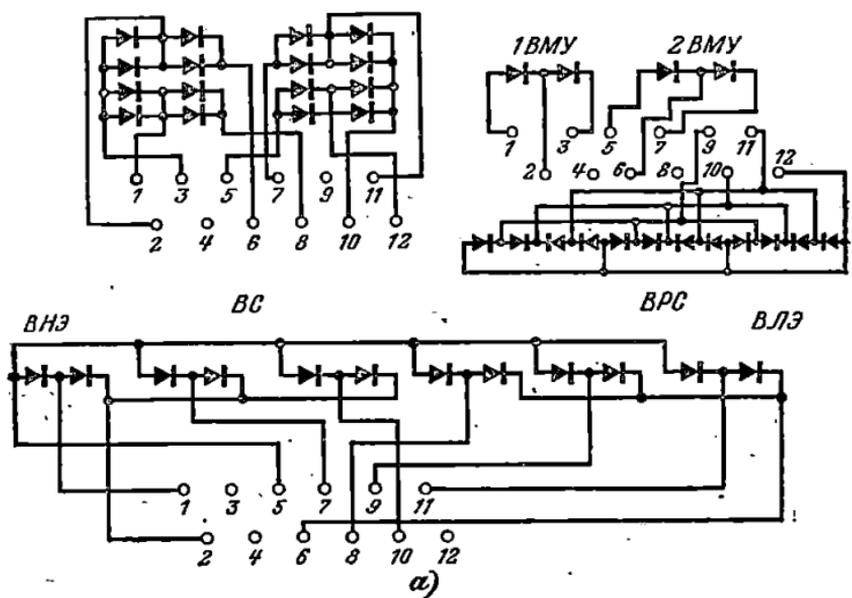
$$K_3 = \frac{U_{\text{доп.т.т}}}{U_{\text{т.т.н}}} = \frac{B w_1}{w_2}.$$

Число витков параллельной обмотки

$$w_n = (3 \div 6) I_{p.n} x w_2.$$

Параметры цепей напряжения подбираются экспериментально. При напряжении на АТ, равном  $U_{\text{т.т.н}}$  в номинальном режиме (100 В или 182 В), ток выхода регулятора при отсутствии подмагничивания должен быть примерно равен  $5I_{p.n}$ . Ток и напряжение на дросселе не должны быть больше 2,7 А и 0,5 В соответственно.

Методика выбора параметров, рекомендуемая заводом-изготовителем РВА-62, приведена в заводской инструкции [Л, 51].



Расположение подходящих проводов и перемычек на наборе зажимов ВС	Число параллельно включенных пластин в плече выпрямителя $m$	Число последовательно включенных пластин в плече выпрямителя $n$	Допустимое напряжение на выходе выпрямителя, В	Допустимый ток на выходе выпрямителя, А
	2	16	140	4,5
	4	8	70	9

б)

Рис. 9-20. Схемы выводов выпрямителей и таблиц.  
а — схемы ВС, ВРС, 1ВМУ, 2ВМУ, ВНЭ, ВЛЭ; б — таблица переключе

Первичная обмотка УТП- $\omega_1$		Параллельная обмотка УТП- $\omega_H$	
Количество витков	Расположение подходящих проводов и перемычек	Количество витков	Расположение подходящих проводов и перемычек
200		360	
175		280	
150		200	
125		80	
100			
75			
50			

6)

цы переключений элементов регулятора РВА-62.

ний: ВС;е — таблица переключений обмоток  $\omega_1$  и  $\omega_H$  трансформатора УТП;

Ток выхода регулятора до 9 А		Ток выхода регулятора до 4,5 А	
Количество витков	Расположение подходящих прово- дов и перемычек	Количество витков	Расположение подходящих прово- дов и перемычек
110		220	
100		210	
95		205	
85		200	
75		195	
70		190	
60		185	
		180	
		175	
		170	
		165	
		160	

Рис. 9-20

а — таблица переключений

Ток выхода регулятора до 4,5 А			
Количество витков	Расположение подходящих прово- дов и перемычек	Коли- чество витков	Расположение подходящих прово- дов и перемычек
155		95	
150		90	
145		85	
140		80	
135		75	
130		70	
125		65	
120		60	
115		55	
110		50	
105		45	
100		40	

а)

(продолжение)

вторичной обмотки  $w_2$  УТП;

Количество витков	Расположение подходящих прово- дов и перемычек	Количество витков	Расположение подходящих прово- дов и перемычек
750		575	
725		550	
700		525	
675		500	
650		475	
625		450	
600			

д)

Рис. 9-20

д — таблица переключений секций обмоток ДФ; е — таблица

Внешняя обратная связь						
От тока, выходя МУ		От тока регулятора				
Количество витков	Расположение подходящих проводов и перемычек	Количество витков	Расположение подходящих проводов и перемычек			
Допустимый ток до 12 А	45		Ток регулятора до 9 А	8		
	35			5		
	30			3		
	25			0		
	20			Ток регулятора до 4,5 А	16	
	15				13	
	10				10	
	5				8	
	0				5	
					3	
		2				
		0				

е)

(продолжение)

переключений секций обмоток внешней обратной связи МУ.

Таблица 9-15  
Технические данные магнитного усилителя МУ

Индекс	Наименование	Обозначение обмотки	Число витков	Марка провода	
ОПТ	Обмотки переменного тока	$P_1$ $P_2$	800 800	{ ПЭВ-2, $\Phi$ 0,69	
10 УМУ	Обмотка линейного элемента	$P_3$	500	{ ПЭВ-2, $\Phi$ 0,41	
20 УМУ	Обмотка нелинейного элемента	$P_4$	500		
30 УМУ	Обмотки обратной связи	внешней связи	$P_5$	200	{ ПЭВ-2, $\Phi$ 0,8
			$P_6$	100	
40 УМУ	по току выходного корректора	$P_7$	10	{ ПЭВ-2, $\Phi$ 0,8	
		$P_8$	35		
50 УМУ	по току выхода регулятора	$P_9$	8	{ ПЭВ-2, $\Phi$ 1,5	
		$P_{10}$	8		
60 УМУ	по току статора	$P_{11}$	10	{ ПЭВ-2, $\Phi$ 1,5	
		$P_{12}$	10		

Таблица 9-16  
Технические данные трансформатора ТИ

№ п/п.	Наименование	Обозначение обмотки	Число витков	Марка провода	Примечание
1	Обмотка нелинейного элемента	$P_1$	1 500	ПЭВ-2 $\Phi$ 0,41	—
2	Обмотка линейного элемента	$P_2$	70		—
3	Обмотка линейного элемента	$P_3$	80		Начала обмоток $P_3$ соединены под набором зажимов в звезду
4	Наладочная обмотка	$P_4$	10		—

Проверка характеристик панели. Предварительная проверка панели описана в 9-1. Одновременно при этой проверке

1) делаются необходимые переключения в соответствии с выбранной модификацией;

2) определяется чередование фаз цепей напряжения и тока, подведенных к АРВ (табл. 9-12);

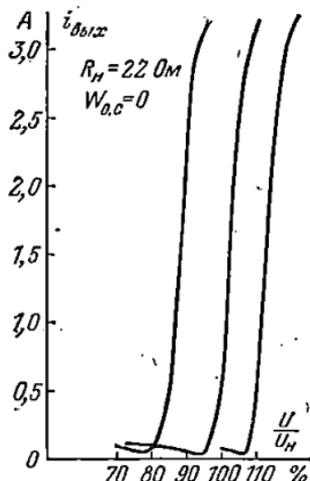


Рис. 9-21. Типовые характеристики магнитного усилителя МУ регулятора PVA-62.

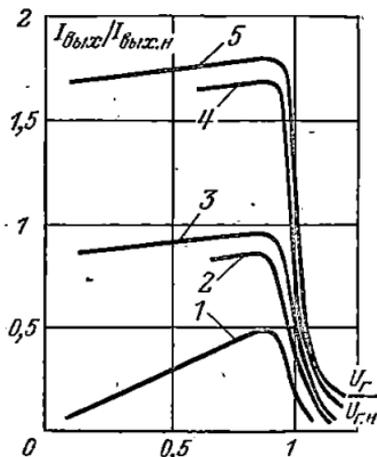


Рис. 9-22. Типовые характеристики регулятора типа PVA-62.

1 — холостой ход генератора; 2 — 50%-ная нагрузка генератора при высоком  $\cos \varphi$ ; 3 — то же при низком  $\cos \varphi$ ; 4 — 100%-ная нагрузка генератора при высоком  $\cos \varphi$ ; 5 — то же при низком  $\cos \varphi$ .

- 3) измеряется изоляция панели мегомметром 500—1000 В;
- 4) проверяется полярность и число витков обмоток;
- 5) выбираются параметры цепи напряжения УТП и конденсаторы, уменьшающие нагрузку трансформаторов напряжения \*;
- 6) проверяется исправность схемы корректора, для чего:
  - а) разрываются цепи АТ и выхода регулятора:  $w_1$  — закорачивается, обратная связь МУ отключается;
  - б) при напряжении 105 В или 182 В (в зависимости от схемы включения ТН) на входе измерительного элемента сопротивлением СР устанавливается ток выхода МУ, равный 0,5 А;
  - в) при отклонении напряжения на ТН до 112 В (или до 191 В соответственно) ток выхода МУ должен быть не менее 1,45 — 1,5 А;
  - г) при уменьшении напряжения минимальный ток выхода МУ должен быть менее 100 мА.

\* Максимально допустимые (по условиям нагрева) нагрузки трансформаторов напряжения приведены в табл. 9-17.

7) при полностью собранной схеме АРВ, работе на эквивалентное сопротивление и питании цепей от источника напряжения определяются выходные характеристики регулятора  $I_p = f(U_{т.н}, I_2)$  при токе  $I_2 = 0$  и  $I_2 = I_{2н}$  и предельных положениях УАТ. Эти характеристики не полностью соответствуют реальным, но дают возможность проверить исправность всей системы АРВ.

Типовые характеристики АРВ и МУ приведены на рис. 9-21 и 9-22.

Испытание АРВ при работе с генератором. Объем работ приведен в § 9-1. Дополнительно:

1) устанавливаются пределы регулирования возбуждения выбором отпаек установочного автотрансформатора (или изменением сопротивления  $CP$ );

Таблица 9-17

Значения допустимых максимальных нагрузок трансформаторов напряжения

Тип трансформатора напряжения	Отношение напряжений, В	Максимальная нагрузка вне классов точности по ГОСТ 1983-43, В · А	Максимальная нагрузка вне классов точности по результатам испытания, В · А
НОС-0,5	380/100	200	250
НОС-0,5	500/100	200	250
НТС-0,5	380/100	400	500
НТС-0,5	500/100	400	500
НОМ-6	2 100/100	240	400
НОМ-6	3 000/100	240	400
НОМ-6	6 000/100	400	600
НОМ-10	10 000/100	640	720
НОМ-15	13 800/100	840 (по техническим условиям)	840
НОМ-15	15 000/100	640	840
НОМ-15	18 000/100	840 (по техническим условиям)	840
НОМ-35		1 200	2 000
НТМИ-6	3 000/100	400	450
НТМИ-6	6 000/100	640	700
НТМИ-10	10 000/100	960	1 200
НТМИ-18	13 800/100	960 (по техническим условиям)	1 200
НТМИ-18	18 000/100	960 (по техническим условиям)	1 200
НТМК-6-48	3 000/100	400	600
НТМ-6	6 000/100	640	750
НТМК-10	10 000/100	960	1 000

2) проверяется исправность корректора в режиме холостого хода генератора путем снятия характеристик АРВ при различных положениях ШР;

3) определяется фазочувствительность регулятора (при снятии внешних характеристик генератора до значений отрицательной реактивной мощности). Изменение фазочувствительности производится изменением фазы питающего напряжения (см. табл. 9-12) или посредством обратных связей по току статора или току выхода регулятора;

4) обеспечивается устойчивость регулирования в режиме холостого хода. Устойчивость повышается:

а) увеличением отрицательной обратной связи по току выхода корректора;

б) увеличением витков обмотки  $w_H$  (это вызывает иногда необходимость увеличивать в дальнейшем и  $w_2$ );

в) изменением зазора дросселя или положения ШР;

5) проверяется чувствительность АРВ. Чувствительность увеличивается усилением положительной обратной связи от тока выхода регулятора (при этом следует иметь в виду, что уменьшается устойчивость);

6) обеспечивается необходимый статизм внешней характеристики генератора, что производится обратной связью по току статора. В случае отсутствия последней может использоваться обратная связь по току выхода регулятора.

#### 9-4. НАЛАДКА РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ С ИНДУКТОРНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ И ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ (ПАНЕЛЬ ЭПА-325В)

Панель ЭПА-325В является одной из последних модификаций АРВ. Принципиальная схема регулятора приведена на рис. 9-23, а блок-схема на рис. 9-24.

Основная н. с. возбуждения индукторного генератора повышенной частоты (ВГТ) создается последовательной обмоткой *1 ОВВ*, которая включена последовательно с ротором (рис. 9-24). Изменение возбуждения генератора осуществляется изменением н. с. независимых обмоток возбуждения *2 ОВВ* и *3 ОВВ* возбуждателя. Система является перекомпаундированной, т. е. основная обмотка создает магнитодвижущую силу (м. д. с.) возбуждения выше требуемой в данном режиме, а на противовключенную обмотку независимого возбуждения *3 ОВВ* включен АРВ, ток которого создает м. д. с. возбуждения, противоположную м. д. с. *1 ОВВ*. Ток выхода АРВ изменяется в зависимости от напряжения на шинах генератора. При снижении напряжения ток выхода АРВ уменьшается, что приводит к снижению м. д. с. в обмотке возбуждения *3 ОВВ* и, следовательно, к повышению напряжения ВГТ и восстановлению напряжения на шинах турбогенератора. При повышении напряжения на шинах генератора ток выхода АРВ увеличивается, что приводит к увеличению м. д. с., обмотки *3 ОВВ* и снижению напряжения на шинах турбогенератора до заданной величины,

На согласно включенную обмотку возбуждения ВГТ 2 ОВВ включено устройство бесконтактной форсировки УБФ, которое в нормальных режимах имеет минимальный ток выхода, а при

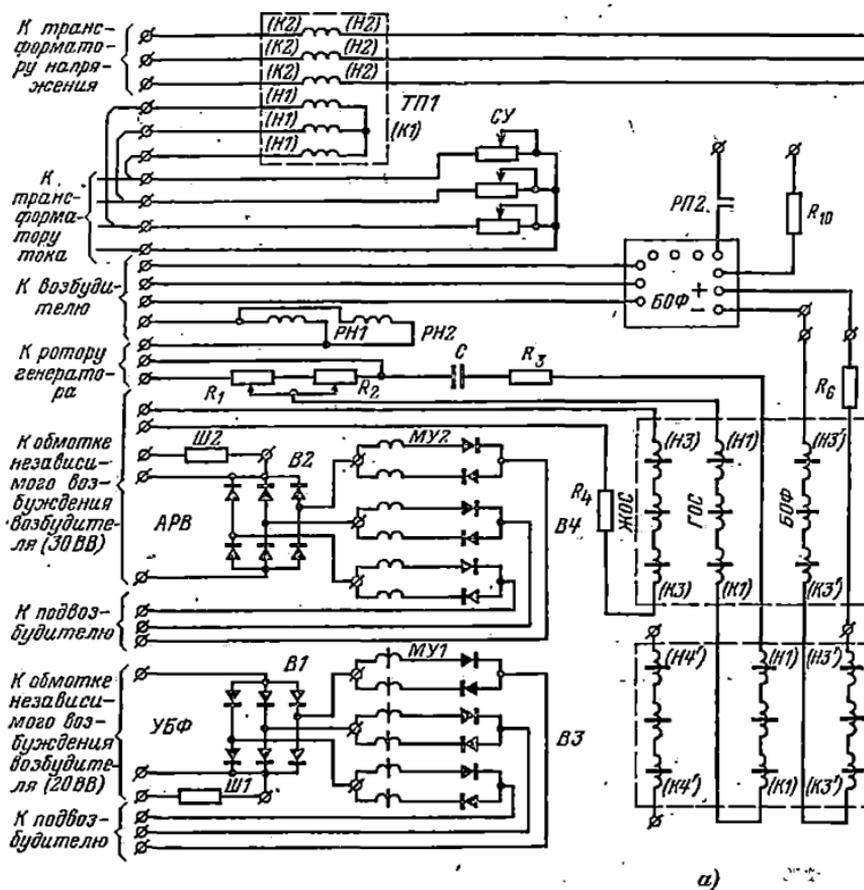


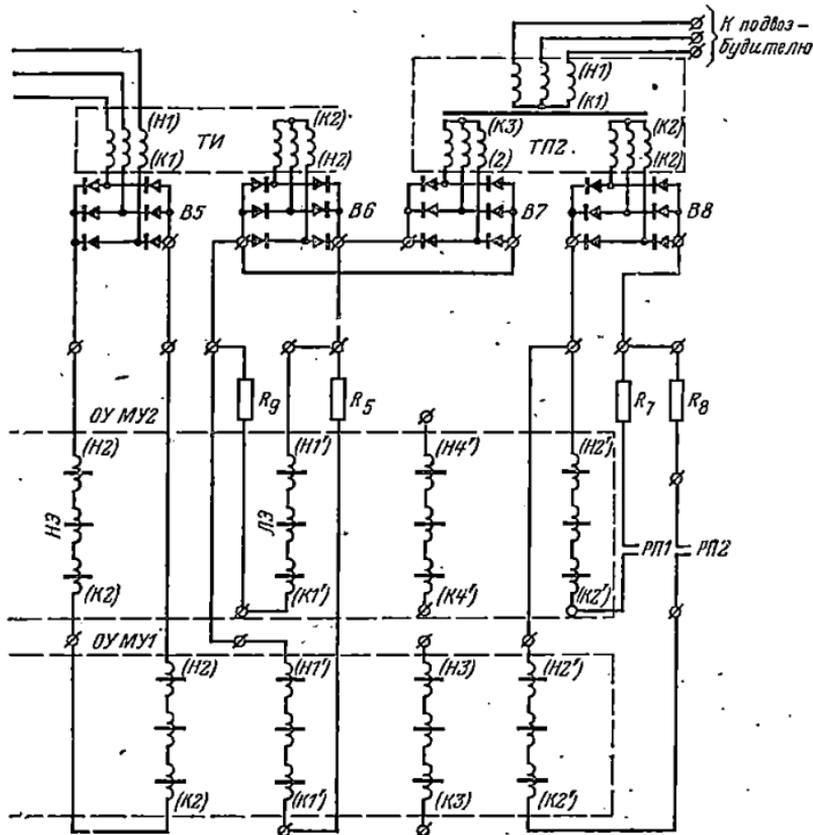
Рис. 9-23. Схема АРВ

а — схема

снижении напряжения на шинах турбогенератора на 5% и более увеличивает свой ток до предельного, что приводит к резкому возрастанию суммарной м. д. с. ВГТ и форсировке возбуждения. В динамических режимах и, в частности, при коротких замыканиях форсировке также способствует действие свободной составляющей тока ротора турбогенератора в обмотке 1 ОВВ.

Изменение установки регулируемого напряжения турбогенератора осуществляется с помощью установочного автотрансформатора АТ.

Измерительным элементом *АРВ* и *УБФ* является трехфазный насыщенный трансформатор *ТИ*, первичный ток которого нелинейно зависит от напряжения статора генератора, в то время как вторичное напряжение пропорционально напряжению статора. Линей-



типа ЭПА-325В.  
регулятора;

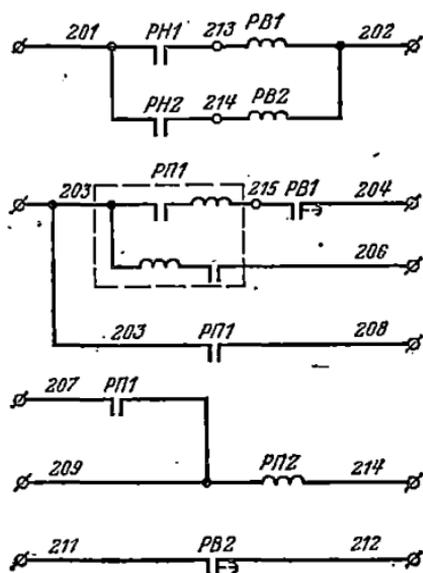
ный и нелинейный токи через выпрямители поступают в соответствующие обмотки управления магнитных усилителей *АРВ* и *УБФ*. Для устранения провала характеристики регулятора при глубоком посадках напряжения генератора параллельно выпрямителю линейного элемента *ТИ* включен источник опорного напряжения, которое создается соответствующим преобразованием напряжения подвозбудителя.

Устройство статизма изменяет напряжение на измерительном элементе в зависимости от величины и фазы тока статора.

Для обеспечения устойчивости процесса регулирования возбуждения в схеме предусмотрена гибкая отрицательная обратная

связь по напряжению ротора турбогенератора с воздействием на обмотки управления магнитных усилителей АРВ и УБФ.

Силовое питание магнитных усилителей АРВ и УБФ осуществляется от подвозбудителя — генератора переменного тока 30 кВт, 400 Гц, 230 В с постоянными магнитами, непосредственно связанного с валом возбудителя.



Ограничение длительности форсировки 14-15 с	
Защита при повышении напряжения возбудителя выше уставки БОФ 0,5-1с	
На развозбуждение возбудителя	
На снятие развозбуждения возбудителя	
В цепь сигнализации	
При ограничении длительности форсировки	В цепь развозбуждения возбудителя
При отключении измерительного элемента	
В цепь гашения поля	

б)

Рис. 9-23. Схема АРВ типа ЭПА-325В.

б — релейная часть панели; ТП1, ТП2 — трансформаторы промежуточные; СУ — устройство изменения статизма; РН1, РН2 — реле напряжения; R<sub>1</sub> — R<sub>10</sub> — сопротивления; С — конденсатор; БОФ — блок ограничения форсировки; РП1, РП2 — реле промежуточные; МУ1, МУ2 — усилители магнитные; ОУ МУ1, ОУ МУ2 — обмотки управления; В1 — В8 — выпрямители; ТИ — трансформатор измерительный; Ш1, Ш2 — шунты; РВ1, РВ2 — реле времени.

Для ограничения потолка возбуждения ВГТ и для обеспечения необходимого режима возбуждения при расфорсировке служит блок ограничения форсировки БОФ на рис. 9-25. Блок ограничения форсировки представляет собой противовключенный корректор напряжения, выход которого включен на обмотки управления магнитных усилителей АРВ и УБФ. Питание силового и измерительного элементов БОФ осуществляется от одной из обмоток переменного тока возбудителя. Нормально он ограничивает напряжение на возбудителе на уровне  $2U_{\text{рот.н}}$ , а при работе автоматики развоз-

буждения на уровне  $(0,8-0,9) U_{\text{рот.н}}$ . Автоматика развозбуждения действует на уставку *БОФ* без выдержки времени при отключении автомата в цепях трансформатора напряжения и с выдержкой

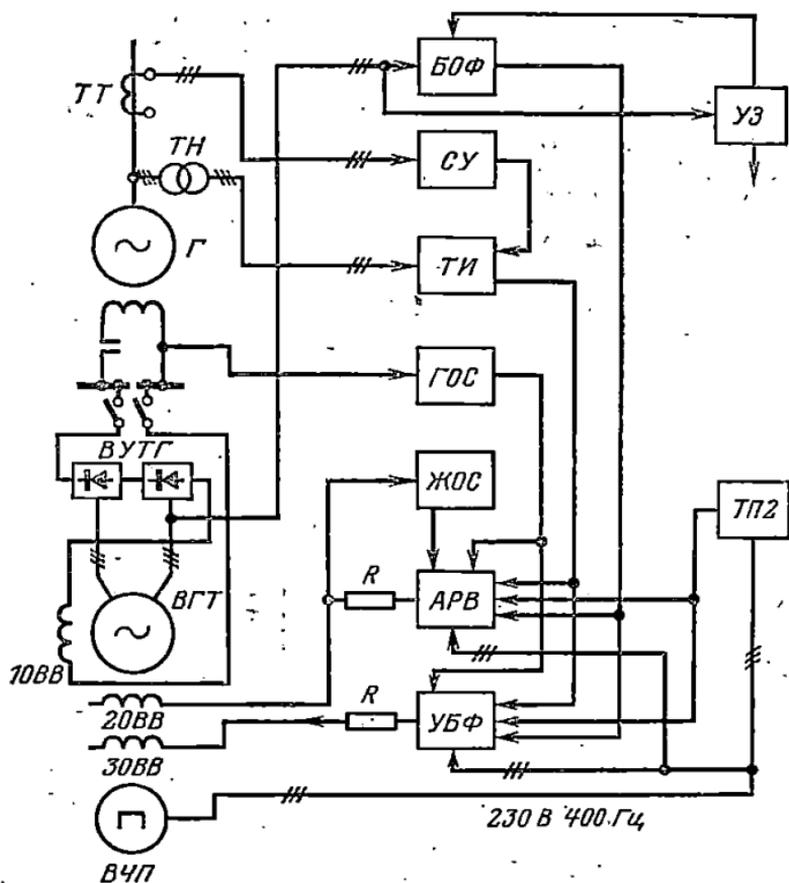


Рис. 9-24. Блок-схема АРВ возбуждения с индукторным генератором.

*УЗ* — устройство защиты; *БОФ* — блок ограничения форсировки; *СУ* — устройство регулирования статизма; *ТИ* — трансформатор измерительный; *ГОС* — гибкая обратная связь; *ЖОС* — жесткая обратная связь; *ТП2* — трансформатор промежуточный; *R* — сопротивление; *G* — генератор; *ТН* — трансформаторы напряжения; *ТТ* — трансформаторы тока; *ВУТГ* — выпрямительная установка; *ВГТ* — индукторный возбудитель; *10ВВ—30ВВ* — обмотки возбуждения возбудителя; *ВЧП* — подвозбудитель.

времени — при длительной форсировке (через 14—15 с). При повышении напряжения ВГТ до 1,2 напряжения уставки *БОФ* защита действует на отключение АП с выдержкой времени 1—2 с.

## Технические данные панели ЭПА-325В.

Номинальное линейное напряжение на входе измерительного элемента, В . . . . .	173
Частота, Гц . . . . .	50
Напряжение постоянного тока для питания промежуточных реле и реле времени, В . . . . .	220
Напряжение питания усилителей согласованного и противовключенного выходов, В . . . . .	230
Частота, Гц . . . . .	400
Длительно допустимые токи выходов, А . . . . .	24
Предельный ток согласованного и противовключенного выходов при сопротивлении нагрузки 3—1,5 Ом, А . . . . .	50—85
Минимальные токи согласованного и противовключенного выходов, А . . . . .	Не более 2
Мощность, потребляемая измерительным элементом от трансформаторов напряжения на фазу, В·А . . . .	Не более 250

Панель обеспечивает:

а) непрерывное автоматическое регулирование возбуждения во всех эксплуатационных режимах, включая форсировку, и поддержание напряжения на шинах станции со статизмом 4—6%;

К источнику питания

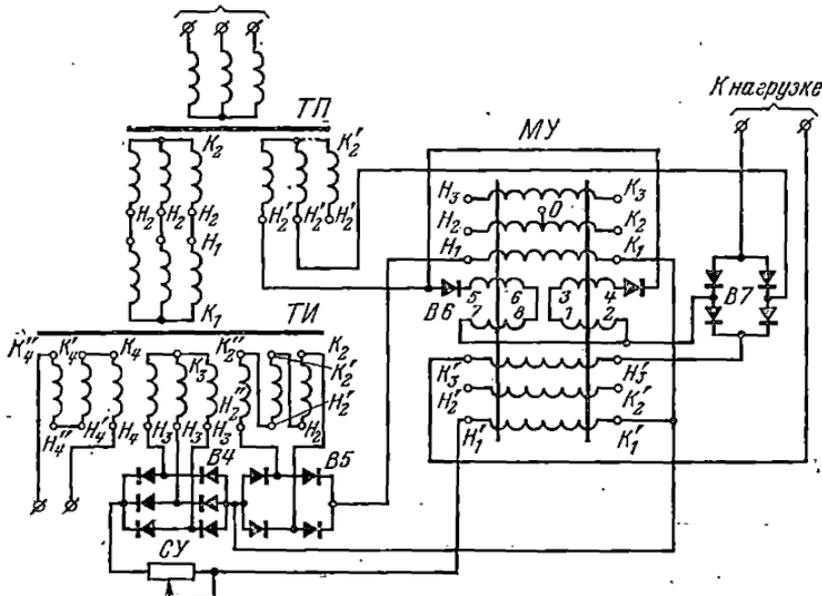


Рис. 9-25. Схема блока БОФ панели ЭПА-325В.

ТП — трансформатор промежуточный; ТИ — трансформатор измерительный; МУ — магнитный усилитель; В4 — В7 — выпрямители; СУ — сопротивление установочное,

б) нормальную работу генератора при изменении частоты напряжения на 5%;

в) длительную работу при изменении напряжения питания в пределах  $\pm 15\%$ ;

г) достижение предельного тока согласованного выхода и минимального тока противовключенного выхода при снижении напряжения на измерительном элементе на 5% и более;

д) достижение предельного тока противовключенного выхода и минимального тока согласованного выхода при повышении напряжения на измерительном элементе на 5% и более;

е) компенсацию реактивного сопротивления повышающего трансформатора блока генератор-трансформатор путем изменения коэффициента статизма до 12%;

ж) возможность снижения тока согласованного выхода до минимального значения при гашении поля генератора.

Панель предусматривает возможность использования ограничения минимального значения тока возбуждения генератора в режиме потребления реактивной мощности.

Технические данные отдельных элементов панели.

*Сопrotивления*

Обозначение в схеме	Назначение	Количество	Сопrotивление, Ом	Номинальный ток, А
$R_1, R_2, R_3$	Делитель напряжения ГOC	7	527	0,385
$R_4$	Добавочное сопротивление ЖOC	3	108	0,850
$R_5$	Добавочное сопротивление ЛЭ УВФ	1	26	1,7
$R_6$	Добавочное сопротивление в цепи выхода БОФ	1	3,3	4,8
$R_7$	Сопrotивление в цепи смещения АРВ	3	61	1,1
$R_8$	Сопrotивление в цепи смещения УВФ	3	26	1,7
$R_9$	Добавочное сопротивление в цепи ЛЭ АРВ	1	26	1,7
$R_{10}$	Сопrotивление в цепи подмагничивания ТИВ	2	208	0,550

*Трансформатор ТИ-100-1,5 измерительный*

Сечение сердечника  $8,8 \text{ см}^2$ , сталь Э42 толщиной 0,35 мм.

Первичная обмотка  $H_1-K_1 : w = 300; R = 1,1 \text{ Ом}; \text{ПЭЛБО}$

$\varnothing 1,16$ .

Вторичная обмотка  $H_2-K_2 : w = 35; R = 0,052 \text{ Ом}; \text{ПБД}$

$\varnothing 1,81$ .

## Магнитные усилители МУ1 и МУ2

Тип МУ-25/230. Сечение сердечника 6,9 см<sup>2</sup>; сталь Э44  
толщиною 0,2 мм. Обмоточные данные:

Наименование обмотки	Маркировка	Марка, размер провода	Число витков
Обмотки переменного тока	$A_1X_1 + Y_1B_1$ $A_2X_2 + Y_2B_2$	ПСД 1,16 × 5,1	65 + 65 65 + 65
Обмотки управления	$H_1 - K_1$ $H'_1 - K'_1$ $H_2 - K_2$ $H'_2 - K'_2$ $H_3 - K_3$ $H'_3 - K'_3$ $H_4 - K_4$	ПСДТ ∅ 1,16 ПСДТ ∅ 1,16 ПСДТ ∅ 1,16 ПСДТ ∅ 1,16 ПСДТ ∅ 1,16	134 102 51 25 17

## Выпрямители

Блок	Вентили	Тип выпрямителя	Схема выпрямителя	Соединение		Номинальные данные	
				n	m	$U_{\sim}, В$	$I_{\sim}, А$
УБФ и АРВ	$B_1, B_2$	130ГД24Я	Трехфазная мостовая	12	1	30	24
	$B_3, B_4$	130ГТ24Я	Однофазная со средней точкой	4	3	100	24
	$B_5 - B_8$	75ГТ18Я	Трехфазная мостовая	3	1	66	4,5
БОФ	$B_4$	30ГМ4А	Трехфазная мостовая	1	2	25	0,9
	$B_5$	30ГМ4А	Мостовая двухполупериодная	1	1	25	0,3
	$B_6$	90ГМ8А	Однофазная со средней точкой	2	2	50	4,0
	$B_7$	90ГТ18А	Мостовая двухполупериодная	3	3	66	12

**Трансформатор устройства статизма ТП1**

Сечение сердечника  $1,0 \text{ см}^2$ , сталь Э42 толщиной  $0,35 \text{ мм}$ .  
Первичная обмотка  $H_1-K_1$ :  $w = 116$ ;  $R = 0,195 \text{ Ом}$ ; ПЭЛБО  $\varnothing 1,16$ .

Вторичная обмотка  $H_2-K_2$ :  $w = 58$ ;  $R = 0,122 \text{ Ом}$ ; ПЭЛБО  $\varnothing 1,16$ .

**Трансформатор измерительный БОФ ТИ-9**

Сечение сердечника  $3 \text{ см}^2$ , сталь Э44 толщиной  $0,2 \text{ мм}$ .

Первичная обмотка  $H_1-K_1$ :  $w = 160$ ;  $R = 1,1 \text{ Ом}$ ; ПЭЛ  $\varnothing 0,64$ .

Вторичная обмотка  $H_2-K_2$ :  $w = 60$ ;  $R = 0,42 \text{ Ом}$ ; ПЭЛ  $\varnothing 0,64$ .

Вторичная обмотка  $H_3-K_3$ :  $w = 10$ ;  $R = 0,07 \text{ Ом}$ ; ПЭЛ  $\varnothing 0,64$ .

Обмотка подмагничивания  $H_4-K_4$ :  $w = 104$ ;  $R = 0,74 \text{ Ом}$ ;

ПЭЛ  $\varnothing 0,64$ .

**Трансформатор промежуточный**

ТПВ-2/300

Сечение сердечника  $8,6 \text{ см}^2$ , сталь Э44 толщиной  $0,2 \text{ мм}$ .

Первичная обмотка  $H_1-1-2-K_1$ :  
 $w = 15+95+25$ ;  $R = 0,55 \text{ Ом}$ ;

ПЭЛБО  $\varnothing 1,56$ .

Вторичная обмотка  $H_2'-K_2'$ :  $w = 35$ ;  $R = 0,1 \text{ Ом}$ ; ПЭЛБО  $\varnothing 1,56$ .

Вторичная обмотка  $H_2-K_2$ :  $w = 72$ ;  $R = 0,18 \text{ Ом}$ ; ПЭЛБО  $\varnothing 1,45$ .

**Выбор параметров и настройка характеристик панели.** К регулятору перекомпаундированной системы предъявляются повышенные требования по надежности работы элементов, обусловленные тем, что система при разрыве контура регулирования самовозбуждается по  $U_{ВГТ}$  до потолочных параметров. Поэтому необходимо производить проверку узловых характеристик, а в некоторых случаях и поэлементную проверку панели.

Перед настройкой панели необходимо уточнить полную м. д. с. возбуждения, м. д. с. последовательной обмотки и обмоток независимого возбуждения ВГТ для режимов холостого хода и номинальной нагрузки турбогенератора по нагрузочной характеристике ВГТ  $U_B = f(aw_e)$  или системы  $I_p = f(aw_e)$ , приведенным на рис. 9-26.

Разность н. с. нагрузочной характеристики и н. с., создаваемой током ротора в последовательной обмотке, должна быть скомпенсирована н. с., создаваемой независимыми обмотками, на которые включен регулятор. Таким образом, зная соотношение между витками последовательной и витками независимых обмоток, а также нагрузочную характеристику системы при работе на ротор, определяют  $aw_{нез}$  н. с., которую должен создать регулятор, чтобы обеспечить устойчивое возбуждение при определенном токе ротора  $aw_{нез} = f(I_{рот})$ .

В табл. 9-18 приводятся значения полной м. д. с. возбуждения для различных типов генераторов. Для конкретных систем они могут несколько отличаться.

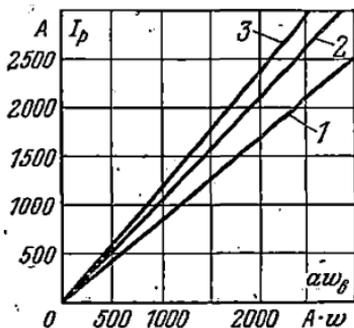


Рис. 9-26. Нагрузочные характеристики ВГТ при работе на ротор генератора.

1 — нагрузочная характеристика ВГТ-2500-500; 2 — нагрузочная характеристика ВГТ-2700-500; 3 — нагрузочная характеристика ВГТ-4500-500.

Таблица 9-18

Тип генератора	Тип ВГТ	Режим генератора	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	М. д. с. возбуждения, А		
					полная	последовательной обмотки	независимой обмотки
ТВВ-320-2	ВГТ-4500-500	Холостой ход	1 240	145	1 070	1 240	—170
		Номинальный	2 900	445	2 400	2 900	—500
ТВВ-200-2	ВГТ-2700-500	Холостой ход	1 070	105	1 000	1 070	—70
		Номинальный	2 650	315	2 470	2 650	—180
ТВВ-165-2	ВГТ-2500-500	Холостой ход	830	136	900	1 040	—140
		Номинальный	1 980	365	2 100	2 500	—400

Намагничивающая сила независимых и последовательной обмоток определяются в пересчете на один полюс по формуле

$$aw = \frac{Iwn}{p},$$

где  $I$  — ток в обмотке;  $w$  — фактическое число витков в полюсной катушке;  $p$  — число полюсов.

Дальнейший выбор параметров производят непосредственно при проверке панели и определении характеристик узлов. Конкретный выбор витков обмоток управления и сопротивлений в их цепях может быть различным в силу того, что поэлементные характеристики различных панелей не могут быть идентичными и, кроме того, существует ряд панелей, обмотки магнитных усилителей которых различны.

#### Наладка и объем предварительных проверок:

1. Делается внешний осмотр элементов панели, проверяется качество паяк выпрямителей, надежность крепления аппаратов и проводников, отсутствие посторонних предметов, качество монтажа и согласование внешних цепей.

2. Производится измерение сопротивления постоянному току обмоток и резисторов; измерение сопротивления изоляции элементов и схемы в целом; определение полярности обмоток элементов панели.

3. Производится подготовка схемы для дальнейших проверок: подается трехфазное регулируемое напряжение переменного тока 0—200 В; постоянный ток до 60—70 А; соединяются независимые обмотки ВГТ для возможности обеспечения потолочного напряжения 500 Гц. Настройка характеристик производится на вращающейся машине, обычно при работе турбогенератора в сети на резервном возбуждении. В некоторых случаях, когда необходимо выполнить наладку системы рабочего возбуждения до пуска турбогенератора, можно проверять элементы и настраивать характеристики при питании 400 и 500 Гц от другого, уже работающего блока или

от подвозбудителя 400 Гц, приводимого во вращение асинхронным двигателем.

Наладка регулятора требует возбуждения системы до поточных значений, что требует серьезного отношения к обеспечению безопасности наладочных работ. В цепях напряжения устанавливаются автоматы. Последовательную обмотку возбуждения необходимо исключить и принять меры для предотвращения короткого замыкания на шинах системы и ошибочной подачи напряжения системы на ротор турбогенератора.

4. Производится проверка релейной аппаратуры и элементов панели в соответствии с описанной в § 9-1.

5. Определяются характеристики магнитных усилителей МУ-1 и МУ-2  $I_{\dots} = f(a\omega_{уп})$  при работе на эквивалентное сопротивление

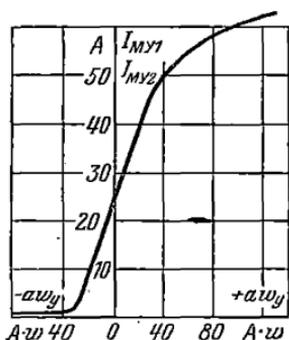


Рис. 9-27. Типовая характеристика магнитных усилителей МУ1 и МУ2 при  $R_{наг} = 2,5 \text{ Ом}$ ,  $U = 230 \text{ В}$ ,  $f = 400 \text{ Гц}$ .

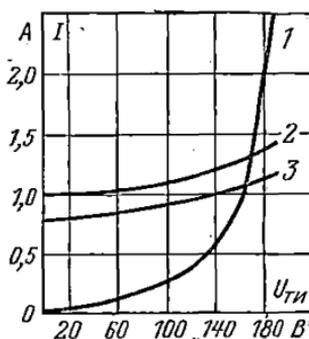


Рис. 9-28. Характеристики измерительного элемента.

1 — нелинейный элемент;  
2 — линейный элемент АРВ;  
3 — линейный элемент УВФ.

или обмотки ВГТ (рис. 9-27). Питание 400 Гц подается от подвозбудителя, в одну из обмоток управления — регулируемый постоянный ток. При этом сравниваются токи в фазах и напряжении на обмотках магнитных усилителей. Одновременно можно определить соотношение витков обмоток магнитных усилителей.

6. Определяются характеристики измерительного органа при работе на обмотки управления магнитных усилителей  $I_{н.э} = f(U_{ТИ})$  и  $I_{л.э} = f(U_{ТИ})$ .

Одновременно проверяются пределы изменения характеристик путем изменения соответствующих регулируемых сопротивлений (рис. 9-28). Токи в обмотках не должны превышать допустимых.

7. Определяются характеристики БОФ  $I_{БОФ} = f(U_{500})$  при работе на обмотки МУ в режиме поточного возбуждения и в режиме расфорсировки — ограничения тока ротора на уровне (0,8—0,9)  $I_{р.н}$  (рис. 9-29). Возбуждение ВГТ осуществляется подачей постоянного тока в независимые обмотки, соединенные согласно последо-

вательно. Сдвиг характеристики БОФ в режиме форсировки осуществляется сопротивлением СУ или изменением соотношения витков промежуточного трансформатора ТПВ в питающей цепи БОФ, в режиме расфорсировки — изменением тока подмагничивания ТИВ.

8. Определяются характеристики АРВ и УБФ  $I_{УБФ} = f(U_{ТИ})$  и  $I_{АРВ} = f(U_{ТИ})$  для режимов, соответствующих холостому ходу и номинальной нагрузке генератора (рис. 9-30). При настройке характеристик выход БОФ подключается на обмотки МУ и напряжение 500 Гц устанавливается соответствующим определенному

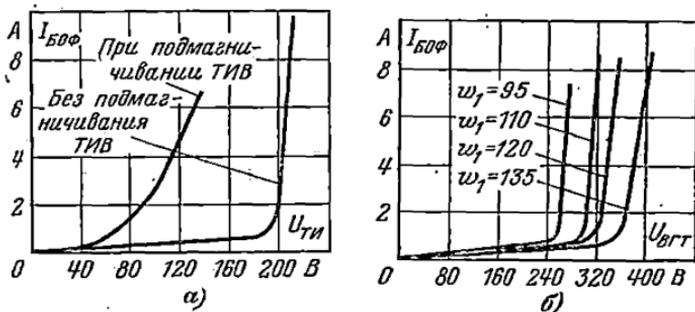


Рис. 9-29. Характеристики блока БОФ.

а — при изменении тока подмагничивания ТИВ; б — при изменении числа витков ТПВ.

режиму работы генератора. Настройка производится таким образом, чтобы суммарная характеристика  $(I_{УБФ} - I_{АРВ}) = f(U_{ТИ})$  при переходе через нуль оставалась прямолинейной. Крутизна характеристик должна быть в пределах 3—5 А/В. Одновременно определяются характеристики  $I_{л.э} = f(U_{ТИ})$  и  $I_{н.э} = f(U_{ТИ})$  для УБФ и АРВ и соответственно характеристики  $aw_{упре} = f(U_{ТИ})$  для МУ-1 и МУ-2.

9. Для проверки взаимного согласования выходов АРВ, УБФ и БОФ определяются характеристики  $I_{АРВ} = f(U_{500})$  и  $I_{УБФ} = f(U_{500})$  (рис. 9-31) при работе блока ограничения форсировки в режимах потолочного возбуждения и ограничения тока ротора  $(0,7-0,9) I_{рот.н}$  при неизменных уровнях напряжения  $U_{ТИ}$  на измерительном элементе. Из сравнения полученных характеристик и ранее полученной зависимости  $aw_{нез} = f(I_{рот})$  определяется уровень тока ротора в режиме потолочного значения и в режиме расфорсировки.

Испытание регулятора при работе системы возбуждения на ротор генератора. До испытания регулятора должна быть закончена наладка всей системы возбуждения, проверена работа защит и блокировок, определены соотношения и взаимные полярности обмоток возбуждения возбудителя.

Определение работоспособности системы в переходных процессах, скорости нарастания возбуждения в режимах форсировки и проверка переходов с резервного возбуждения на рабочее с помощью измерительных приборов затруднительны. Для этого используются магнитоэлектрические осциллографы или быстродействующие самописцы. Выбор гальванометров при этом должен быть сделан с учетом соотношения частот процесса и рабочей частоты гальванометра. Иногда следует применять фильтры, позволяющие устранить пульсации, обусловленные формой кривых осциллографируемых процессов и наводками от силовых цепей. Рекомендуется

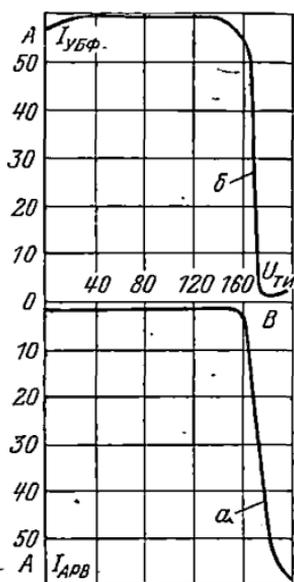


Рис. 9-30. Типовые характеристики АРВ (а) и УБФ (б).

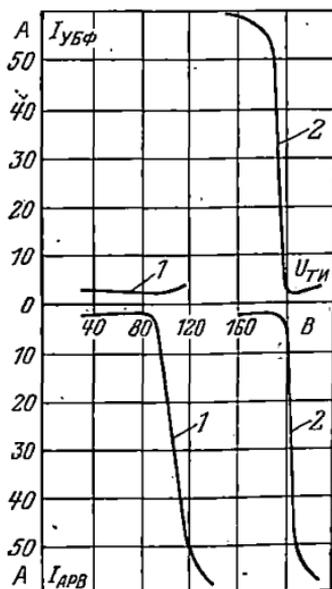


Рис. 9-31. Характеристики АРВ и УБФ в зависимости от  $U_{500}$  при  $U_{ТН} = 0$ .

1 — в режиме форсировки; 2 — в режиме расфорсировки.

экранировать провода и устанавливать осциллограф за щитами, в удалении от шинпровода 500 Гц.

Для оценки работы регулятора достаточно осциллографировать токи АРВ, УБФ, ВОФ, напряжение ротора и статора генератора.

Для возможности оперативно отключить систему в случае необходимости к месту испытания выводят дистанционное управление АГП с автоматом резервного возбуждения.

При испытаниях следует контролировать по измерительным приборам напряжение и ток ротора и статора генератора, активную и реактивную мощности генератора, напряжение переменного и

постоянного тока каждого из шкафов ВУТГ, токи АРВ, УБФ и БОФ, напряжение на измерительном элементе регулятора.

*Испытания в режиме холостого хода генератора:*

1. В положении установочного автотрансформатора, соответствующем наименьшему напряжению генератора, включаются автомат рабочего возбуждения и АГП. При установившемся режиме оцениваются показания приборов, проверяются устойчивость и пределы регулирования напряжения статора путем изменения уставки АТ. Величина регулирования напряжения должна составлять  $\pm 10\%$  от  $U_H$ .

2. Производится перевод возбуждения на резервный возбудитель и обратно. Анализ осциллограмм этих процессов позволяет оценить быстрдействие регулятора по длительности провала  $U_H$  (обычно 0,1—0,12 с) и скорости нарастания возбуждения.

*Испытания в режиме работы генератора в сети:*

1. Проверяется устойчивость работы системы возбуждения при синхронизации генератора с сетью.

2. Проверяются пределы регулирования реактивной мощности.

3. При отключении генератора от сети при номинальной реактивной нагрузке определяется величина повышения напряжения статора сверх номинального, которая не должна превышать 15%.

4. Проверяется уровень ограничения тока ротора при отключении автомата в цепях напряжения измерительного органа.

5. Проверяются переводы с рабочего возбуждения на резервное и обратно при различных активных нагрузках генератора.

6. Производится форсировка возбуждения для определения скорости нарастания и потолочного значения напряжения возбуждения при изменении напряжения на измерительном органе регулятора на 5% и более. Изменение напряжения на измерительном органе производится вводом ограничительного сопротивления в цепи напряжения генератора.

Из осциллограммы форсировки возбуждения определяется скорость нарастания возбуждения (ед/с), потолочное значение и устойчивость возбуждения:

$$U = \frac{0,632 (U_{\max} - U_{\text{нач}})}{t_1 U_H},$$

где  $U_{\max}$  — максимальное значение возбуждения;  $t_1$  — время, за которое возбуждение достигает величины

$$U_{\text{нач}} + 0,632 (U_{\max} - U_{\text{нач}});$$

$U_H$  — номинальное напряжение возбуждения генератора.

Скорость форсировки должна быть не менее 2 ед/с, потолочное значение напряжения возбуждения  $2U_H$ .

7. Снимается внешняя характеристика генератора и определяется величина статизма. При необходимости изменить величину естественного статизма регулятора вводится устройство изменения статизма.

8. В процессе испытаний контролируется тепловой режим отдельных элементов панели,

9. Возбуждение генератора переводится на резервный возбудитель, анализируются результаты испытаний и делается заключение о работоспособности системы возбуждения; отсоединяются все контрольные приборы для испытаний. В случае положительных результатов система вводится в постоянную эксплуатацию.

## РАЗДЕЛ ДЕСЯТЫЙ НАЛАДКА СИСТЕМЫ ИОННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ И УСТРОЙСТВА ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

### 10-1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ИОННОМУ ВОЗБУДИТЕЛЮ

Ионная система возбуждения отличается от других систем быстродействием и высоким потолком возбуждения, позволяющими в сочетании с регулятором сильного действия обеспечить увеличение пределов статической и динамической устойчивости электрической системы, демпфирование качаний при переходных процессах в энергосистеме, более высокой надежностью в работе и экономичностью.

Основным элементом системы возбуждения является вакуумный прибор однополярной проводимости — ртутный (ионный) вентиль (РВ).

В системах ионного возбуждения используются экситронные (Э) и игнитронные (И) металлические ртутные вентили с водяным охлаждением. Технические данные наиболее употребительных РВ приведены в табл. 10-1.

Таблица 10-1

Тип ртутного вентиля	Номинальный средний ток, А	Максимальное обратное напряжение, кВ
ЭВПУ-500/2,5	500	2,5
РМВ-250/2,5	250	2,5
ЭВУ-250/2,5	250	2,5

Наиболее употребительны следующие схемы выпрямления: трехфазная мостовая (рис. 10-1, а); трехфазная нулевая — две обратные звезды с уравнительным реактором (рис. 10-1, б); трехфазная нулевая с объединенными обмотками питания (рис. 10-1, в).

Основные зависимости, устанавливающие связь между величинами тока, напряжения и мощности в главных цепях преобразователей схем на рис. 10-1, приведены в табл. 10-2.

Выпрямленное напряжение преобразователя и ток определяются следующими выражениями:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{n}{2\pi} x I_d - m \Delta U;$$

$$I_d = \frac{\sqrt{3} E_{\Phi \cdot M}}{2x} [\cos \alpha - \cos (\alpha + \gamma)],$$

где  $U_{d0} = E_M \frac{n}{\pi} \sin \frac{\pi}{n}$  — напряжение холостого хода преобразователя при  $\alpha = 0$ ;

$\frac{\sqrt{3} \cdot E_{\Phi \cdot M}}{2x}$  — амплитуда тока двухфазного короткого замыкания источника питания;

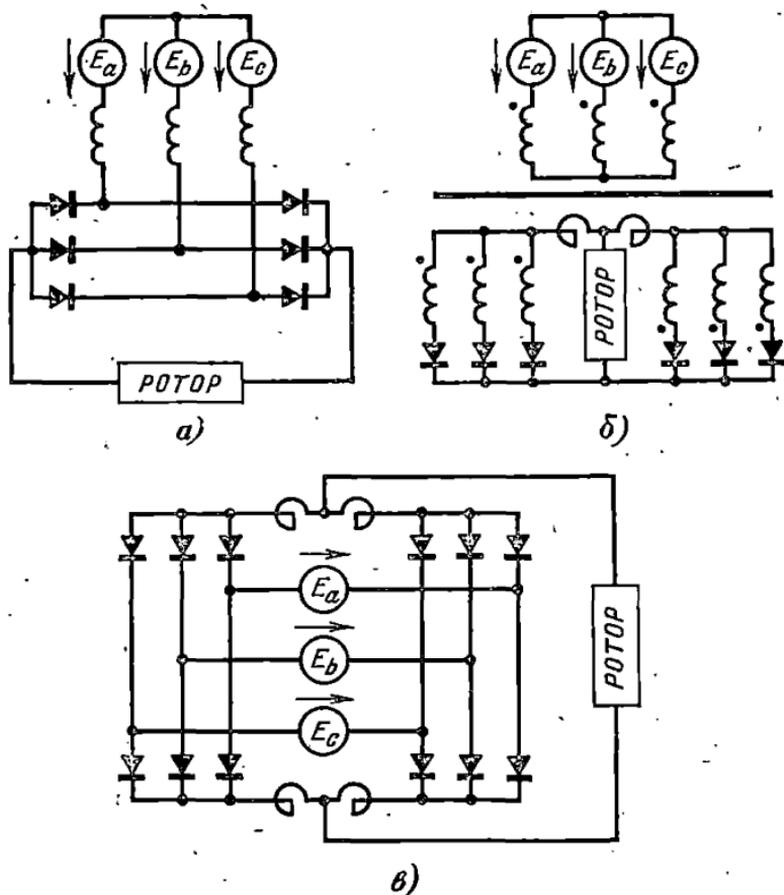


Рис. 10-1. Схемы преобразования переменного тока в постоянный.

Таблица 10-2

Схема на рис. 10-1	$U_d$ макс	$U_2$	$U_{\text{вент. макс}}$	$I_d$	$I_s$
1	2	3	4	5	6
<i>a</i>	$2,34 U_2$	$0,427 U_d$	$1,045 U_d$	$1,23 I_2$	$0,817 I_d$
<i>б</i>	$1,17 U_2$	$0,74 U_d$	$2,1 U_d$	$3,46 I_2$	$0,29 I_d$
<i>в</i>	$1,17 U_2$	$0,74 U_d$	$\frac{2,1 U_d}{2}$	$2,44 I_2$	$0,41 I_d$

Схема на рис. 10-1	$I_1$	$P_1$	$P_2$	$P_T$
1	7	8	9	10
<i>a</i>	$\frac{0,817}{K} I_d$	$1,05 P_d$	$1,05 P_d$	$1,05 P_d$
<i>б</i>	$\frac{0,408}{K} I_d$	$1,05 P_d$	$1,48 P_d$	$1,26 P_d$
<i>в</i>	$\frac{0,41}{K} I_d$	$1,05 P_d$	$1,48 P_d$	$1,26 P_d$

$E_M$  — амплитуда напряжения питания выпрямителя, для нулевой схемы выпрямления  $E_M = E_{\text{ф.м}}$ ; для мостовой  $E_M = \sqrt{3} \times E_{\text{ф.м}}$ ;

$E_{\text{ф.м}}$  — амплитуда напряжения фазы источника питания;

$x$  — индуктивное сопротивление фазы источника питания;

$n$  — число независимых вентилей схемы, для трехфазной нулевой схемы выпрямления  $n = 3$ , для трехфазной мостовой  $n = 6$ ;

$m$  — число последовательно включенных РВ;

$\Delta U$  — падение напряжения в вентиле;

$U_2$  — напряжение вторичной обмотки питающего трансформатора или напряжение фазы генератора для независимых систем возбуждения;

$U_{\text{вент. макс}}$  — амплитудное значение обратного напряжения;

$U_d$  — выпрямленное напряжение;

$U_{d0}$  — выпрямленное напряжение при  $\alpha = 0$ ;

$I_1$  — ток первичной обмотки трансформатора;

$I_2$  — ток вторичной обмотки трансформатора;

$k$  — коэффициент трансформации;

$I_d$  — выпрямленный ток (среднее значение);

$I_{дн}$  — номинальный выпрямленный ток;

$P_1$  — расчетная мощность первичной обмотки трансформатора;





## 10-2. НАЛАДКА РТУТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Наладка системы зажигания и возбуждения РВ. Система зажигания и возбуждения РВ состоит из трансформаторов зажигания и возбуждения, сопротивлений, селеновых выпрямителей и аппаратуры защиты и сигнализации (рис. 10-4).

Ртутные вентили, применяемые в системах полного возбуждения, могут иметь щелевые или полупроводниковые зажигатели.

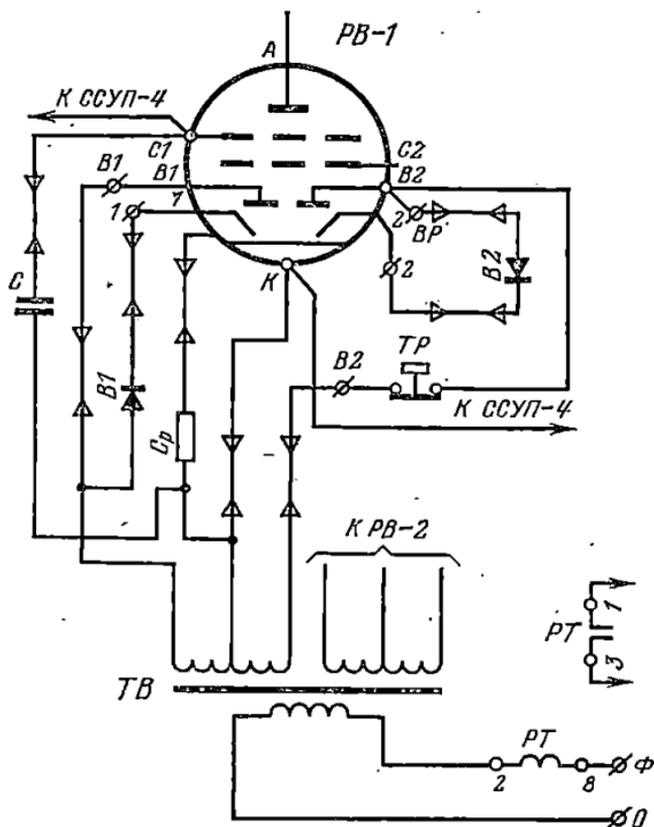


Рис. 10-4. Схема зажигания и возбуждения ртутного вентиля ЭВПУ-500/2,5.

Полупроводниковые зажигатели (игнайтеры) устанавливаются в вентилях типа ЭВПУ, ЭВУ. Число игнайтеров может быть два или три — один рабочий, другие резервные. В вентилях ЭВПУ оба игнайтера — рабочие.

Завод поставляет РВ с поднятыми игнайтерами. Регулировка погружения игнайтера в ртуть производится с помощью регулировочных винтов, Вращая их, доводят игнайтер до соприкосновения

с ртутью. После этого погружают зажигатель в ртуть еще на 5—6 мм (0,5—0,75 оборота регулировочного винта). При этом обращают внимание на плавность изменения сопротивления зажигания по омметру от значения около 1 000 Ом до 50—100 Ом. Такой зажигатель следует считать работоспособным. По окончании регулировки регулировочные винты фиксируются контргайками. При регулировке необходимо соблюдать осторожность, чтобы не сломать игнайтер о дно катодной чаши.

Наладка системы зажигания и возбуждения заключается в проверке правильности сборки цепей, исправности элементов, фазировке цепей возбуждения с главными анодами и проверке четкости зажигания РВ.

Фазировка тока возбуждения с напряжением питания главных анодов должна обеспечить устойчивую работу возбуждения РВ при наиболее длительных нагрузках преобразователя. При правильной фазировке максимальное значение тока возбуждения должно совпадать по времени с погасанием главной дуги вентиля. Если преобразователь должен работать в инверторном режиме, то фазировку производят для режима максимальных токов инвертора.

Фазировку анодов возбуждения производят сравнением фазы сеточного импульса и тока возбуждения при помощи катодного осциллографа. Требуемая фазировка достигается перестановкой фаз напряжения питания системы зажигания и возбуждения.

Четкость зажигания РВ проверяется для каждого зажигающего в отдельности путем пятикратного включения возбуждения РВ. Работа схемы зажигания считается четкой, если отсутствует заметная задержка в зажигании возбуждения РВ. В противном случае необходимо подрегулировать зажигающие. Настройка схемы сигнализации погасания вентиля производится имитацией погасания РВ.

При наладке системы охлаждения РВ проверяется схема управления циркуляционными насосами, электронагревателем и проверяется работа терморегулятора. При заполнении системы водой производится проверка исправности всех кранов, направления вращения насосов, работы грелки и отсутствия протечек воды.

Нормальную работу системы охлаждения можно обеспечить только при полном удалении из системы воздуха. Удаляют воздух через краны, установленные в верхних точках магистрали охлаждения и на РВ. Если на РВ таких кранов нет, то удаление воздуха производится ослаблением затяжки верхнего штуцера на корпусе РВ. О наличии воздуха в системе охлаждения судят по показанию манометра при работе циркуляционного насоса. Большие и произвольные колебания стрелки манометра являются признаком наличия воздуха.

Плотность всех соединений магистрали охлаждения проверяется при наибольшей температуре охлаждающей воды, возможной в условиях эксплуатации. Такую проверку проводят чаще всего во время подформовки РВ и совмещают с настройкой защиты РВ от перегрева.

Дистиллированная циркуляционная вода должна обладать электрическим сопротивлением в пределах 40 000—100 000 Ом/см.

**Наладка системы сеточного управления.** В системах ионного возбуждения в настоящее время применяются в основном полупроводниковая система сеточного управления типа ССУП-4 и статическое фазовращающее устройство типа ФС-13 с панелью пик-генераторов типа ПСП-11 и ПСП-21А.

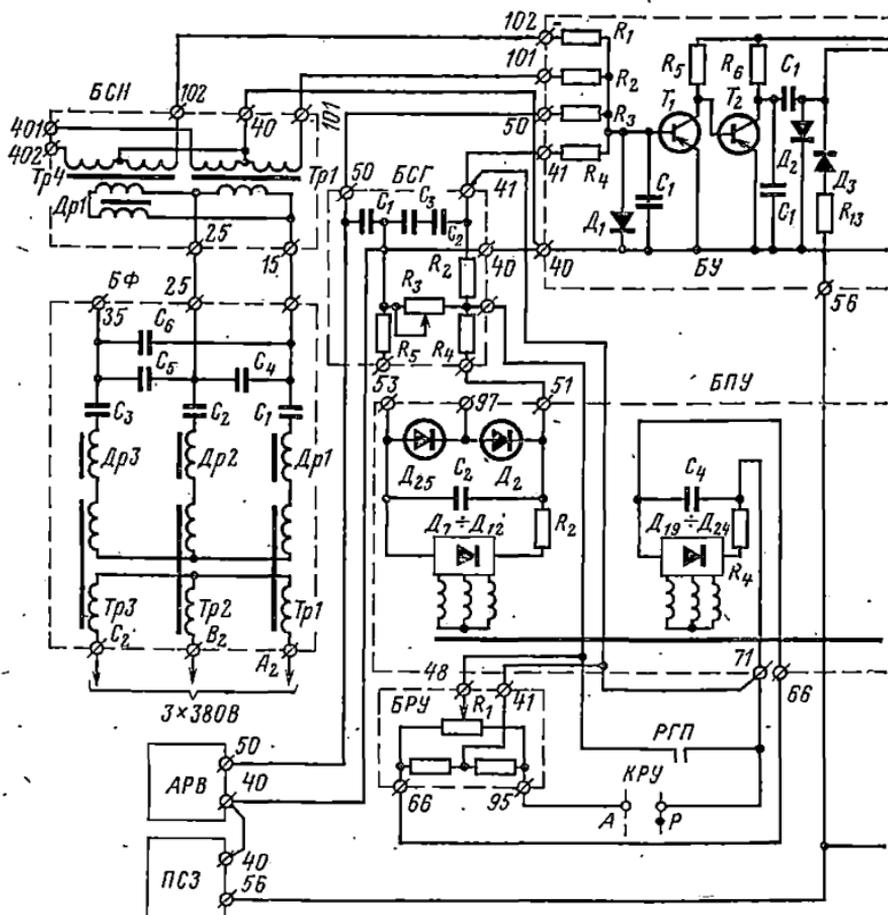


Рис. 10-5. Принципиальная схема системы сеточного управления ти соединения внешних

Безынерционная полупроводниковая система сеточного управления типа ССУП-4 предназначена для управления многофазным ионным преобразователем. Электрическая схема системы состоит из отдельных функциональных блоков (рис. 10-5): блока фильтра БФ; блока синхронизации БСН; блока согласования БСГ; блока управления БУ; блока питания управления БПУ; блока питания



(опорного) напряжения специальной формы с напряжением управления с фиксацией момента времени, соответствующего равенству этих напряжений.

Устройство формирования выполнено с использованием схемы ждущего мультивибратора, который формирует длительность отпирающего импульса. Полученный импульс усиливается и поступает на сетку ионного вентиля.

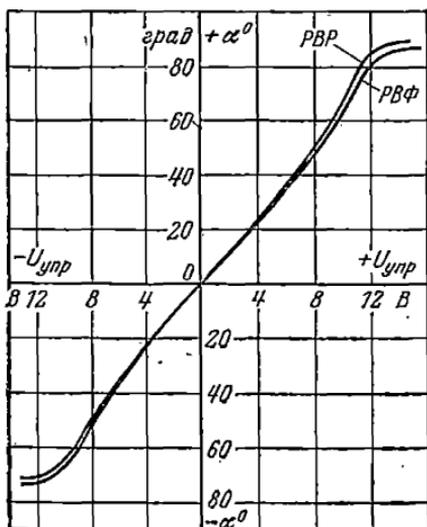


Рис. 10-6. Характеристики управления  $\alpha = f(U_{упр})$  ССУП рабочей и форсировочной групп вентиля.

Система управления питается напряжением 380 В от трансформатора собственных нужд ионного возбудителя.

На рис. 10-6 приведена статическая характеристика фазосмещающего устройства.

$$\alpha = f(U_{упр}),$$

где  $\alpha$  — угол сдвига отпирающего импульса;  $U_{упр}$  — напряжение управления.

Наладка системы сеточного управления типа ССУП-4 производится в следующей последовательности.

1. Измеряется сопротивление изоляции и производится испытание повышенным напряжением цепей ССУП по табл. 10-3.

При этих измерениях и испытаниях панели блока управления ССУП должны быть выдвинуты.

2. Подается симметричное трехфазное напряжение питания 380 В с прямым следованием фаз на зажимы панели  $A_2, B_2, C_2$  и  $A_3, B_3, C_3$ .

3. Измеряется симметрия напряжений выхода блока фильтра на зажимах панели 15—25; 25—35; 15—35; напряжение должно быть  $(107 \pm 1)$ . Измеряется напряжение опорной синусоиды на зажимах панели 40—101, 40—201, 40—301, 40—401, 40—501, 40—601, напряжение должно быть  $(7,5 \pm 0,1)$  В.

4. Измеряются выпрямленные напряжения источников питания на зажимах панели 53—51, 53—97, 71—66, 40—70, 40—80, 40—99, 88—90.

5. С помощью электронного осциллографа проверяется идентичность отпирающих импульсов всех каналов на выходе ССУП (зажимы 40—181; 281, 381, 481, 581, 681) и выходе БС (зажимы 88—86). Проверяется правильность следования импульсов.

6. Регулированием потенциометра  $R_0$  в БУ устанавливается требуемая длительность импульсов, определяемая схемой преобразователя.

Таблица 10-3

Испытываемая цепь	При испытаниях закорачиваются и заземляются зажимы ССУП (по заводской маркировке на панели)	Испытательное напряжение подается на зажимы ССУП (по заводской маркировке на панели)	Величина испытательного напряжения промышленной частоты, кВ
Выходные цепи блоков БС, ВЗН	$A_2, B_2, C_2; A_3, B_3, C_3;$ 40, 80, 15, 25, 35 и выходные цепи 86, 90 каналов управления (кроме испытываемого)	86 ВЗН испытываемого канала	7,5
Цепи трансформаторов синхронизации первичные	$A_3, B_3, C_3; 40, 80,$ 15, 25, 35, 86, 90	$A_2, B_2, C_2$	1
Цепи трансформаторов синхронизации вторичные	$A_2, B_2, C_2; A_3, B_3, C_3;$ 40, 80, 86, 90	15, 25, 35	1
Цепи питания трансформаторов ТР	$A_2, B_2, C_2; 40, 80, 15,$ 25, 35, 86, 90	$A_3, B_3, C_3$	1
Цепи управления ССУП	$A_2, B_2, C_2; A_3, B_3,$ $C_3; 15, 25, 35, 86$	40, 41, 48, 50, 51, 56, 66, 71, 99	1

7. Замеряются параметры импульсов: амплитуда, величина запирающего напряжения, длительность импульса.

8. Снимается характеристика управления  $\alpha = f(U_{упр})$  при отсоединенной цепи смещения (зажимы панели 40—41 БСТ). Для этого напряжение  $U_{упр}$  подается от регулируемого источника постоянного тока с пульсациями не более 200 мВ. Величина напряжения  $U_{упр}$  должна быть равна  $\pm (0-16)$  В. Угол  $\alpha$  измеряется электронным осциллографом, отградуированным для отсчета углов. Характеристика управления должна иметь симметричные ветви в положительной и отрицательной областях. Угол  $\alpha$  при сигнале управления  $\pm 14$  В должен быть около  $\pm 80^\circ$ .

9. Производится симметрирование фронтов отпирающих импульсов; ССУП-4 обеспечивает следование импульсов через  $(60 \pm 1)^\circ$ .

Некоторые схемы преобразователей (например, трехфазная нулевая схема с объединенными обмотками питания и уравнильными реакторами) предъявляют более жесткие требования к равенству интервалов, через которые следуют импульсы. В этом случае возникает необходимость в более точном симметрировании фронтов отпирающих импульсов.

В трехфазной нулевой схеме с объединенными обмотками питания симметрирование фронтов отпирающих импульсов требуется

дополнительно производить для вентиляй, работающих в различных тройках. Передние фронты отпирающих импульсов противофазных вентиляй 1 и 4, 3 и 6, 5 и 2 (по заводской маркировке) должны следовать через  $(180 \pm 0,3)^\circ$ .

Разброс передних фронтов отпирающих импульсов возникает из-за несимметрии блока фильтров, блока синхронизации и различия характеристик панелей управления.

Симметрирование передних фронтов отпирающих импульсов после проверки симметрии БФ и БСН по п. 3 производится подбором пар панелей БУ. Ниже рассматривается один из способов симметрирования импульсов, обеспечивающий требуемую точность симметрии импульсов.

Для замера разброса передних фронтов импульсов производится переключения с тем, чтобы каналы 1 и 4, 3 и 6, 5 и 2 имели одну и ту же опорную синусоиду и ограничивающий пик. Например, объединяются отходящие от БСН концы 401 со 101 и 402 со 102. Вход электронного осциллографа присоединяется к выходным зажимам блоков БС обеих панелей (181 и 481), и на экране осциллографа наблюдается разность импульсов каналов 1 и 4, имеющих общий источник синхронизации.

Производится измерение асимметрии передних фронтов импульсов при масштабе горизонтальной развертки осциллографа не менее  $0,6^\circ$  на 10 мм. При разбросе передних фронтов отпирающих импульсов более  $0,3^\circ$  производится замена одной из двух панелей управления и снова измеряется разброс и так далее до подбора пары, имеющих разброс передних фронтов отпирающих импульсов не более  $0,3^\circ$ .

**Фазировка анодных и сеточных напряжений.** Целью фазировки является такое согласование угловой характеристики системы сеточного управления с анодным напряжением питания РВ, при котором обеспечивается требуемый диапазон регулирования преобразователя. При правильной фазировке должны быть выполнены следующие условия:

а) при максимальном сигнале управления на открытие каждый сеточный импульс должен опережать по фазе момент естественного зажигания соответствующего вентиля на  $10-15^\circ$ ;

б) при максимальном сигнале управления на закрытие все сеточные импульсы должны смещаться в сторону отставания на  $140-160^\circ$ .

Фазировка производится при погашенном (отключенном) возбуждении РВ и питания силовой схемы и схемы управления синхронным напряжением. Фазировку производят в следующем порядке:

1) проверяют чередование фаз анодных напряжений непосредственно на анодах РВ;

2) проверяют чередование импульсов управления непосредственно на сетках РВ;

3) с помощью фазорегулятора (если он предусмотрен в схеме) или переключением в цепях питания системы сеточного управления перемещают импульсы в положение, позволяющее обеспечить требуемый диапазон регулирования преобразователя (выполняются условия «а», «б»).

Работы по фазировке рекомендуется выполнять с помощью осциллографа с синхронизацией его развертки от сети питания схемы преобразователя.

Фазировка может быть выполнена при питании по нормальной схеме от своего источника питания (вспомогательный генератор или трансформатор) или при питании от собственных нужд станции. В последнем случае напряжение на силовую схему преобразователя подается от шин собственных нужд станции через трансформатор собственных нужд ионного возбуждения. При этом необходимо согласовать чередование фаз источника питания с маркировкой фаз схемы собственных нужд ионного возбудителя. После проведения фазировки не рекомендуется производить переключения в силовых цепях питания РВ и в схеме питания переменным напряжением системы сеточного управления.

**Наладка электрооборудования силовых цепей ртутного преобразователя.** При наладке силовых цепей ртутного преобразователя проверяется правильность сборки схемы, проверяется и налаживается силовое оборудование — трансформаторы, реакторы, анодные делители, быстросрабатывающие анодные выключатели ВАБ и ртутные вентили.

Проверка изоляции оборудования силовой схемы возбудителя производится по нормам на соответствующее оборудование. Изоляция токопроводов преобразователя должны испытываться в течение 1 мин переменным напряжением 50 Гц. Величины испытательных напряжений преобразователя приведены в табл. 10-4 (ГОСТ 2329-62).

**Наладка ртутных вентилях.** Применяемые в настоящее время в системах ионного возбуждения ртутные вентили РВ вакааны.

Перед постановкой РВ в схему их осматривают, проверяют изоляцию электродов и проводят подформовку. Проверяют изоляцию до подсоединения шлангов охлаждения к РВ при поднятых зажигающих (если они с регулируемым погружением), отсоединенных проводах вторичной коммутации и силовых токопроводах от анода и катода.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром с напряжением 1 000 В при температуре корпуса РВ не выше 25 °С и нормальном вакууме. Перед измерением тщательно промывают и протирают стеклянные вводы всех электродов вентиля.

Допустимые величины сопротивлений изоляции приведены в табл. 10-5 [Л. 54].

Изоляция электродов РВ испытывается переменным напряжением частотой 50 Гц в течение 1 мин. При испытании изоляции поднимают напряжение плавно. Величины испытательных напряжений для электродов РВ приведены в табл. 10-6 (ГОСТ 2329-62).

Испытывают каждый электрод при соединении всех других электродов с корпусом, корпус заземляется.

Формовка РВ производится с целью улучшения вакуума и обеспечения надежной работы преобразователя и, как правило, выполняется при напряжении питания выпрямителя 36—100 В в режиме короткого замыкания. Ток регулируется в этом случае с помощью системы сеточного управления. При формовке каждый ventиль преобразователя целесообразно нагрузить номинальным током на время 6—12 ч.

Допускается формовать РВ на рабочем напряжении в режиме короткого замыкания, В этом случае нагрузку на преобразователь

увеличивают ступенями в 10% номинальной, выдерживая каждую ступень в течение 1 ч. После нагрузки 50% можно установить номинальный ток и выдержать в этом режиме 6 ч. После формовки необходимо сразу же включить анодные нагреватели.

Таблица 10-4

Испыгуемые узлы и цепи преобразователя	Элементы, относительно которых производятся испытания	Действующее значение испытательных напряжений, В	
		при нулевых схемах	при мостовых схемах
Цепи, связанные с анодом, анодные делители, вентиляные обмотки преобразовательных трансформаторов, реакторов и их вводов Катоды и корпуса вентиляей, цепи, связанные с катодом Вторичные обмотки трансформаторов возбуждения и цепи, связанные с ними Первичные обмотки трансформаторов возбуждения и цепи, связанные с ними, первичные обмотки трансформаторов анодных грелок Ветви уравнивающего реактора	Рама преобразователя и другие цепи	$3U_{d0} + 5000$	$1,5U_{d0} + 5000$
	Рама преобразователя	$2U_{d0} + 1000$	$1,5U_{d0} + 5000$
	Рама преобразователя; первичные обмотки трансформаторов	$2U_{d0} + 1000$	$1,5U_{d0} + 3000$
	Рама преобразователя	2000	2000
	Другие ветви	$2U_{d0} + 1000$	—

Таблица 10-5

Электроды, между которыми измеряется сопротивление изоляции	Допустимое сопротивление изоляции, МОм
Главный анод — корпус	1000
Управляющая сетка — корпус	1000
Управляющая сетка — наружная сетка	1000
Анод возбуждения — корпус	10
Анод зажигания — корпус	10
Катод — корпус	0,0005

Таблица 10-6.

Электрод, на который подается испытательное напряжение	Значение испытательного напряжения, В
Главный анод	$U_m + 5\ 000$
Каждый вспомогательный электрод	1 500
Сетка	1 500
Катод	Мегомметр 500 В

Наладка автоматических быстродействующих выключателей типа ВАБ. Автоматические анодные быстродействующие выключатели типа ВАБ предназначены для защиты ртутных вентилей и источников питания от опасных динамических и термических воздействий аварийных токов при обратных зажиганиях. Автоматический анодный быстродействующий выключатель — поляризованный аппарат с малым собственным временем отключения, что в сочетании с быстрым нарастанием напряжения на дуговом промежутке позволяет ограничить ток обратного зажигания. В системах ионного возбуждения широко применяются выключатели типа 6 × ВАБ-10 и 6 × ВАБ-43 (рис. 10-7).

Основные технические данные 6 × ВАБ-10 и 6 × ВАБ-43-1 приведены в табл. 10-7.

Таблица 10-7

Тип выключателя	Номинальное значение		Полное время отключения, с	Обратный ток отключения, А
	Ток, А	Напряжение, В		
6 × ВАБ-10	2 000	825	0,015	2 500
6 × ВАБ-43-1-3000	3 000	1 050	0,015	1 200
6 × ВАБ-43-1-6000	6 000	1 050	0,015	2 400

При наладке ВАБ проверяется правильность монтажа токопроводов, правильность сборки выключателя, отсутствие заедания в подвижной системе и регулировка натяжения пружин. Замеряется сопротивление постоянному току катушек подмагничивания и управления, проверяется их полярность. Сопротивления катушек разных полюсов выключателя не должны отличаться более чем на 10%.

Уставка выключателя по току отключения регулируется (для ВАБ-10) изменением натяжения отключающей пружины. Нормальное натяжение пружины составляет 15—17 кгс. Уставка по току отключения для ВАБ-43 не регулируется.

В случае разборки выключателя ВАБ-43 при монтаже необходимо произвести подмагничивание постоянного магнита после

сборки выключателя. Подмагничивание производится при положении выключателя «включено» путем четырехкратной подачи в обмотку подмагничивания магнита тока не менее 38 А на время 1—2 с. При подмагничивании необходимо соблюдать полярность тока подмагничивания: при верхнем положении северного полюса магнита «+» источника питания следует подключать к зажиму обмотки

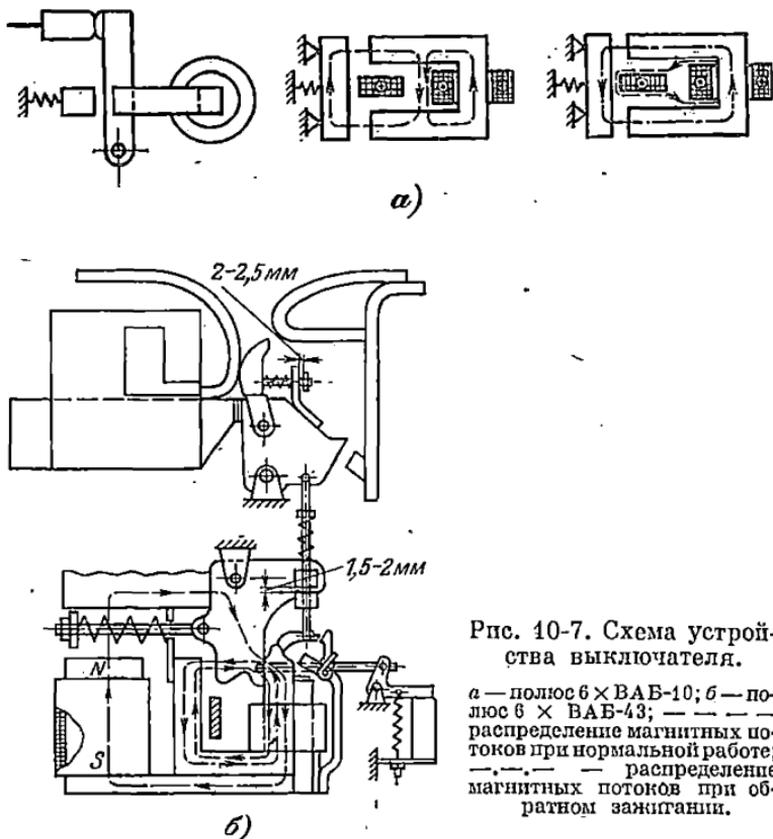


Рис. 10-7. Схема устройства выключателя.

*a* — полюс 6 × ВАВ-10; *б* — полюс 6 × ВАВ-43; — — — — — распределение магнитных потоков при нормальной работе; - · - · - · - — — — — — распределение магнитных потоков при обратном зажигании.

подмагничивания, обозначенному «Н». После операции подмагничивания устанавливается ток отключения. Далее проверяется четкость работы выключателя десятикратным включением и отключением выключателя.

Изоляция электрических цепей ВАВ испытывается в течение 1 мин переменным напряжением промышленной частоты следующей величины (ГОСТ 2585-57): между катушками подмагничивания и корпусом 7 500 В; между разомкнутыми главными контактами при закрытой дугогасительной камере 4 000 В.

Изоляция катушки подмагничивания постоянного магнита ВАВ-43 не испытывается.

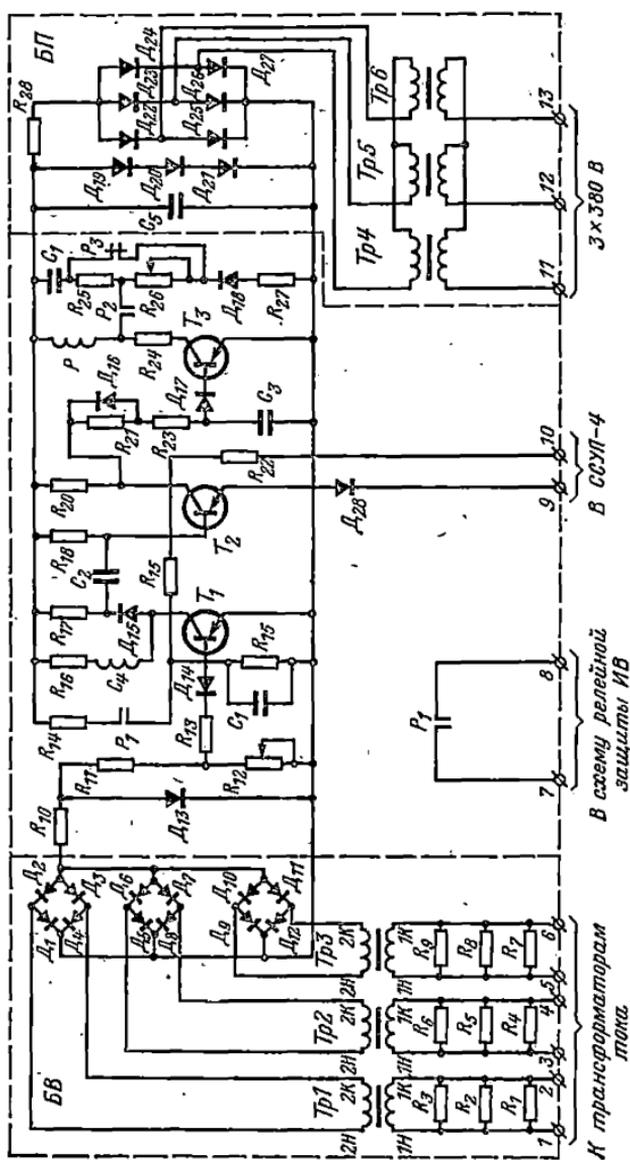


Рис. 10-8. Панель сеточной защиты выпрямителей типа ПСЗ-2.

**Наладка сеточной защиты ртутных вентиляей.** Защита силового оборудования возбудителя от длительного воздействия аварийных токов при возможных обратных зажиганиях вентиляей осуществляется сеточной защитой, которая действует на сьем импульсов управления всех вентиляей преобразователя в момент обратного зажигания

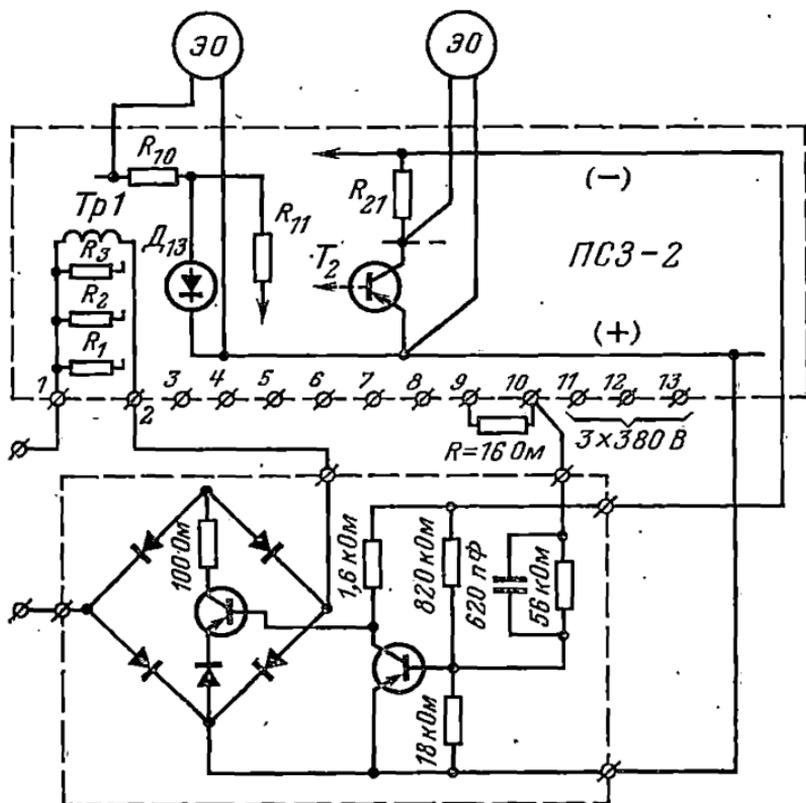


Рис. 10-9. Схема для проверки уставок сеточной защиты по напряжению и по времени.

и этим обеспечивает прекращение питания вентиля, давшего обратное зажигание, через нормально работающие вентиля.

Наиболее широкое распространение в настоящее время получила сеточная защита типа ПСЗ-2 (рис. 10-8), предназначенная для работы в комплекте с системой сеточного управления типа ССУП-4.

Наладка панели ПСЗ-2 производится в следующей последовательности.

1. Производится измерение сопротивления изоляции и испытание напряжением 1 000 В промышленной частоты цепей ПСЗ,

2. На каждый из трех входов  $BV$  поочередно подается заданный ток уставки срабатывания защиты и измеряется напряжение выхода  $BV$   $U_{\text{вых}BV}$ . Среднее из трех измеренных напряжений  $U_{\text{вых}BV}$  принимается за уставку срабатывания защиты по выходу  $BV$ . Напряжения выхода  $BV$ , соответствующие току уставки, должны отличаться друг от друга не более чем на  $\pm 5\%$ .

3. От одного из входов  $BV$  отсоединяются сопротивления, и на этот вход подается регулируемое переменное напряжение через дополнительное устройство (рис. 10-9), снимающее напряжение с входа  $BV$  при закрытии триода  $T_2$ . Включением ПСЗ через указанное устройство достигается имитация исчезновения тока обратного зажигания при срабатывании ПСЗ, что приближает условия настройки защиты к реальным условиям ее работы.

4. На вход блока питания подается напряжение  $3 \times 380$  В.

5. Движок потенциометра  $R_{12}$  (рис. 10-8) ставится в такое положение, чтобы ПСЗ начинала работать при выбранной уставке  $U_{\text{вых}BV}$  (см. п. 2).

6. По счетчику импульсов ПСЗ определяется количество срабатываний защиты за один цикл работы. Подбором сопротивлений  $R_{21}$ ,  $R_{23}$  устанавливается четыре-пять срабатываний в цикле.

7. Секундомером измеряется время блокировки  $t_{\text{бл}}$  защиты (время, в течение которого реле  $P$  находится в подтянутом состоянии). При отличии  $t_{\text{бл}}$  от  $1,5 \pm 0,2$  с движком сопротивления  $R_{26}$  устанавливается необходимое время блокировки.

8. При включении толчком напряжения на вход  $BV$  снимается осциллограмма работы защиты. Осциллографируются следующие величины:

- напряжение эмиттер-коллектор  $T_1$ ;
- напряжение эмиттер-коллектор  $T_2$ ;
- напряжение, подаваемое на вход  $BV$ .

По осциллограмме определяются: длительность запирающего импульса защит  $t_{\text{з.л}}$  (время нахождения  $T_2$  в закрытом состоянии) и время блокировки защиты.

9. При отличии  $t_{\text{з.л}}$  от требуемого ( $80 \pm 20$  мс) подбирается сопротивление  $R_{18}$  и повторно снимается осциллограмма.

10. Подсоединяют ранее отсоединенные от входа  $BV$  сопротивления.

При выбранной настройке защиты измеряют токи срабатывания и возврата защиты. Ток подается поочередно на входы  $A$ ,  $B$ ,  $C$  блока  $BV$  (рис. 10-8). Токи и напряжения срабатывания защиты измеряют в амплитудных значениях.

### 10-3. НАЛАДКА ИОННОГО ВОЗБУДИТЕЛЯ

Основные требования, предъявляемые к ионному возбуждителям:

- возбудитель должен обеспечить заданные потолки возбуждения;
- возбудитель должен обеспечить гашение поля генератора переводом преобразователя в режим инвертирования (это требование особенно важно для системы независимого возбуждения, где, как правило, не предусматривается автомата гашения поля);

3) характеристика возбудителя  $U_d = f(U_{упр})$  должна быть такой, чтобы дифференциальный коэффициент усиления (касательная в любой точке характеристики) в диапазоне изменения выпрямленного напряжения от 0,2 до 1,2—1,4 номинального значения отличался от среднего не более чем на  $\pm 20\%$ . При напряжении выше 1,2—1,4 номинального допускается изменение коэффициента усиления не более чем в 2 раза;

4) при отключенном регуляторе возбуждения возбудитель должен обеспечить выпрямленное напряжение на кольцах ротора генератора, близкое к номинальному значению.

При наладке следует учитывать требования необходимой загрузки по току форсировочной группы возбудителя, обеспечения минимально возможного времени гашения тока ротора генератора. Выполнение этих требований предусматривается проектом и выполняется при наладке соответствующим выбором режимов преобразователя.

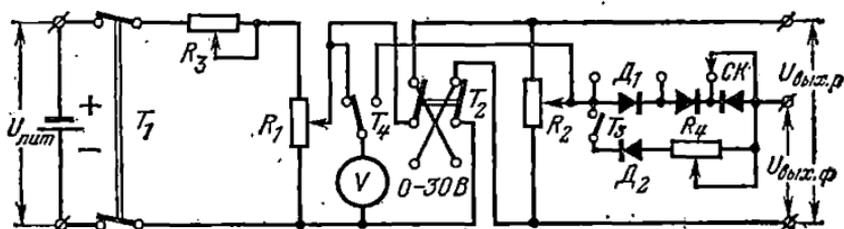


Рис. 10-10. Схема управления преобразователем.

$T_1$  —  $T_4$  — тумблеры;  $R_1$  —  $R_4$  — сопротивления типа ПП-5;  $D_1$ ,  $D_2$  — диоды типа Д-228; СК — стабилизаторы типа Д-814; V — вольтметр типа М-109.

зователя, согласованием углов регулирования по группам и выбором вида характеристик управления ионным возбудителем.

Снятие характеристики возбудителя  $U_d = f(U_{упр})$ . Характеристики снимаются по схеме, приведенной на рис. 10-10. Положение движка потенциометра  $R_1$  на схеме определяет соотношение напряжений управления по рабочей и форсировочной группам; диодно-стабилитронный узел позволяет задавать необходимую «зону нечувствительности» и вид характеристики управления по форсировочной группе.

До снятия характеристик производится выбор углов регулирования по группам при нулевом выходе регулятора (при нулевом сигнале управления). Для этого в системе сеточного управления смещением устанавливают такие углы регулирования по группам возбудителя, при которых на роторе генератора обеспечивается номинальное напряжение и ток форсировочной группы не превышает 30% общего тока групп, но достаточен для прогрева вентилей.

Обычно углы регулирования по группам при отключенном регуляторе составляют 25—50° для рабочей и 120—130° для форсировочной группы возбудителя. Предварительная оценка величин углов регулирования может быть сделана расчетом.

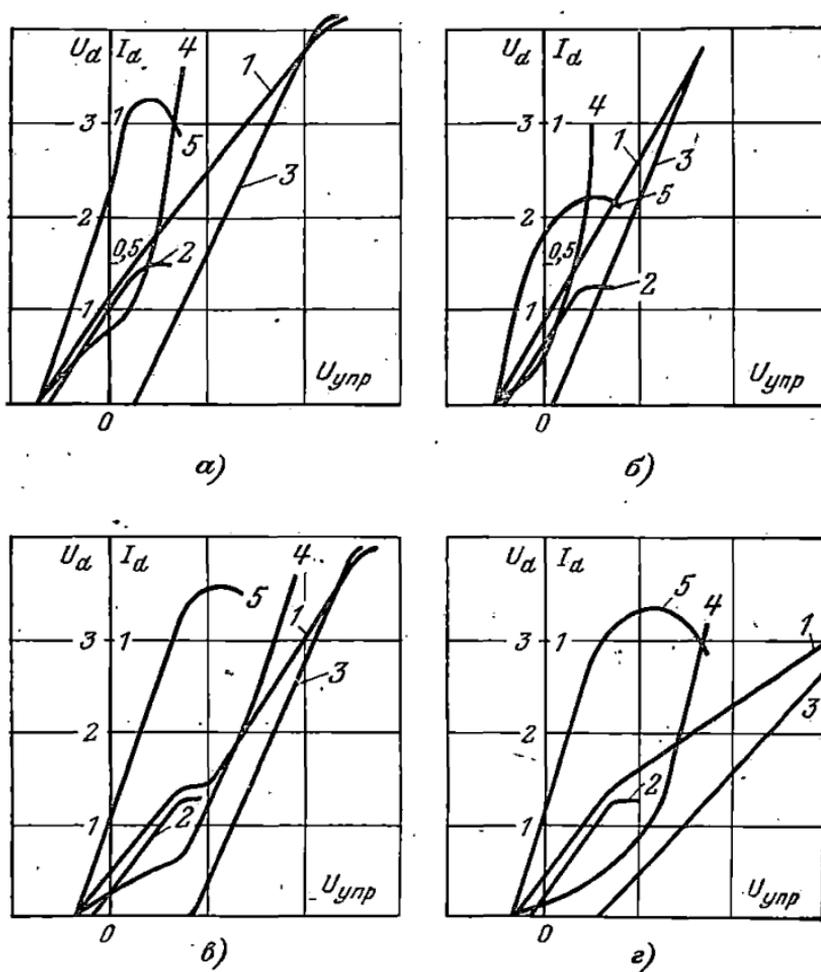


Рис. 10-11. Характеристики ионного возбуждителя.

1 —  $U_d = f(U_{упр})$  при совместной работе группы; 2 —  $U_d = f(U_{упр})$  при работе форсировочной группы; 3 —  $U_d = f(U_{упр})$  при работе рабочей группы; 4 —  $I_d = f(U_{упр})$  — ток форсировочной группы; 5 —  $I_d = f(U_{упр})$  — ток рабочей группы.

После выбора углов при нулевом сигнале управления снимается характеристика при управлении только рабочей группой, форсировочная группа при этом остается в работе, но не управляется.

По точке начала изгиба характеристики определяется момент начала управления форсировочной группой, т. е. определяется «зона нечувствительности» в характеристике управления форсировочной группой возбуждителя.

Отношение напряжений управления по группам выбирается предварительно из отношения

$$\frac{U_{\text{упр.р}}}{U_{\text{упр.ф}}} = \frac{1}{2} \frac{U_{\text{пит.ф}}}{U_{\text{пит.р}}},$$

где  $U_{\text{пит.р}}$  и  $U_{\text{пит.ф}}$  — напряжения питания групп преобразователя.

После предварительного выбора требуемой зоны нечувствительности для форсировочной группы и коэффициентов усиления по группам снимается характеристика возбудителя при управлении обеими группами. При этом может оказаться, что:

1) характеристика линейна и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ней (рис. 10-11, а);

2) характеристика линейна, но в номинальном режиме загрузка по току форсировочной группы больше допустимой (рис. 10-11, б). В этом случае необходимо увеличить зону нечувствительности и повторить снятие характеристики;

3) характеристика нелинейна. В момент вступления в работу форсировочной группы есть участок с низким коэффициентом усиления (рис. 10-11, в); в этом случае необходимо уменьшить зону нечувствительности;

4) характеристика линейна, но при работе форсировочной группы недопустимо снижен коэффициент усиления (рис. 10-11 г; следует увеличить коэффициент усиления форсировочной группой).

Может оказаться, что указанные мероприятия не обеспечивают требуемого вида характеристики. В этом случае будет полезным использование нелинейного характера угловой характеристики системы сеточного управления. Так, установка фазорегулятора на вход системы сеточного управления позволяет изменить вид характеристики.

Характеристики возбудителя должны быть сняты до потолочного значения выпрямленного напряжения, при этом возможны недопустимые перегрузки по току ротора, недопустимое повышение напряжения генератора. Вследствие этого рекомендуется проводить предварительную настройку системы с сопротивлением, включенным последовательно с обмоткой ротора. Величина погрешности в характеристиках снятых, с включенным сопротивлением, по отношению к действительным зависит от величины включенного сопротивления и в случае использования для этих целей сопротивления самосинхронизации (обычно величина сопротивления самосинхронизации равна пятикратному сопротивлению обмотки ротора) составляет 15—20%.

При работе возбудителя непосредственно на ротор генератора характеристики снимаются повторно при совместной и раздельной работе группы возбудителя<sup>1</sup>. По окончании снятия характеристик возбудителя проводится их анализ и определяются коэффициенты усиления АРВ по каналам рабочей и форсировочной групп возбудителя.

<sup>1</sup> Характеристики снимаются до момента вступления в работу форсировочной группы преобразователя.

Наладка инверторного режима ионного возбуждителя. В системах независимого ионного возбуждения гашение поля генератора осуществляется переводом преобразователя в инверторный режим. Поэтому при наладке необходимо отработать инверторный режим с тем, чтобы обеспечить надежное и быстрое гашение поля.

Перевод преобразователя из выпрямительного режима в инверторный осуществляется подачей команды на гашение поля генератора по цепям автоматики возбуждителя.

Обработку режимов инвертирования производят, начиная с токов ниже токов возбуждения холостого хода генератора и кончая двукратным от номинального тока ротора. При обработке инверторного режима необходимо, чтобы время гашения было меньше или равно времени гашения, заданного проектом возбуждителя.

При двухгрупповой схеме ионного возбуждителя инвертирование тока ротора может осуществляться:

- 1) при работе обеих групп преобразователя;
- 2) при работе одной форсировочной группы;
- 3) двухступенчатым гашением, когда процесс инвертирования

начинается при совместной работе групп преобразователя, а заканчивается по форсировочной группе.

Способ инвертирования выбирается по наименьшему времени гашения поля генератора.

При работе возбуждителя возможны «срывы» инверторного режима. Чаще всего «срыв» происходит в момент перевода возбуждителя из режима выпрямления в режим инвертирования. Причиной «срывов» могут быть:

1) большая скорость перевода преобразователя в инверторный режим, что может быть недопустимым для дуговой схемы преобразователя с уравнительными реакторами. При безынерционном переводе возбуждителя в режим инвертирования возможно насыщение уравнительного реактора из-за изменения формы напряжений на нем. Устранить срыв инвертора в этом случае можно увеличением времени перевода в режим инвертирования. В системе сеточного управления типа ССУП-4 это достигается увеличением емкости  $C_2$ ,  $C_3$  (рис. 10-5);

2) «Нехватка угла», т. е. такой режим при котором положительное напряжение на аноде вентиля появляется раньше, чем сетка восстанавливает свои запирающие свойства. К нехватке угла может привести высокая температура охлаждающей воды и перегрев вентиля. При нормальной температуре охлаждающей воды устранение срыва инвертора при «нехватке угла» достигается уменьшением угла регулирования в инверторном режиме;

3) ложные импульсы и наводки в цепях сеточного управления. Эта причина может быть устранена прокладкой проводов, связанных с сетками вентиля, вдали от силовых цепей преобразователя, укорочением их длины или экранировкой. Провода, соединяющие сетку вентиля с элементами системы управления, не должны охватывать замкнутых металлических контуров.

Величина ложных импульсов и наводок может быть уменьшена увеличением емкости  $C$  сетка — катод (рис. 10-4). Необходимо помнить, что при увеличении этой емкости происходит снижение кру-

тизны переднего фронта сеточного импульса и увеличивается нагрузка на систему сеточного управления;

4) Погасание дуги возбуждения, что может быть устранено соответствующей фазировкой цепей питания возбуждения и зажигания вентиля с напряжением питания преобразователя и увеличением тока возбуждения.

Кроме причин, указанных выше, к «срыву» инверторного режима могут приводить: асимметрия сеточных импульсов, переходный процесс в фильтре, через который осуществляется питание цепей системы сеточного управления, неисправность блоков запирающего напряжения. Эти причины могут быть устранены наладкой соответствующих элементов.

Причины «срыва» инверторного режима могут быть определены при анализе осциллограммы процесса инвертирования. Скорость развертки осциллограммы должна позволять произвести расшифровку работы возбудителя в течение каждого периода.

Надежность работы преобразователя в режиме инвертирования проверяется 5—10-кратным гашением двукратного номинального тока ротора.

После отработки режимов гашения окончательно определяется требуемая характеристика управления преобразователем и ее вид, производится настройка работы автоматики, обеспечивающей перевод возбудителя в инверторный режим.

#### 10-4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ НАЛАДКА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ВОЗБУЖДЕНИЯ СИЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ТИПА АРВ-ГГ\*

Структурная схема регулятора приведена на рис. 10-12.

Общая проверка блоков АРВ-ГГ. Производится внешний осмотр и тщательная проверка паек. Измеряется сопротивление изоляции схем блоков и испытывается повышенным напряжением промышленной частоты. Условия испытаний повышенным напряжением обычно указываются на монтажных схемах блоков АРВ. Величины испытательных напряжений и условия испытаний приведены в табл. 10-8, составленной на основании указаний завода-изготовителя.

Снимают характеристики «вход-выход» блоков и сравнивают их параметры с заводскими. Снятие промежуточных характеристик блоков и проверка отдельных их элементов (трансформаторов, дросселей, сопротивлений, стабилизаторов, диодов, магнитных усилителей и т. д.), как правило, не производится, так как такая проверка требует распайки схемы, что само по себе может явиться причиной неисправности. Проверка элементов схемы и снятие промежуточных характеристик производятся лишь в том случае, если обнаруживается неисправность блока, несоответствие характеристик «вход-выход» типовым характеристикам или требуется перенастройка блока.

Перед снятием характеристик необходимо стабилизировать температурный режим блока включением питания блока на 30—60 мин

\* Описание дается в соответствии с требованиями [Л. 55].



до начала измерений. Это требование особенно важно для блоков, имеющих в своей схеме магнитные усилители.

Таблица 10-8

Испытание изоляции блоков АРВ

Испытуемые узлы и цепи	Цепи и узлы, относительно которых производится испытание	Действующее значение испытательного напряжения, В	Условия испытания
Электрические цепи всех блоков	Корпус	2000	Все конденсаторы, диоды, стабилизаторы закорочены
Обмотки магнитных усилителей, трансформаторов, сельсина	Между собой	1 000	Накладки в верхнем положении
Цепи, электрически связанные с ротором генератора	Корпус	7 500	Поляризованные реле вынуты из своих гнезд

Наладка магнитных усилителей (МУ) регулятора. Производится выбор рабочего напряжения питания МУ и снятие характеристик МУ. Для этого проверяемый МУ отключается со всех сторон, чтобы исключить воздействия обратной связи, цепей смещения, управления и т. п. Отключается напряжение питания одного плеча МУ. К контрольному входу МУ подключается регулируемый источник постоянного тока через сопротивление, равное примерно 5 кОм, и устанавливается такое значение тока управления, которое соответствует записанию проверяемого плеча МУ.

На зажимы питания блока переменным напряжением через ЛАТР подается напряжение источника питания и снимается характеристика плеча А (рис. 10-13):

$$U_{\text{вых А}} = f(U_{\text{пит}}).$$

По характеристике определяется напряжение питания, соответствующее точке перегиба. Точка перегиба определяется как точка пересечения двух прямых, соответствующих ходу характеристики до и после перегиба (точка А). Отключается питание проверенного плеча, подключается ранее отключенное, меняется полярность тока управления. Аналогично снимается характеристика второго плеча и определяется напряжение, соответствующее точке перегиба характеристики.

Номинальное рабочее напряжение питания МУ должно составлять не более 0,95 меньшего значения из напряжений, соответствующих точкам перегиба. Это напряжение выставляется подбором числа витков на трансформаторе питания МУ при номинальном напряжении питания блока.

Поочередно снимаются характеристики управления плеч  $MУ$   $U_{\text{вых A(B)}} = f(i_{\text{упр}})$  (рис. 10-14) при выбранном напряжении питания и при отключенном другом плече. Разница в коэффициентах усиления плеч одного  $MУ$  не должна превышать 10—15%, линейность характеристик и линейной части изменения выходного напряжения должна соблюдаться с точностью до  $\pm 10\%$ , разброс характеристик управления в том же диапазоне изменения выходного напряжения не должен превышать 1 мА.

После этого включаются по питанию оба плеча  $MУ$ , включается цепь смещения и изменением тока смещения устанавливается рабочая точка плеч  $MУ$ , которая должна лежать в середине линейной части характеристики управления плеча. При токе управления, равном нулю, перераспределением токов смещения в обмотках плеч устанавливается суммарное выходное напряжение плеч  $MУ$ , равное нулю. При этом необходимо проверить, что рабочая точка каждого плеча осталась в середине линейной части характеристики плеча.

Снимается характеристика управления  $MУ$   $U_{\text{вых}} = f(i_{\text{упр}})$  (рис. 10-14) при работе обоих плеч. Характеристика должна быть линейной в зоне значенных напряжений рабочих точек плеч с точностью  $\pm 10\%$ , иметь крутизну на уровне  $U_{\text{вых}} = 0$ , равную 1,5 ÷ 2-кратному значению крутизны в рабочей точке плеча, и иметь максимальное значение 0,8—0,9 максимального значения напряжения плеча.

Требуемый коэффициент усиления  $MУ$  достигается введением жесткой отрицательной обратной связи. При каскадном соединении двух  $MУ$  требуемый коэффициент усиления обеспечивается жесткой отрицательной обратной связью, охватывающей оба каскада, но при этом возможно нарушение внутренней устойчивости  $MУ$ . В этом случае необходимо усилить обратную связь, охватывающую первый каскад и ослабить общую обратную связь для сохранения общего коэффициента усиления неизменным.

**Проверка блока ПЧМ.** На зажимы 6—7 блока ПЧМ (магнитный преобразователь частоты) подключается нагрузочное сопротивление 100 Ом, 100 Вт. На зажимы 1, 3, 5 подается трехфазное напряжение, регулируемое в пределах 200—440 В (рис. 10-15).

Вольтметром выпрямительной системы типа Ц56, Ц435 измеряется значение выходного напряжения при напряжении питания 380 В (должно быть  $110 \pm 1$  В). Величина выходного напряжения регулируется изменением отпаек выходного трансформатора Т10.

Определяется напряжение начала стабилизации блока ПЧМ при медленном увеличении напряжения питания. Если напряжение

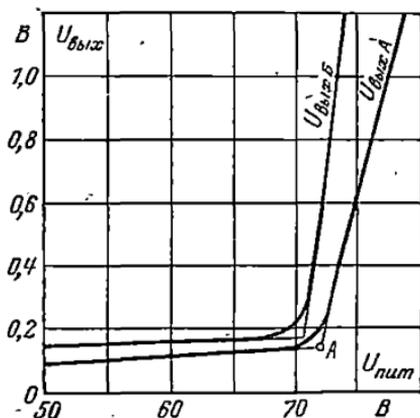


Рис. 10-13. Характеристики плеч магнитного усилителя  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{пит}})$ .

начала стабилизации меньше 210—230 В, необходимо уменьшить индуктивность дросселей  $D_1 - D_3$  увеличением воздушного зазора.

Снимается характеристика стабилизации  $U_{450} = f(U_{пит})$  для нагрузки  $R_H = 100$  Ом (рис. 10-16, а).  $U_{пит}$  изменяется от 220 до 480 В. Измеряется напряжение «срыва» стабилизации при уменьшении напряжения питания.

Снимается внешняя характеристика блока ПЧМ  $U_{450} = f(I_{450})$ , (рис. 10-16, б). Сопротивление  $R_1$  ПЧМ отключается и на выход блока подключается реостат 250 Ом, 2,5 А. Характеристика снимается в диапазоне изменения тока выхода  $I_{450} = 0,5 \div 2,0$  А. При изменении тока в указанном диапазоне напряжение  $U_{450}$  не должно меняться более чем на 10—12 В. Внутреннее сопротивление блока не должно быть более 7 Ом. При несоблюдении указанных условий следует подобрать величину емкости  $C_4$  продольной компенсации.

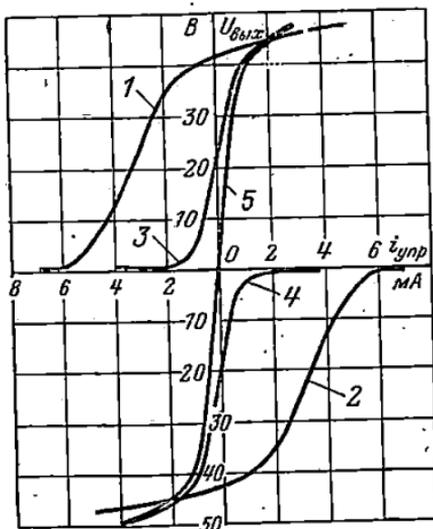


Рис. 10-14. Характеристики магнитного усилителя.

1, 2 — характеристики плеч МУ при отключенном смещении; 3, 4 — то же, но цепь смещения выключена; 5 — характеристика МУ.

ния выхода усилителей. Контроль настройки производится по вольтметру, расположенному на лицевой панели блока ОБ.

Порядок операций при балансировке следующий.

**Балансировка усилителя У1.** Распаивается цепь обратной связи  $У2Ф - У1$ , чтобы избежать воздействия выхода  $У2Ф$  на вход  $У1$ ; переключатель вольтметра ставится в положение *Выход У1*; измеряется напряжение *Выход У1* — и при отличии его от нуля движком потенциометра  $R_{28}$  «установка нуля» добиваются установки напряжения выхода, равного нулю. Переключатель вольтметра ставится в положение  $У1А$  и производится измерение напряжения плеча А усилителя  $У1$ , которое должно быть в пределах  $18 \pm 3$  В. При отличии этого напряжения от указанного значения производится установка напряжения движком потенциометра  $R_{44}$  «смещение  $У1$ »; после этого снова производится установка нулевого значения напряжения выхода усилителя  $У1$  и снова проверяется напряжение  $У1А$ .

**Проверка операционного блока ОБ.** К выходам операционного блока для рабочей и форсировочной групп вентиляй подключаются сопротивления по 870 Ом, имитирующие входные сопротивления ССУП-4. На ОБ подается питание 110 В, 450 Гц от блока ПЧМ (рис. 10-17). При отсутствии сигнала управления производится балансировка усилителей, заключающаяся в установке напряжений на плечах магнитных усилителей и установке нулевого значения напряже-

Аналогичные операции производятся до тех пор, пока при нулевом значении напряжения выхода У1 напряжение У1А не будет равно  $18 \pm 3$  В.

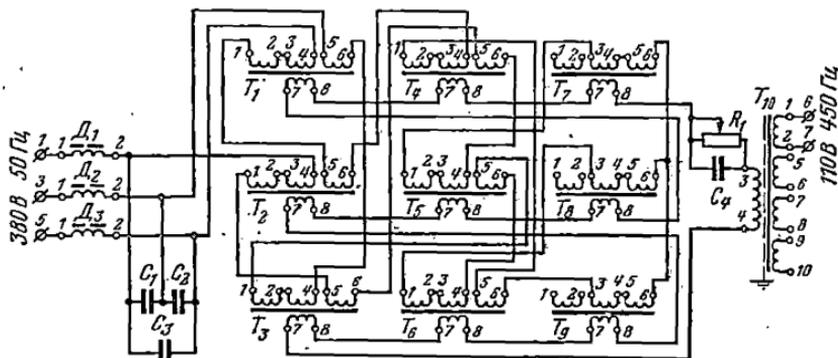


Рис. 10-15. Схема магнитного преобразователя частоты ПЧМ.

Балансировка усилителя У2Ф. Выход У1 закорачивается; производится установка нулевого значения напряжения выхода У2Ф движком потенциометра  $R_{43}$  «установка нуля» и напряжения  $18 \pm 3$  В на плече У2Ф—А усилителя движком потенциометра  $R_{50}$  «смещение У2Ф».

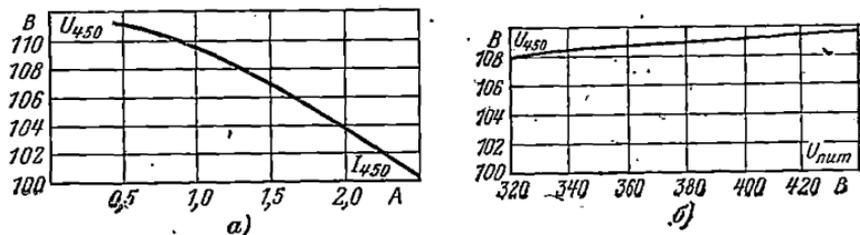


Рис. 10-16. Характеристика стабилизации  $U_{450} = f(U_{пит})$  блока ПЧМ (а) и внешняя характеристика  $U_{450} = f(I_{450})$  блока ПЧМ (б.)

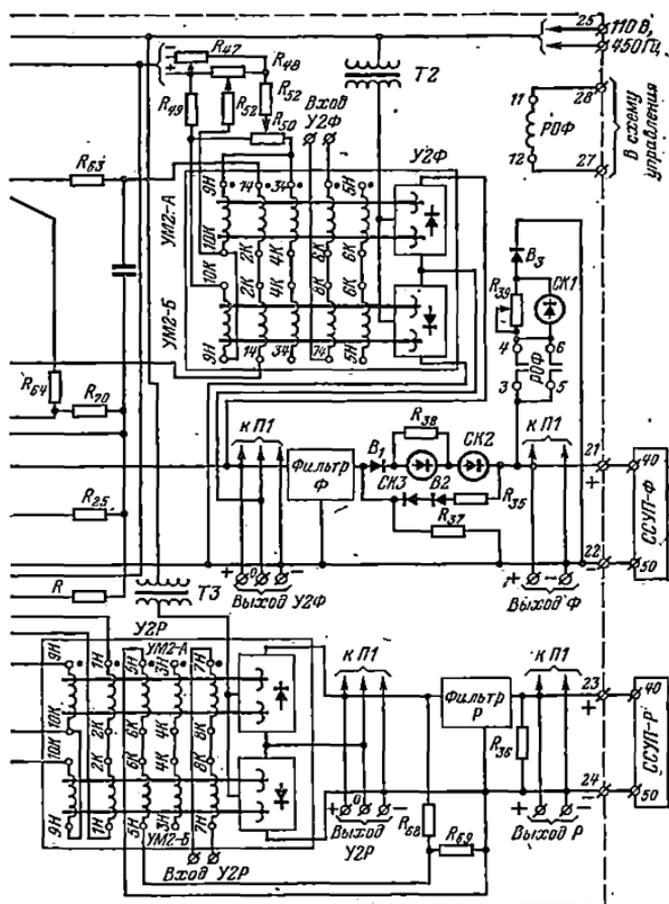
Операция балансировки аналогична балансировке усилителя У1.

Балансировка усилителя У2Р. Выход У2Ф закорачивается. Балансировка производится потенциометрами  $R_{50}$  «установка нуля» и  $R_{58}$  «смещение У2Р» аналогично балансировке У1 или У2Ф. Восстанавливается схема У1—У2Ф—У2Р, снимаются закоротки с выходов У1, У2Ф, восстанавливается цепь обратной связи У2Ф—У1. Балансировка производится потенциометром  $R_{28}$  «установка нуля У1».

Снимают «сквозные» характеристики ОВ  $U_{вых У2Р}$ ,  $U_{вых Р}$ ,  $U_{вых У2Ф}$ :  $U_{вых Ф} = f(i_{упр})$  (рис. 10-18).



При положении накладки переключателя «корректирующая цепь» на делении «8» с помощью электронного осциллографа убеждаются в отсутствии автоколебаний на выходе У2Ф.



а)

ционного блока (а).

Автоколебания должны отсутствовать также при любом положении накладок на лицевой панели блока ОБ (верхнем, нижнем и нейтральном), при любом положении переключателя корректирующей цепи в пределах 0—8 делений и при любом сигнале на входе усилителя.

При наличии автоколебаний добавляются их устранения путем уменьшения величины сопротивления  $R_{64}$  в цепи отрицательной обратной связи усилителя У1. Подобранный величина  $R_{64}$  не должна

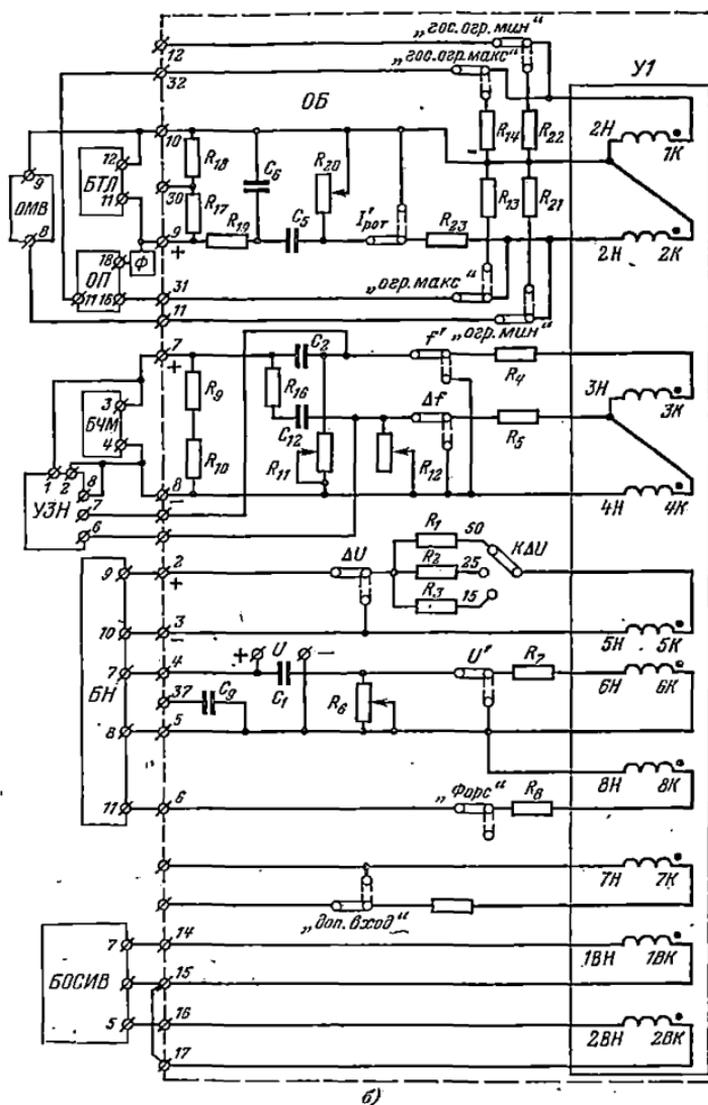


Рис. 10-17. Схема операционных цепей блока ОБ (б).

быть меньше 300 Ом. Если изменяется сопротивление  $R_{64}$ , то следует изменить также сопротивление  $R_{65}$  или  $R_{66}$ , чтобы добиться требуемого коэффициента усиления по  $U_{2\Phi}$ .

По электронному осциллографу замеряется величина двойной амплитуды пульсации на выходах  $P$  и  $\Phi$ . Величина двойной амплитуды пульсации не должна быть более 250 мВ.

Проверяются коэффициенты усиления блока  $OB$  по входным каналам. Коэффициенты усиления блока по каналам определяются по 5—6 точкам, снятым в диапазоне  $\pm 15$  В для напряжения  $U_{\text{вых}\Phi}$  при закороченных диоде  $B_1$  и стабилитронах  $CK2$ ,  $CK3$  выходной цепи.

Для каналов  $\Delta U$ ,  $U'$ ,  $\Delta f$ ,  $f'$ ,  $I'_{\text{рот}}$  «форсировка» коэффициенты усиления определяются по напряжению (размерность В/В), для каналов «огр. мин», «огр. макс», «огр. макс», «огр. макс»,  $ЖОС$ ,  $ГОС$  коэффициенты усиления определяются по току (размерность В/мА).

Коэффициент усиления по  $\Delta U$  определяется для трех положений накладки  $\Delta U$ , а именно: 15, 25 и 50.

Коэффициенты усиления по  $U'$ ,  $\Delta f$ ,  $f'$ ,  $I'_{\text{рот}}$  определяются при положении соответствующих переключателей 10 дел. (емкости в каналах при измерении закорочены).

Проверяется исправность переключателей каналов  $U'$ ,  $\Delta f$ ,  $f'$ ,  $I'_{\text{рот}}$  при сигнале управления, соответствующем напряжению  $U_{\text{вых}\Phi} = 10$  В. Производится изменение положения переключателя канала от 0 до 10; при этом напряжение должно изменяться ступенями примерно через 1 В.

При проверке коэффициентов усиления по каналам одновременно проверяется полярность действия сигналов.

Определяются динамические характеристики магнитных усилителей. На контрольный вход  $VI$  толчком подается сигнал, соответствующий напряжению  $U_{\text{вых}P} = 10 \div 15$  В. Процесс осциллографируется.

Постоянная времени переходного процесса  $УМС$  определяется как время от момента подачи сигнала до того момента, когда напряжение выхода достигнет 63% установившегося значения (рис. 10-19). Величина  $\tau_{УМС}$  не должна превышать 30 мс. Положение переключателя «корректирующая цепь» во время опыта — на делении 0.

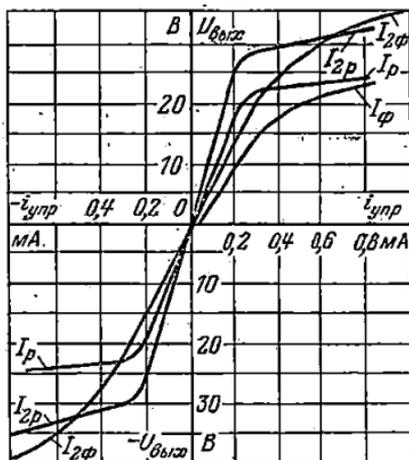


Рис. 10-18. Характеристики  $U_{\text{вых}} = f(i_{\text{упр}})$  блока  $OB$ .

Коэффициенты усиления:  $k_{I_{2\Phi}} = 72$  В/мА;  $k_{I_{\Phi}} = 52$  В/мА;  $k_{I_P} = 125$  В/мА;  $k_{I_P} = 91$  В/мА.

По осциллограмме измеряется время запаздывания сигнала на выходе блока при снятии сигнала на форсировку. Время запаздывания определяется как время от момента снятия сигнала управления до момента, когда напряжение на выходе блока *ОВ* понизится до 0,95 начального значения.

Проверка блока напряжения БН. На зажимы 9—10 блока *БН* подключаются сопротивление 47 кОм (тип МЛТ-2), имитирующее нагрузку этой цепи, и вольтметр постоянного тока с большим внутренним сопротивлением (например, типа Ц-435; рис. 10-20).

На зажимы 2, 3, 4 блока подается трехфазное напряжение  $U_{вк}$  от регулируемого источника (пределы регулирования напряжения 0—140 В, асимметрия напряжений не более одного процента) и подключается вольтметр переменного тока.

Проверяется симметрия напряжений на входе выпрямительного моста  $B_3$ ; напряжения на входе схемы  $3 \times 100$  В и напряжения на входе выпрямителя  $B_3$  не должны отличаться друг от друга более чем на 3 %.

Изменением напряжения входа *БН* устанавливается напряжение на клеммах «±» около 200 В. Измеряются напряжения на

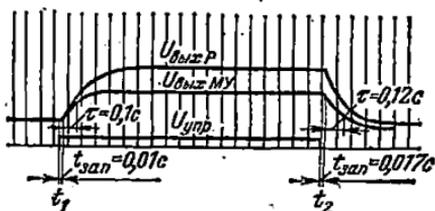


Рис. 10-19. Осциллограмма переходного процесса *ОВ*.

стабилитронах  $СК_1$ ,  $СК_2$  нелинейного моста измерительного органа. Напряжения на стабилитронах  $СК_1$  и  $СК_2$  при этом должны быть в пределах 96—104 В, а  $\Delta U$  в пределах  $\pm 4$ В.

Снимается характеристика  $U_{вк} = f(\varphi)$ , где  $\varphi$  — угол положения потенциал-регулятора, отсчитываемый по лимбу, расположенному с лицевой стороны блока *БН*. При снятии характеристики угол  $\varphi$  изменяется в диапазоне 0—180° с интервалом 30°.

напряжение  $U_{вк}$  при этом изменяется таким образом, чтобы напряжение на выходе измерительного моста все время оставалось равным нулю ( $\Delta U = 0$ ).

Снятая характеристика (рис. 10-21) должна удовлетворять следующим условиям: при изменении угла  $\varphi$  от нуля до 180° изменение напряжения  $U_{вк}$ , соответствующее изменению вторичного напряжения генератора в пределах 0,8—1,1  $U_r$ , должно быть симметричным относительно напряжения, близкого к 0,95  $U_r$ . При несоблюдении этих условий производится подстройка характеристики изменением сопротивления  $R_1$ . Если этого оказывается недостаточно, изменяется положение ротора потенциал-регулятора относительно статора.

Определяется угол  $\varphi_{н}$ , при котором напряжение  $U_{вк}$  равно номинальному вторичному напряжению генератора  $U_r$ , а напряжение  $\Delta U$  равно нулю.

При положении переключателя « $U_{форс}$ » на делении «0» снимаются характеристики  $\Delta U = f(U_{вк})$  для трех положений ротора потенциал-регулятора:  $\varphi = 0^\circ$ ,  $\varphi = \varphi_{ном}$  и  $\varphi = 180^\circ$  (рис. 10-22).



По характеристикам определяются коэффициенты усиления  $k$  по каналу. Коэффициенты должны быть равны:

$$k = 2,3 \pm 10\% \text{ при } \varphi = 0^\circ;$$

$$k = 2,0 \pm 10\% \text{ при } \varphi = \varphi_H;$$

$$k = 1,7 \pm 10\% \text{ при } \varphi = 180^\circ.$$

Проверяется цепь «подпора» измерительного органа блока БН. При  $U_{вх} = 0$  на зажимы 5—6 подается напряжение 110 В, 450 Гц от блока ПЧМ. Измеряется напряжение на зажимах «±», которое должно быть в пределах  $120 \pm 10$  В.

При  $\varphi = \varphi_H$  и положении переключателя  $U_{форс}$  на делении 0 снимается характеристика  $\Delta U = f(U_{вх})$  с включенным напряжением

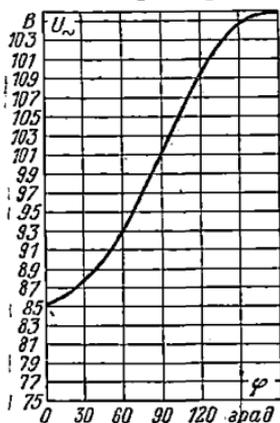


Рис. 10-21. Характеристика БН и АРВ-ГГ  $U_{\sim} = f(\varphi^\circ)$  при  $\Delta U = 0$ .

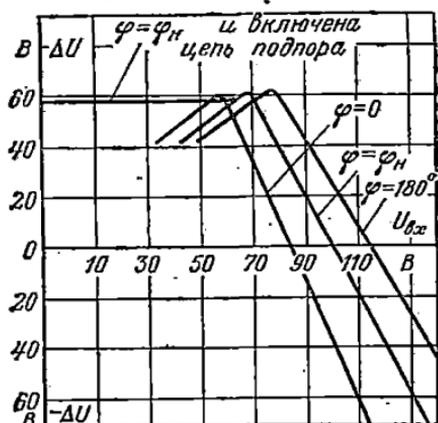


Рис. 10-22. Характеристики БН АРВ-ГГ  $\Delta U = f(U_{вх})$ .

«подпора» (рис. 10-22). При  $\varphi = \varphi_H$  проверяется работа реле форсировки РФ. Для фиксирования момента срабатывания реле РФ на зажимы 8—11 БН подключается вольтметр, который при срабатывании реле измеряет напряжение «подпора».

При изменении напряжения  $U_{вх}$  фиксируются моменты срабатывания и отпадания реле РФ при положениях переключателя « $U_{форс}$ » от «0» до «10». Напряжения срабатывания реле РФ должны составлять  $0,82—0,95 U_{г.}$  Коэффициенты возврата реле РФ не должны быть ниже 0,98.

Проверяется работа схемы «подгонки» уставки АРВ при самосинхронизации. При  $\varphi = \varphi_H$  и положении реле РПУ «сработано» напряжение  $U_{вх}$  увеличивается от значения  $U_{вх} = U_{г.н}$  до момента срабатывания реле РПБ, при этом измеряются величины напряжений  $U_{вх}$  и  $\Delta U$ . Далее напряжение  $U_{вх}$  уменьшается и измеряются напряжения  $U_{вх}$  и  $\Delta U$ , при котором реле РПБ отпадает.

Аналогично, но при  $U_{вх} < U_{г.н}$ , производятся измерения напряжений срабатывания и отпадания реле РПМ. Напряжения срабаты-

вания и возврата реле по напряжению должны составлять соответственно не более 2,6 и 0,7 В.

Проверяется работа двигателя ДВ изменения установки.

На зажимы 19—20 БН подается напряжение 100 В; к зажимам 17—18 подключается сопротивление  $R_{ш}$  блока БКТ (зажимы 5—6).

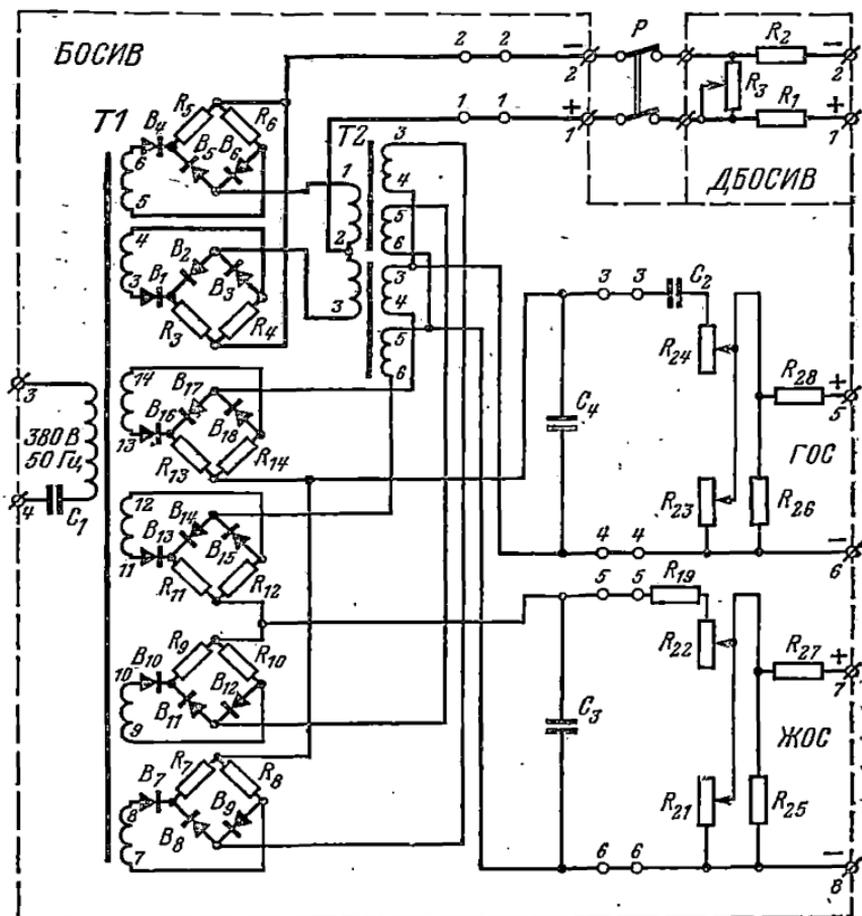


Рис. 10-23. Схема блоков обратной связи БОСИВ и ДБОСИВ.

Включается реле РУВ, при этом двигатель должен вращаться против часовой стрелки, а при включении реле РУМ по часовой стрелке. Измеряется время, за которое ротор потенциал-регулятора перемещается от 0 до 180°. Это время должно составлять  $60 \pm 6$  с.

Проверка блока обратной связи БОСИВ (рис. 10-23).

а) Снимается характеристика стабилизации напряжения трансформатора Т1 (рис. 10-23).

Для этого на зажимы 3—4 блока подается напряжение питания  $U_{\text{пит}} = 0 \div 440$  В от регулируемого источника переменного тока.

Снимается характеристика  $U_{7-8} = f(U_{\text{пит}})$ , где  $U_{7-8}$  — напряжение на зажимах 7—8 трансформатора Т1 (рис. 10-24).

Напряжение начала стабилизации должно быть не ниже 320 В; крутизна характеристики на стабилизируемом участке должна быть не более 0,04—0,06 В/В.

б) Снимаются характеристики  $I_{\text{вых ГОС}} = f(U_{\text{вых}})$  и  $I_{\text{вых ЖОС}} = f(U_{\text{вх}})$  (рис. 10-25).

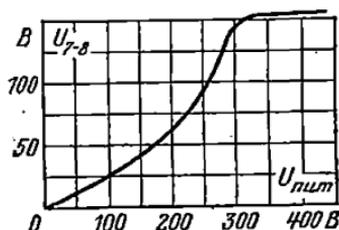


Рис. 10-24. Характеристика стабилизации питания БОСИБ  $U_{7-8} = f(U_{\text{пит}})$ , порог стабилизации 300 В.

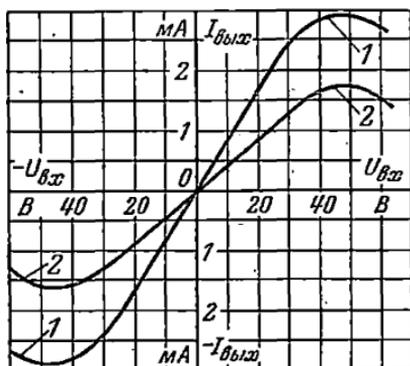


Рис. 10-25. Выходные характеристики БОСИБ при положениях переключателей ГОС и ЖОС на делении 10.

$$1 - I_{\text{вых ГОС}} = f(U_{\text{вх}}); S_{\text{ГОС}} = 0,08 \text{ мА/В}; 2 - I_{\text{вых ЖОС}} = f(U_{\text{вх}}); S_{\text{ЖОС}} = 0,04 \text{ мА/В}.$$

Для этого на выходы ЖОС (зажимы 7—8) и ГОС (зажимы 5—6) блока подключаются миллиамперметры магнитоэлектрической системы; закорачивается емкость  $C_2$  в цепи ГОС; переключатели ЖОС и ГОС ставятся в положение 10, на зажимы 3—4 подается напряжение 380 В, 50 Гц; на зажимы 1—2 подается напряжение входа  $U_{\text{вх}}$  величиной  $\pm 70$  В от источника регулируемого напряжения постоянного тока.

Характеристика  $I_{\text{вых ГОС}} = f(U_{\text{вх}})$  должна быть линейной с точностью  $\pm 5\%$  в диапазоне изменения тока  $I_{\text{вых ГОС}} = \pm 2,3$  мА, иметь максимальные значения  $I_{\text{вых ГОС}}$  не менее  $\pm 2,5$  мА и крутизну на линейном участке  $S \geq 0,06$  мА/В.

Характеристика  $I_{\text{вых ЖОС}} = f(U_{\text{вх}})$  должна быть линейной с точностью  $\pm 5\%$  в диапазоне изменения тока  $I_{\text{вых ЖОС}} = \pm 1,3$  мА, иметь максимальные значения  $I_{\text{вых ЖОС}}$  не менее  $\pm 1,55$  мА и крутизну на линейном участке  $S \geq 0,035$  мА/В.

в) Проверяется работа переключателей ЖОС и ГОС. При положении переключателей ЖОС — 10, ГОС — 0 изменением напряжения входа устанавливается ток в цепи ЖОС —  $I_{\text{ЖОС}} = 1$  мА. Изме-

няя положение переключателя ЖОС от 10 до 0, убеждаются, что ток в цепи ЖОС уменьшается ступенями по 10%. При положении переключателей ГОС — 10, ЖОС — 0 изменением напряжения входа устанавливается ток в цепи ГОС —  $I_{ГОС} = 2$  мА. Изменяя положение переключателя ГОС от 10 до 0, убеждаются, что ток в цепи ГОС уменьшается ступенями по 10%.

г) Проверяется взаимное влияние цепей ЖОС и ГОС. При положении переключателей ЖОС и ГОС — 10 изменением напряжения входа устанавливается ток в цепи ГОС —  $I_{ГОС} = 2$  мА. Следует убедиться, что при отключении одной из цепей (ЖОС или ГОС) ток в другой цепи не изменяется более чем на 20%.

д) Проверяется работа цепи ГОС с включенной емкостью  $C_2$ . При подаче импульсов постоянного тока на вход блока на выходе блока должны появляться импульсы той же полярности.

е) Измеряются величины пульсации на выходе блока. На выходы блока (зажимы 5—6 и 7—8) подключаются нагрузочные сопротивления величиной 3 кОм. При положении переключателей ЖОС — 6, ГОС — 2 электронным осциллографом определяется величина двойной амплитуды пульсаций на выходах блока.

При отсутствии сигнала на входе блока величина двойной амплитуды пульсации частоты 50 Гц не должна превышать:

$$A_{50ЖОС} \leq 200 \text{ мВ};$$

$$A_{50ГОС} \leq 150 \text{ мВ}.$$

При максимальном управляющем сигнале на входе  $U_{вх} = 48$  В величина двойной амплитуды пульсаций частоты 100 Гц не должна превышать:

$$A_{100ЖОС} \leq 1\text{В};$$

$$A_{100ГОС} \leq 0,75 \text{ В}.$$

**Проверка блока перегрузки по току ротора ОП (рис. 10-26).**

а) Производится проверка магнитного усилителя УМС. Для этого отключаются провода на сопротивлениях  $R_{26}$  в цепи управления усилителем У2 со стороны У1 в цепи ГОС УМС. На зажимы 1—2 блока подается напряжение питания 110 В, 450 Гц. Движком сопротивления «смещение»  $R_{10}$  на плечах усилителя У1 (на сопротивлениях  $R_{25}$ ,  $R_{27}$ ) устанавливается напряжение по  $15 \pm 2$  В. При помощи сопротивления «установка нуля»  $R_{11}$  на выходе У1 устанавливается  $U_{выхУ1} = 0$ .

Снимается характеристика управления усилителя У1  $U_{вых} = f(i_{У1})$ , где  $i_{У1}$  — ток управления в контрольной обмотке У1. Характеристика должна быть линейной в диапазоне напряжений выхода не менее  $\pm 15$  В, иметь максимальное значение напряжения не менее  $\pm 30$  В и крутизну  $k_{У} = 14$  В/мА при  $U_{выхУ1} = 15$  В.

Движком сопротивления  $R_{18}$  на плечах усилителя У2 (на сопротивлениях  $R_{31}$ ,  $R_{32}$ ) устанавливаются напряжения по  $\pm 15$  В. Снимается характеристика управления усилителя У2  $U_{выхУ2} = f(i_{У2})$ , где  $i_{У2}$  — ток управления по контрольной обмотке «контр. вход У2».

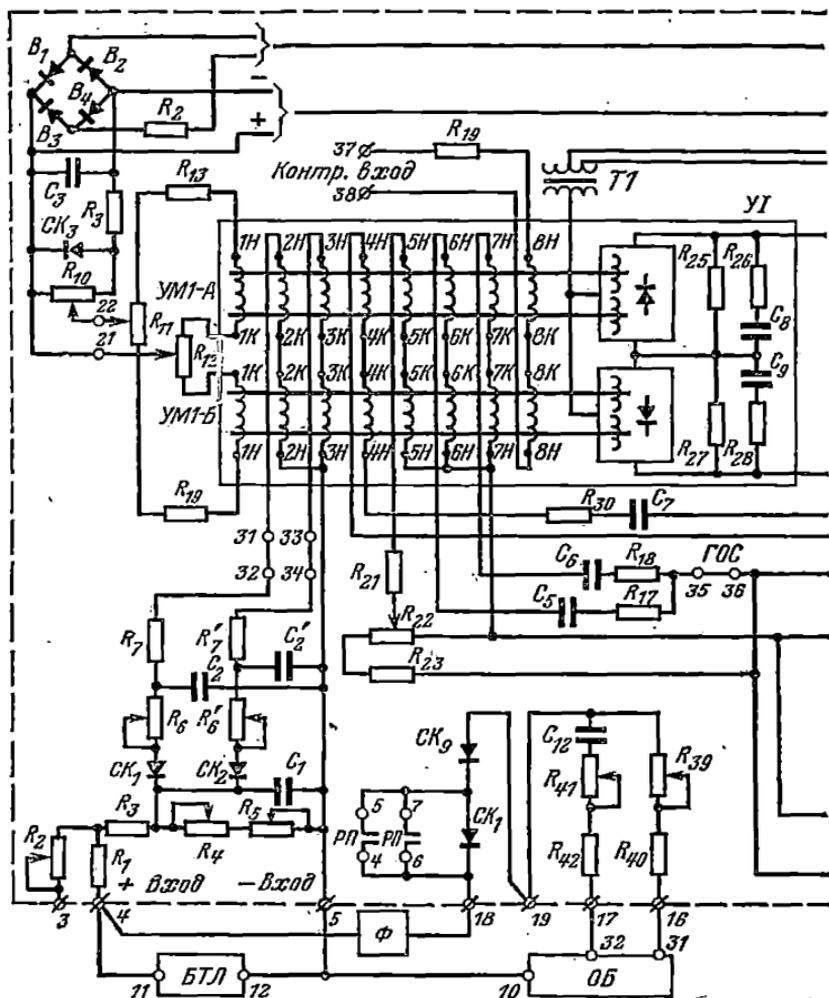


Рис. 10-26. Схема блока пере

Характеристика должна иметь максимальное значение напряжения  $\pm 35$  В и крутизну  $k_y = 10$  В/мА при  $U_{\text{вых}} y_2 = 0$ .

Цепь сопротивления  $R_{25}$  восстанавливается (цепь управления усилителя  $У2$  со стороны  $У1$ ). При полностью собранной схеме УМС (отключена только цепь ГОС) производится установка «нуля»



Регулировка крутизны характеристики производится сопротивлением  $R_{22}$  в цепи ЖОС.

б) Производится проверка релейного узла блока ОП. Замыкаются вручную контакты Л—Я реле РОП. На зажимы 1—2 блока подается питание 110 В, 450 Гц. Движок сопротивления  $R_{33}$  устанавливается в такое положение, чтобы на обмотке реле РП было напряжение 110 В постоянного тока. Измеряется напряжение срабатывания и отпадания реле РП.

На реле РОП, отключенном от схемы, измеряются токи срабатывания и отпадания в обмотках 5—6, 7—8, 9—10. Реле РОП подключается в схему блока. Закорачивается диод  $V_{18}$ . В цепь обмотки 9—10 реле РОП (на зажимы 8—9 реле РП) включается миллиамперметр. На зажимы 12—13 блока ОП подается напряжение  $U_{12-13}$  от регулируемого источника постоянного тока и определяется напряжение  $U_{12-13}$  н, при котором ток в обмотке 9—10 реле РОП станет равным нулю.

Закоротка с диода  $V_{18}$  снимается. Измеряются напряжения срабатывания и отпадания реле РОП по обмотке 9—10 при положениях переключателя  $R_{36}$  от 0 до 10. (Напряжение срабатывания и отпадания определяется напряжением  $U_{12-13}$ ). Выбирается положение переключателя  $R_{36}$  таким образом, чтобы напряжение срабатывания реле РОП по обмотке 9—10 было близко к напряжению  $U_{(12-13) ср} = 0,85 U_{(12-13) н}$ , а напряжение отпадания реле при этом составляло  $U_{(12-13) отп} = 0,9 U_{(12-13) ном}$ . Напряжение  $U_{(12-13) н}$  по величине должен выдавать блок напряжения БН на зажимах 1—7 при номинальном напряжении на входе БН и угле  $\phi$ , равном  $\phi_{н}$ . Напряжение  $U_{(12-13) н}$  устанавливается сопротивлением  $R_{11}$ . БН на зажимах 1—7 после определения его величины, необходимой для блока ОП.

в) Производится согласование выхода усилителя УМС с релейным увлом блока. Размыкается цепь ГОС УМС. На зажимы 1—2 блока подается питание 110 В, 450 Гц. На контрольный вход усилителя У1 подключается источник постоянного тока. Цепь обмотки 7—8 реле РОП размыкается. Изменением тока управления У1 изменяется напряжение выхода У2 и измеряются напряжения срабатывания и отпадания реле РОП по обмотке 5—6 от напряжения выхода У2  $U_{вых у2}$ . Напряжение срабатывания и отпадания реле РОП по напряжению выхода У2 должно быть в пределах:

$$U_{ср. вых у2} = 31 \div 35 \text{ В};$$

$$U_{отп. вых у2} = 30,5 \div 34,5 \text{ В}.$$

Цепь ГОС УМС и цепь обмотки 7—8 реле РОП восстанавливаются. Измеряется время задержки отпадания реле РОП, обеспечиваемое цепью обмотки 7—8 реле. Подачей сигнала на контрольный вход У1 доводят реле РОП до срабатывания. Затем сигнал снимается в результате чего происходит спадание напряжения выхода У2, при котором отсчитывается время задержки отпадания реле по обмотке 7—8. Время задержки отсчитывается до момента, когда напряжение выхода У2 равно напряжению отпадания реле РОП по обмотке 5—6.

Время задержки определяется для всех положений переключателя  $R_{37}$ . Выбирается положение переключателя  $R_{37}$ , обеспечиваю-

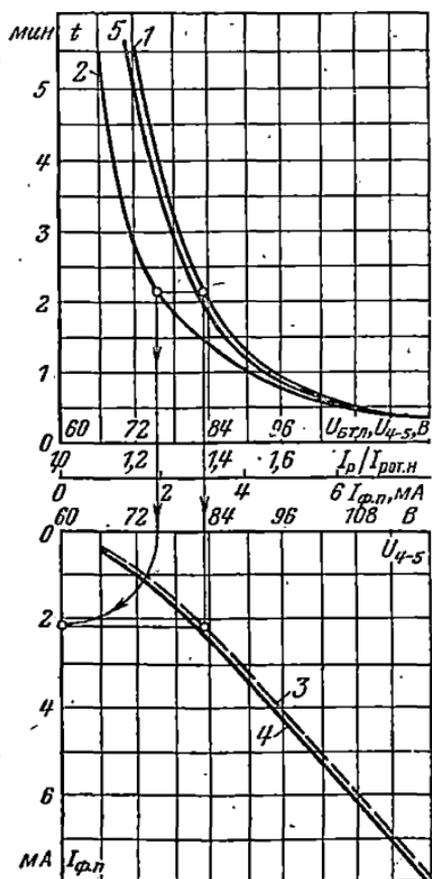


Рис. 10-27.

Рис. 10-27. Настройка блока ограничения перегрузки по току ротора.

1 — заданная перегрузочная характеристика ротора  $t_{пер} = f(I_r)$ ; 2 — временная характеристика УМС  $t = f(U_{\Phi.п})$ ; 3 — требуемая характеристика, построенная по предыдущим характеристикам 1 и 2,  $I_{\Phi.п} = f(U_{4-5})$ ; 4 — характеристика функционального преобразователя ОП  $I_{\Phi.п} = f(U_{4-5})$ ; 5 — временная характеристика блока ОП  $t = f(U_{4-5})$ .

Рис. 10-28. Характеристики блока ОП.

При включенном реле РП: 1 — при положении переключателя «огр. макс» — 0 дел.; 2 — при положении переключателя «огр. макс» — 10 дел.; 3 — при положении переключателя «гос. огр. макс» — 0 дел.; 4 — при положении переключателя «гос. огр. макс» — 10 дел. При отключенном реле РП: 5 — при положении переключателя «огр. макс» — 0 дел.; 6 — при положении переключателя «огр. макс» — 10 дел.; 7 — при положении переключателя «гос. огр. макс» — 0 дел.; 8 — при положении переключателя «гос. огр. макс» — 10 дел.

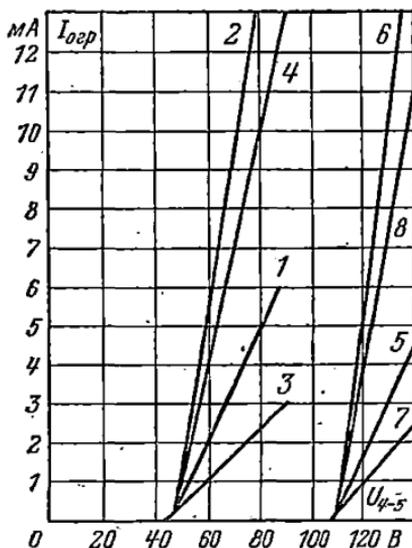


Рис. 10-28.

щее задержку времени, необходимую для остывания машины после разгрузки ее по току ротора блоком ОП по заводским данным или результатам тепловых испытаний.

г) Снимается временная характеристика УМС при полностью собранной схеме блока ОП.

Для этого отпаиваются перемычки 31—32 и 33—34 оперативного клеммника блока (цепи обмоток управления У1 «2Н—2Н» и «3Н—3Н» от функционального преобразователя). Ток управления от источника постоянного тока подается в обмотку «2Н—2Н».

Снимается характеристика  $t = f(I_{\text{ф.п}})$  (рис. 10-27, характеристика 2), где  $I_{\text{ф.п}}$  — ток управления в обмотке «2Н—2Н»;  $t$  — время, отсчитываемое от момента подачи тока в обмотку управления до момента срабатывания реле РОП, РП. Характеристика снимается в диапазоне изменения времени от 30 с до 20 мин.

д) Производится настройка функционального преобразователя. По перегрузочной характеристике ротора генератора, заданной заводом,  $t_{\text{пер}} = f(I_{\text{р}})$  (рис. 10-27, характеристика 1) и временной характеристике УМС  $t = f(I_{\text{ф.п}})$  (рис. 10-27, характеристика 2) строится требуемая характеристика функционального преобразователя  $I_{\text{ф.п}} = f(U_{4-5})$  (рис. 10-27, характеристика 3) или  $I_{\text{ф.п}} = f(U_{4-5}) = f(U_{\text{БТЛ}})$ , что то же самое, поскольку  $I_{\text{р}} \sim U_{\text{БТЛ}} = U_{4-5}$ .

Перемычки 31—32 и 33—34 в цепях функционального преобразователя подключаются. На зажимы 4—5 блока подается напряжение от регулируемого источника постоянного тока, величина которого соответствует величине напряжения выхода БТЛ в пределах изменения тока ротора от номинальной величины до характеристики функционального преобразователя  $I_{\text{ф.п}} = f(U_{4-5})$  (рис. 10-27, характеристика 4), где ток  $I_{\text{ф.п}}$  определяется как сумма токов в параллельных ветвях функционального преобразователя  $I_{\text{ф.п}} = I_{\text{СК1}} + I_{\text{СК2}}$ .

Регулировкой сопротивлений  $R_4, R_5, R_6, R_8$  и подбором стабилизаторов СК<sub>1</sub>, СК<sub>2</sub> характеристика функционального преобразователя с возможной степенью точности подгоняется под характеристику  $I_{\text{ф.п}} = f(U_{4-5})$  (рис. 10-27, характеристика 3), полученную графическим построением. При выбранной настройке функционального преобразователя снимается временная характеристика блока ОП  $t = f(U_{4-5})$  (рис. 10-27, характеристика 5). Временная характеристика блока ОП должна с достаточной степенью точности соответствовать заданной перегрузочной характеристике ротора генератора.

е) Производится проверка цепи «огр. макс» и «гос. огр. макс». Для этого емкость  $C_{12}$  цепи «гос. огр. макс» закорачивается. Снимаются характеристики  $i_{\text{огр}} = f(U_{\text{вх}})$  по цепям «огр. макс» и «гос. огр. макс», где  $i_{\text{огр}}$  — ток в цепи,  $U_{\text{вх}}$  — напряжение, подаваемое на вход цепи. Характеристики снимаются в положениях переключателей  $R_{39}$  и  $R_{41}$  на 0 и 10 делениях при включенном и отключенном реле РП (рис. 10-28).

Количество стабилизаторов СК<sub>9</sub> выбирается таким образом, чтобы при включенном реле РП цепи ограничения вступали в работу при напряжении  $U_{\text{вх}} = U_{\text{БТЛ}}$ , соответствующем заданному току ротора, до которого должен снизиться ток возбуждения в режиме ограничения (после срабатывания реле РП).

Количество стабилитронов  $СК_8$  выбирается так, чтобы совместное их количество вместе с  $СК_9$  обеспечивало вступление в работу цепей ограничения при токах ротора, соответствующих допустимому (двухкратному) току форсировки генератора.

Для проверки переключателей  $R_{30}$ ,  $R_{41}$ , «огр. макс» и «ос. огр. макс» производится замеры токов в цепях ограничения при некотором напряжении  $U_{вх}$ , соответствующем открытому состоянию стабилитронов  $СК_8$ ,  $СК_9$ , для различных положений переключателей  $R_{30}$ ,  $R_{41}$ . При изменении положения переключателей от 0 до 10 ток ограничения должен возрастать несколько увеличивающимися ступенями.

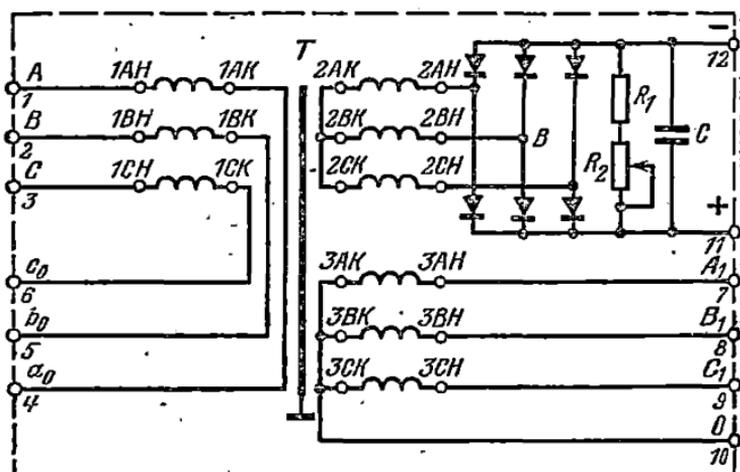


Рис. 10-29. Схема блока тока ротора БТЛ.

Наладка блока БТЛ (рис. 10-29) заключается в подборе величин сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  на выходе блока для обеспечения требуемой крутизны характеристики  $U_{БТЛ} = f(I_{рот})$ . Настройка блока производится во время пусковых испытаний при реальной схеме включения БТЛ. Это объясняется тем, что форма тока, питающего БТЛ, в реальной схеме имеет трапецеидальную форму, что затруднительно имитировать в лабораторных условиях; кроме того, характеристика БТЛ весьма чувствительна к нагрузке на БТЛ, а настройка в реальной схеме полностью учитывает нагрузку.

Проверка блока частоты БЧМ (рис. 10-30).

а) Производится проверка магнитного усилителя УМС. На зажимы 1—2 блока подается напряжение питания 110 В, 450 Гц. Регулировкой сопротивлений  $R_{1У}$ ,  $R_{2У}$  на плечах усилителя УМС (на сопротивлениях  $R_{7У}$ ,  $R_{8У}$ ) устанавливается напряжение  $U_{вых УМ-А} = U_{вых УМ-Б} = 60$  В. Движком потенциометра  $R_{3У}$  на выходе блока (зажимы 3—4) устанавливается напряжение выхода  $U_{вых} = 0$ .

Снимается характеристика магнитного усилителя УМС от обмотки управления  $3Н-3Н$   $U_f = f(I_{3Н})$  (рис. 10-31). Коэффи-

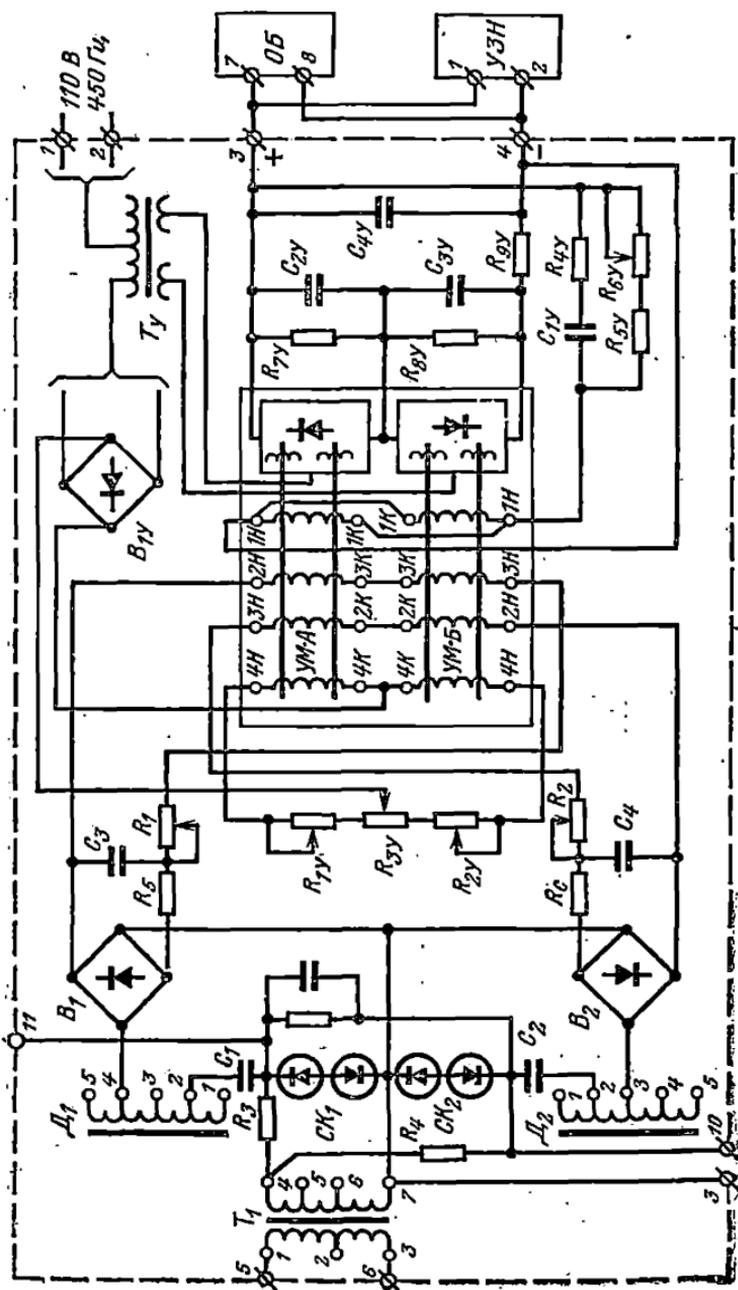


Рис. 10-30. Схема блока частоты.

цент усиления характеристики должен быть в диапазоне  $k_y = 20 \text{ В/мА} \pm 5\%$ . При отклонении коэффициента усиления от заданного производится его регулировка сопротивлением обратной связи  $R_{8y}$ .

б) Производится снятие частотных характеристик блока. Для этого на зажимы 5—6 блока подается напряжение 100 В от источника регулируемого напряжения (диапазон регулирования частоты 46—54 Гц). Снимаются характеристики  $U_f, I_{2H}, I_{3H}, I_{3H} - I_{2H} = f(f)$  (рис. 10-32), где  $I_{2H}, I_{3H}$  — токи управления обмоток 2Н—2Н и 3Н—3Н УМС (токи контуров);  $U_f$  — напряжение выхода блока;  $f$  — частота напряжения на выходе блока.

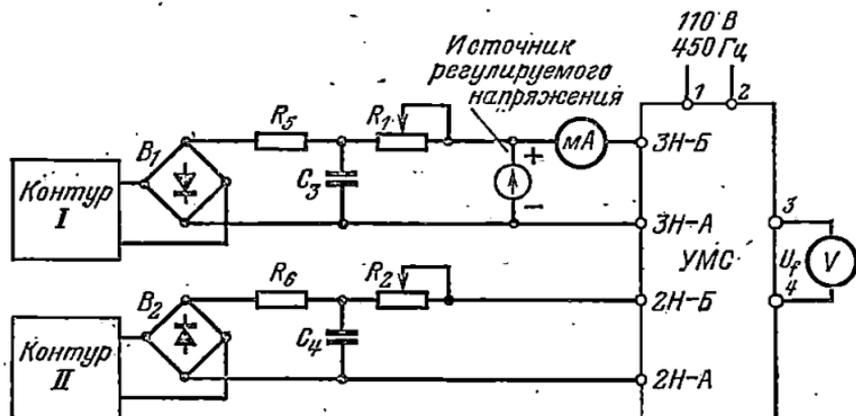


Рис. 10-31. Схема для снятия характеристик магнитного усилителя блока БЧМ.

При частоте 50 Гц токи контуров должны быть равны друг другу, т. е.  $I_{2H} = I_{3H}$ . Разностный коэффициент усиления характеристик  $I_{3H} - I_{2H} = f(f)$  должен быть равен 2 мА/Гц, т. е.

$$\frac{I_{3H} - I_{2H}}{\Delta f} = 2 \text{ мА/Гц.}$$

Регулирование характеристик  $I_{2H}, I_{3H} = f(f)$  производится дросселями  $D_1, D_2$ .

Характеристика  $U_f = f(f)$  должна быть линейна в диапазоне 48—52 Гц, крутизна характеристики должна составлять  $45 \text{ В/Гц} \pm 5\%$ , полученное значение выходного напряжения должно быть не менее  $\pm 100 \text{ В}$ .

в) Производится проверка пульсаций на выходе блока. Электронным осциллографом измеряется величина двойной амплитуды пульсаций на выходе блока при напряжении на входе 100 В, 50 Гц. Величина пульсаций на выходе блока БЧМ не нормируется, но должно быть проведено измерение пульсаций на выходе ОБ при включенном на вход ОБ блоке БЧМ. Величина пульсаций на выходе ОБ

при включении блока БЧМ и положении переключателей  $\Delta f$  и  $f'$  на десятом делении не должна превышать 250 мВ. Если пульсации превышают допустимый уровень, следует увеличить емкость  $C_{УЗ}$  в цепи обратной связи УМС БЧМ.

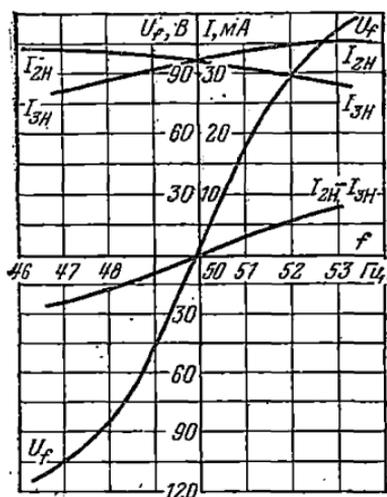


Рис. 10-32. Характеристики блока частоты  $U_f$ ,  $I_{2H}$ ,  $I_{3H}$ ,  $I_{2H} - I_{3H} = f(f)$ .

Проверка устройства защиты от повышения напряжения (УЗН). На зажимы 1—2 блока УЗН (рис. 10-33) подается регулируемое напряжение постоянного тока. Проводится замер напряжений срабатывания и отпадания реле РЧ при закороченных и включенных в схему стабилитронах СК и выпрямителе В для всех положений переключения  $R_1$ . Выбирается положение переключателя  $R_1$ , обеспечивающее срабатывание реле РЧ при напряжении выхода блока частоты, соответствующего 52,5 Гц.

Наладка блока ограничения минимального возбуждения ОМВ. Для наладки блока ОМВ (рис. 10-34) необходимо иметь задание на его настройку, определяющее граничные условия работы генератора в режимах потребления реактивной мощности. Таким заданием является характеристика граничных режимов генератора в режимах недовозбуждения. При

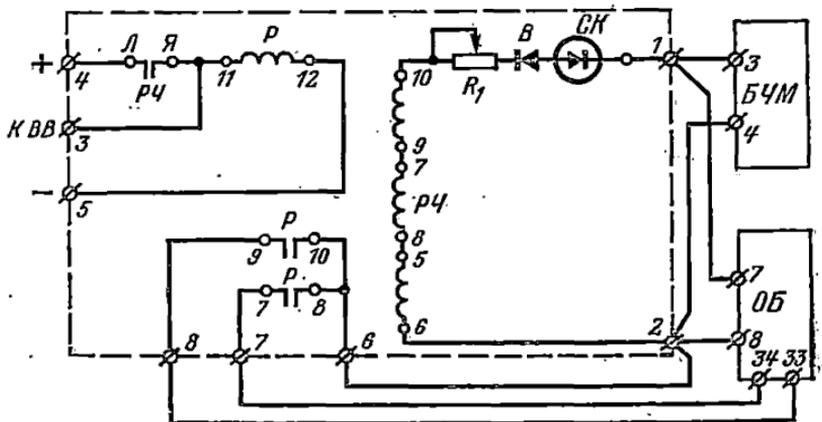


Рис. 10-33. Схема УЗН.

настройке эта характеристика пересчитывается в ток генератора и изображается в осях активного  $I_a$  и реактивного  $I_p$  вторичных токов генератора (рис. 10-35, характеристика  $I$ ).

Характеристика блока *ОМВ* в осях активного и реактивного токов генератора (рис. 10-35, характеристика 2) должна располагаться в области допустимых режимов генератора в режиме потребления реактивной мощности и иметь некоторый запас (10—

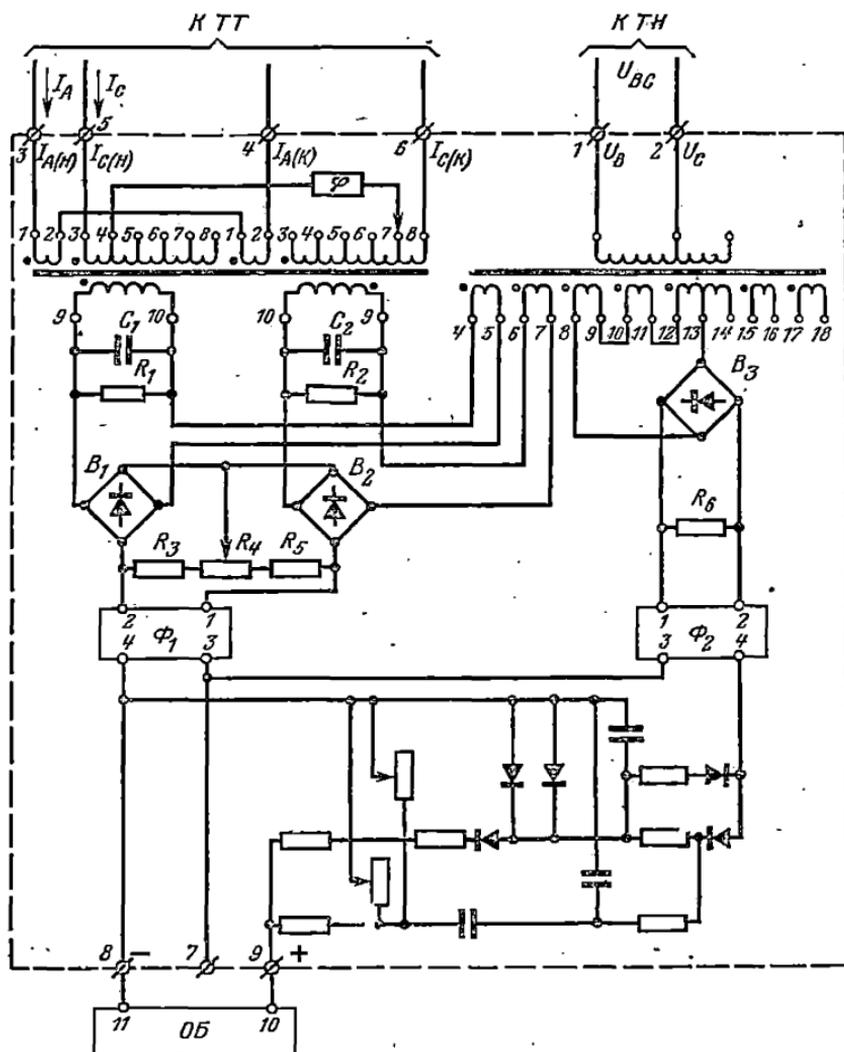


Рис. 10-34. Схема блока ограничения минимального возбуждения.

12%) по отношению к граничной характеристике, так как *ОМВ* производит ограничение тока возбуждения с некоторым статизмом.

Для снятия характеристик блока *ОМВ* собирается схема по рис. 10-36. В схеме фаза входного напряжения  $U_{BC}$  с помощью фазорегулятора *ФР* поворачивается относительно неподвижных

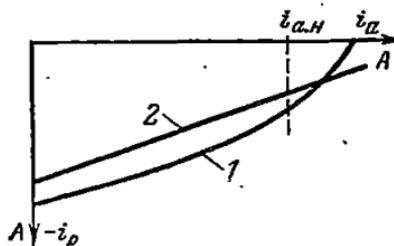


Рис. 10-35. Характеристика граничных режимов генератора в режимах недовозбуждения (1) и характеристика вступления в работу блока *ОМВ* (2).

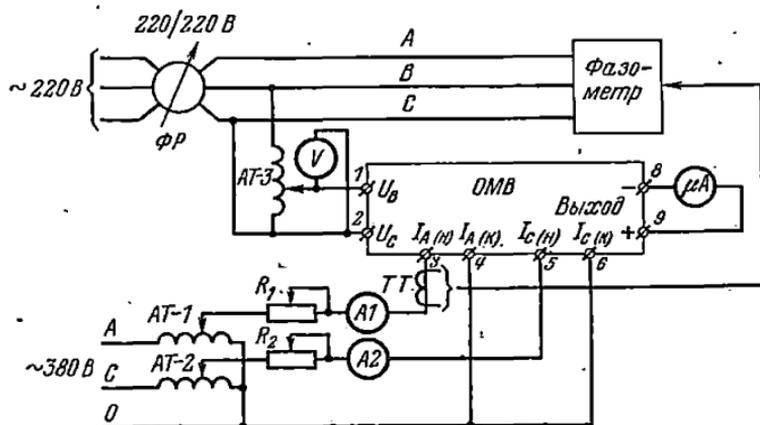


Рис. 10-36. Схема для снятия характеристик блока *ОМВ*.

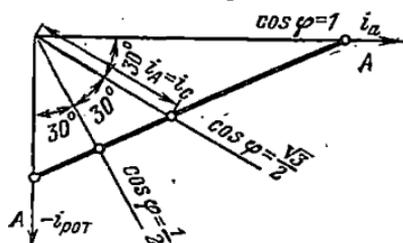


Рис. 10-37. Построение характеристики вступления в работу блока *ОМВ*.

векторов тока фаз *A* и *C*. Фазоуказателем измеряется угол между векторами напряжения  $U_{BC}$  и тока фазы *A*. Реостаты  $R_1$ ,  $R_2$  являются балластными сопротивлениями. Автотрансформаторами типа ЛАТР регулируются величины токов фаз *A* и *C* и напряжения  $U_{BC}$ . На выход блока подключается миллиамперметр.

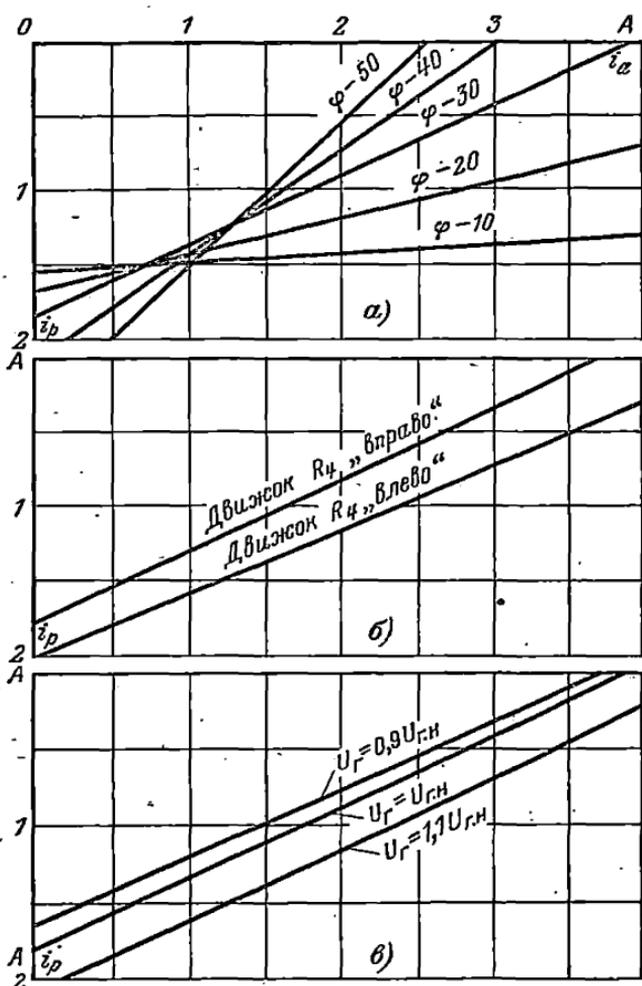


Рис. 10-38. Влияние настроечных элементов блока ОМВ на характеристику вступления блока в работу.

а — при различных положениях накладки  $\varphi$ ; б — при крайних положениях движка потенциометра  $R_4$  и положении переключателя  $\varphi = 30$ ; в — при различных напряжениях генератора и положении переключателя  $\varphi = 30$ .

Снятие характеристики вступления в работу блока *ОМВ*  $i_p = f(i_a)$  при принятом напряжении  $U_{BC}$  генератора удобно производить приведенным ниже способом.

На графике  $i_p = f(i_a)$  наносятся линии коэффициентов мощности генератора  $\cos \varphi = 0$  ( $\varphi = 90^\circ$ ),  $\cos \varphi = \frac{1}{2}$  ( $\varphi = 60^\circ$ ),  $\cos \varphi = \frac{\sqrt{3}}{2}$  ( $\varphi = 30^\circ$ ),  $\cos \varphi = 1$  ( $\varphi = 0^\circ$ ) (рис. 10-37).

Диод  $D_8$  закорачивается. Фазорегулятором  $\Phi P$  устанавливается угол между входными токами и напряжением, соответствующий режиму генератора  $\cos \varphi = 0$ ,

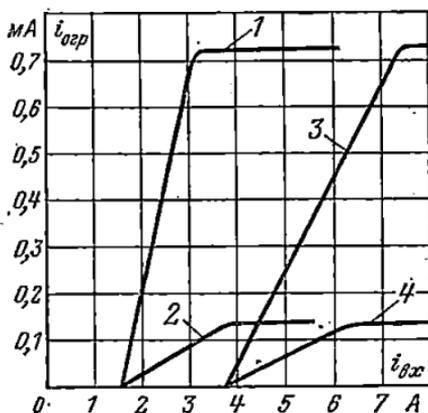


Рис. 10-39. Зависимости тока выхода блока *ОМВ* от тока входа  $i_{огр} = f(i_{вх})$ .

1 — при положении переключателя «огр. мин» — 10 дел. и  $\cos \varphi = 0$ ; 2 — при положении переключателя «огр. мин» — 10 дел. и  $\cos \varphi = 0$ ; 3 — при положении переключателя «огр. мин» — 10 дел. и  $\cos \varphi = 1$ ; 4 — при положении переключателя «огр. мин» — 1 дел. и  $\cos \varphi = 1$

ков трансформатора  $Tr3$  ускоряет вступление в работу блока, сдвигая всю характеристику вверх.

Влияние положения накладки « $\varphi$ » и движка потенциометра  $R_4$  показаны на рис. 10-38, а и б.

На рис. 10-38, в приведены характеристики вступления в работу блока *ОМВ* при различных напряжениях генератора.

Закоротка с диода  $D_8$  снимается. При выбранной настройке блока *ОМВ* производится снятие зависимости тока выхода блока при изменении входного тока  $i_{огр} = f(i_{вх})$  при  $\cos \varphi = 0$  и  $\cos \varphi = 1$  для положения переключателей  $R_8$  «огр. мин» и  $R_9$  «вос. огр. мин», 1 и 10 (рис. 10-39).

режиму генератора  $\cos \varphi = 0$ ,  $\cos \varphi = \frac{1}{2}$ ,  $\cos \varphi = \frac{3}{2}$  или  $\cos \varphi = 1$ ;

одновременным регулированием токов  $i_a$ ,  $i_c$  автотрансформаторами  $AT1$ ,  $AT2$  добиваются нулевого выхода блока *ОМВ*. Производится отсчет токов  $i_a = i_c$ , величины которых наносятся на соответствующую ось коэффициента мощности. Линия, соединяющая точки отсчета для разных  $\cos \varphi$ , представляет собой границу вступления в работу блока *ОМВ* (рис. 10-37).

Если снятая характеристика не соответствует требуемой, должна быть произведена ее корректировка воздействием на один или несколько настроечных элементов блока *ОМВ* (положение накладки « $\varphi$ » во входных токовых цепях, выбор отпайки трансформатора  $Tr3$  и в малых пределах положение движка потенциометра  $R_4$ ). Уменьшение количества вторичных вит-

### 10-5. НАЛАДКА УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Общие требования при наладке устройства регулирования:

1) согласование характеристик регулятора возбуждения и системы сеточного управления при одновременном выполнении требований, предъявляемых к АРВ со стороны ионного возбудителя;

2) проверка области устойчивой работы системы регулирования в координатах коэффициентов усиления по каналам регулирования;

3) выбор коэффициентов усиления по отдельным каналам регулирования.

Основные требования предъявляются в АРВ со стороны ионного преобразователя и заключаются в следующем (при работе с ССУП-4):

1) АРВ должен обеспечить максимальное напряжение на выходе в пределах  $\pm 20$  В;

2) допустимая амплитуда переменной составляющей на выходе АРВ не должна превышать 250 мВ;

3) при отключении одной из групп возбудителя не должна нарушаться устойчивость АРВ;

4) АРВ должен обеспечить требуемые коэффициенты усиления и вид характеристик управления рабочей и форсировочной групп возбудителя;

5) АРВ должен обеспечить нормальную работу на входное сопротивление системы сеточного управления 800 Ом.

Согласование характеристик регулятора возбуждения и ионного возбудителя. Параметрическое согласование АРВ и системы сеточного управления производится при проектировании системы возбуждения. При наладке необходимо уточнить и обеспечить требуемые коэффициенты усиления и вид характеристик АРВ по каналам управления рабочей и форсировочной групп возбудителя.

Предварительный выбор коэффициентов усиления АРВ по каналам управления рабочей и форсировочной групп возбудителя может быть сделан по следующей методике.

С целью обеспечения соответствия между действительными коэффициентами регулирования возбуждения генератора и коэффициентами, обеспечиваемыми АРВ сильного действия по отдельным каналам при соответствующем положении накладок и переключателей на панели регулятора, коэффициент усиления контура АРВ—ИВ по контрольному входу регулятора должен быть равен 3 ед. возб/мА.

Из опыта известно, что для обеспечения требуемого быстродействия и линейности характеристик системы контур АРВ—ИВ должен быть охвачен 4—5-кратной жесткой отрицательной обратной связью (ЖОС).

Отсюда коэффициент усиления контура АРВ—ИВ без ЖОС должен быть равен:

$$k_{\text{АРВ-ИВ без ЖОС}} = (4 \div 5) k_{\text{АРВ-ИВ с ЖОС}} = 12 \div 15 \text{ ед. возб/мА.}$$

Так как  $k_{АРВ-ИВ} = k_{АРВ} k_{ИВ}$ , то

$$k_{АРВ} = \frac{k_{АРВ-ИВ}}{k_{ИВ}} = \frac{12 \div 15}{k_{ИВ}} \text{ ед. возб/мА или}$$

$$k_{АРВ} = (12 \div 15) \frac{U_{дн}}{k_{ИВ}} \text{ В/мА;}$$

здесь  $U_{дн}$  — номинальное напряжение на кольцах ротора, В;  $k_{ИВ} = -\Delta U_d / \Delta U_{упр}$  — коэффициент усиления ионного возбудителя.

Коэффициент  $k_{ИВ}$  может быть определен для рабочей группы расчетом в зависимости от схемы преобразователя, напряжения питания возбудителя и угловой характеристики системы сеточного управления с учетом выполненной фазировки.

Отношение коэффициентов усиления по каналам управления рабочей и форсировочной групп возбудителя зависит от соотношения напряжения питания групп, вида угловой характеристики системы сеточного управления и лежит в пределах

$$\frac{k_{АРВ \text{ раб}}}{k_{АРВ \text{ форс}}} = 1 \div \frac{U_{пит.ф}}{U_{пит.р}}$$

Окончательные значения коэффициентов усиления по каналам управления групп и вид характеристик  $АРВ$  определяются на основании результатов наладки ионного возбудителя.

После корректировки коэффициентов усиления  $АРВ$  и вида характеристики снимаются контрольные характеристики контура  $АРВ-ИВ$  по контрольному входу регулятора без ЖОС. Характеристики снимаются при совместной работе групп и для каждой группы в отдельности. Если корректировка произведена правильно, то характеристики, снятые по контрольному входу  $АРВ$ , должны быть идентичными характеристикам возбудителя.

Вводится в работу ЖОС и повторно снимаются характеристики  $U_d = f(i_{упр})$  как при совместной, так и при отдельной работе групп. Коэффициент усиления, определенный по характеристике при совместной работе групп, должен быть равен 3 ед. возб/мА.

После снятия характеристик системы необходимо произвести проверку работы схемы ограничения двукратного тока ротора путем замыкания реле РОФ (рис. 10-17, а) и выбором соответствующего числа стабилитронов  $СК_1$  на выходе канала управления форсировочной группы.

Производится настройка БТЛ подбором величины сопротивления  $R_1$  (рис. 10-29) при включенной нагрузке на выходе БТЛ и снимается характеристика  $U_{вых \text{ БТЛ}} = f(I_d)$ . Вводится в действие регулятор возбуждения  $АРВ-ГГ$ . Для этого на лицевой панели блока ОБ вводятся накладки:  $\Delta U$ , ГОС, «корр. цепь», «U'»; переключатели ориентировочно ставятся в положение «корр. цепь» — 3—4 дел.;  $U'$  — 2—3 дел.; «ГОС» — 2—3 дел.; «ЖОС» — выбранное положение.

Генератор возбуждается по цепи дополнительного входа регулятора до напряжения 0,8  $U_{г.н.}$  Изменяя уставку регулятора, устанавливают  $\Delta U = 0$  (по вольтметру ОБ). Замыкается канал

$\Delta U$  (включением накладки « $\Delta U$ »). Ток управления по дополнительному входу уменьшают до нуля, при этом регулятор должен удерживать напряжение установленной величины.

Определение областей устойчивой работы АРВ в режиме холостого хода генератора. Работа системы возбуждения должна быть устойчивой как при работе генератора в сети, так и в режиме холостого хода генератора. Поэтому предварительный выбор коэффициентов усиления по отдельным каналам регулирования производится в режиме холостого хода генератора.

С точки зрения устойчивости САР, худшим является вариант при работе одной форсировочной группы и напряжении генератора

$0,8 U_{г.н}$ , так как в этом случае система имеет максимальный коэффициент усиления (коэффициент усиления по форсировочной группе, как правило, выше, чем по рабочей; коэффициент усиления генератора тоже максимален, так как генератор не насыщен). Поскольку работа на одной форсировочной группе маловероятна, проверку зон устойчивости САР производят при совместной работе групп и напряжении генератора  $0,8 U_{г.н}$ ; для сравнения определяют зоны устойчивости при напряжениях  $U_{г.н}$  и  $1,1 U_{г.н}$ . При работе одной форсировочной группы снимаются зоны устойчивости при напряжении  $U_{г.н} = U_{г.н}$  и  $1,1 U_{г.н}$ .

Определение зон устойчивости по параметрам регулирования можно произвести следующим образом.

Определяются в координатах  $U' - K_{ц}$  зоны устойчивости для различных значений ГОС. Для этого при каждом положении переключателя  $U'$  по цепи дополнительного входа регулятора толчком подается ток величиной до  $0,5$  мА и определяются положения переключателя  $K_{ц}$ , при которых в системе отсутствуют автоколебания (наблюдаются по электронному осциллографу, включенному на напряжение ротора). По результатам опыта строится график (рис. 10-40). При определении рабочих положений переключателей ГОС,  $K_{ц}$ ,  $U'$  следует руководствоваться следующими критериями: коэффициент усиления по  $U'$  должен быть максимальным, степень гибкой обратной связи минимальной, действие корректирующей цепи минимальным, при этом рабочая точка должна лежать внутри области устойчивой работы регулятора.

Проверка работы блока ОП производится форсированием возбуждения генератора (рис. 10-41). (Для турбогенераторов форсирование возбуждения производится при работе генератора в сети.)

После выбора коэффициентов регулирования по отдельным каналам производится опыт возбуждения и развозбуждения генератора (рис. 10-42).

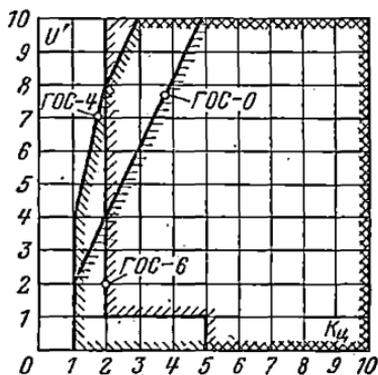


Рис. 10-40. Зона устойчивости в координатах  $U' - K_{ц}$ .

Проверка работы системы возбуждения и устройства регулирования при работе генератора в сети. При работе генератора в сети производится проверка областей устойчивости по каналам регулирования, проверяется работа *ОМВ* и выставляется требуемый статизм системы регулирования возбуждения. Проверка областей

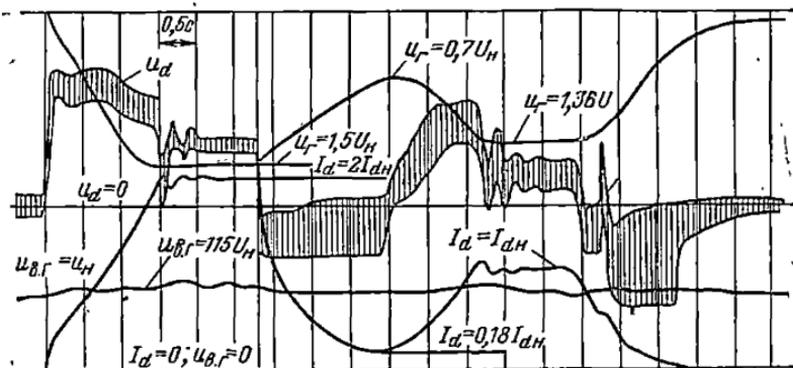


Рис. 10-41. Осциллограмма работы блока ОП.

устойчивости при работе генератора в сети проводится методом, аналогичным методу определения областей устойчивой работы системы регулирования на холостом ходу генератора.

Выбор коэффициентов усиления *ОМВ* производится путем перевода генератора в режим недовозбуждения изменением уставки

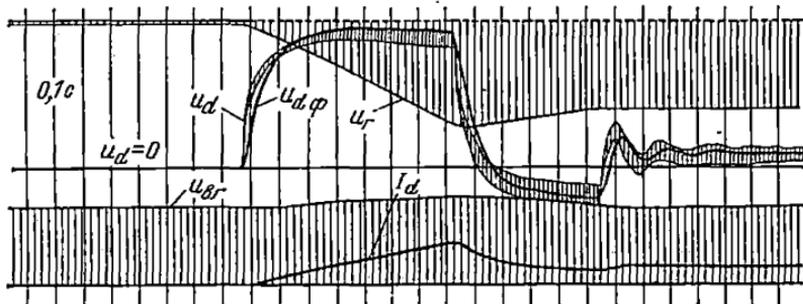


Рис. 10-42. Осциллограмма возбуждения генератора.

или подачи сигнала по контрольному входу АРВ при введенном в работу *ОМВ*. При этом снимаются характеристики  $I_{рот} = f(\Delta U)$ . Снимают характеристики при разных коэффициентах усиления *ОМВ* и разных активных нагрузках генератора. По характеристикам определяют необходимый коэффициент усиления *ОМВ*, обеспечи-

нающий допустимый режим генератора в режиме недовозбуждения при максимальном сигнале по каналу  $\Delta U$  (20 В).

Выбор коэффициента усиления по каналу ГОС ОМВ производится путем оценки качества переходного процесса при работе ОМВ подачей по контрольному входу регулятора сигнала такой величины, который бы обеспечивал вступление в работу ОМВ.

Проверка работы блока БКТ и статизма регулирования системы возбуждения проводится изменением напряжения на шинах высокого напряжения станции на 1—3% номинального при неизменной уставке по напряжению проверяемого генератора. Величина статизма оценивается по характеристике  $U_{\text{шин}} = f(Q_r)$ .

Предварительный выбор величин сопротивления  $R_A$  и  $R_C$  может быть сделан по значению напряжения короткого замыкания силового трансформатора, величин вторичных токов генератора и номинальной реактивной мощности генератора. После ввода БКТ в работу производится проверка симметрии напряжений на входе и выходе БКТ. При вводе в работу БКТ необходимо соблюдать осторожность, так как при большом значении сопротивлений БКТ может произойти самовозбуждение генератора, что приводит к аварийному отключению генератора от сети.

Проверяется статизм системы регулирования возбуждения при изменении активной мощности генератора. Статизм системы регулирования возбуждения по активной мощности генератора должен быть близок к нулю (примерно 1%).

Проводится проверка работы схем подгонки уставки напряжения генератора к напряжению сети при автоматической точной синхронизации и самосинхронизации генератора. Проверяется работа системы возбуждения при сбросах активной мощности генератора. Процесс сброса осциллографируется. По осциллограмме определяется работа системы возбуждения в целом и определяется скорость восстановления напряжения генератора.

По окончании работ составляется протокол наладки и испытаний системы с приложением осциллограмм работы системы возбуждения в проверяемых режимах.

#### 10-6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ НАЛАДКЕ СИСТЕМЫ ИОННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ И УСТРОЙСТВА ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

При наладке системы ионного возбуждения наиболее употребительными измерительными приборами являются приборы магнитоэлектрической системы класса 0,5 типа М82, М106, М104 для измерений в цепях постоянного тока. Измерения в цепях переменного тока производятся приборами электромагнитной системы класса 0,5 типа Э-59 или астатическими.

Особое внимание обращают на прибор для измерения выпрямленного напряжения возбудителя. Этот прибор должен иметь верхний предел измерений примерно 2 000—3 000 В и не повреждаться при работе возбудителя с большими углами регулирования и инвертирования тока ротора. Класс прибора 0,5—1,0.

При настройке блока частоты могут быть использованы: генератор промышленной частоты или однофазный преобразователь.

Для контроля наладки в системе возбуждения используются электронные осциллографы типа С1-1, С1-19 и т. п., позволяющие иметь синхронизацию от сети, светолучевые шлейфовые осциллографы. Осциллографирование низкого напряжения в цепях (АРВ); система управления и т. п.) производится обычно шлейфовыми осциллографами типа Н-105, Н-700. Для осциллографирования в цепях ротора удобны шлейфовые осциллографы выпуска фирмы RFT (Герман-

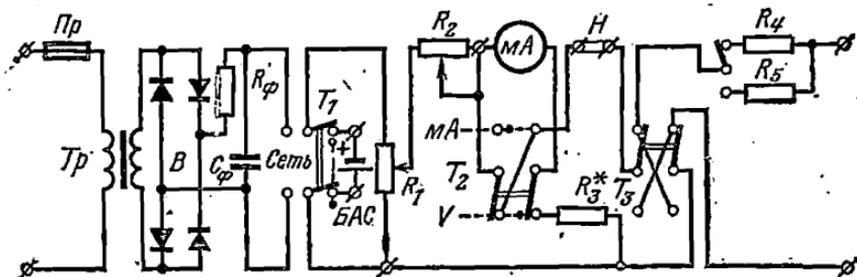


Рис. 10-43. Схема приставки управления.

$T_p$  — трансформатор 4 Вт, 220/20;  $R_{\Phi}$  — 1 ком, 2 вт;  $C_{\Phi}$  — 2 000 мкФ;  $R_1$  — 10 кОм;  $R_2$  — 2 кОм;  $R_4$  — 1 кОм;  $R_5$  — 5 кОм;  $H$  — накладка; мА — миллиамперметр типа М109.

ская Демократическая Республика) типа 8SO-4, 9SO-302, так как они имеют более надежную изоляцию между измерительными шлейфами.

При измерении в цепях ротора приборы должны быть изолированы от «земли» ковриками, подставками. Питание на осциллографы подается через разделительные трансформаторы, изоляция которых должна быть испытана напряжением не менее 7,5 кВ. Подавать на один осциллограф явления от разнопотенциальных цепей недопустимо во избежание повреждения оборудования и осциллографа.

При наладке используются следующие приспособления:

1. Делители напряжения, мощность которых должна быть выбрана с учетом чувствительности шлейфов применяемого осциллографа, а изоляция относительно «земли» испытана напряжением 7,5 кВ.

2. Измерительные штанги, рассчитанные на работу в цепях с номинальным напряжением до 10 кВ, с высоковольтным проводом типа ПВЛ-3.

3. Независимый источник питания цепей управления системы сеточного управления и регулирования. Рекомендуемая схема такой питающей приставки приведена на рис. 10-43.

4. Специальный испытательный пульт, на который выводится цепи управления ионным возбудителем, цепи измерения, цепи осциллографирования. В схеме пульта устанавливаются разделительные трансформаторы, делители, фильтры цепей осциллографирования и т. д. С пульта производится испытание системы ионного возбуждения.

При работе с измерительными приборами, потенциально связанными с цепями ротора и преобразователя, необходимо соблюдать меры безопасности и пользоваться изолирующими ковриками, подставками и диэлектрическими перчатками.

Нормы расхода этилового спирта [Л. 37]

Наименование приборов, оборудования, работы	Марка и ГОСТ применяемого этилового спирта	Единица измерения	Норма расхода на единицу измерения
<p><i>I. Эксплуатация приборов и оборудования</i></p>	<p>ТУ-3-66-65 ТУ-3-66-65 ГОСТ 8314-57</p>	<p>л/год л/год л/год</p>	<p>0,010 0,028 0,0003</p>
	<p>ГОСТ 8314-57, марка А</p>	<p>л/1 прогирку</p>	<p>0,005 0,020 0,030 0,050 0,640 0,004</p>
	<p>ГОСТ 8314-57, марка А ТУ-3-66-65</p>	<p>л/год л/год</p>	<p>0,010</p>
<p>Фотоувеличители всех систем Луна бинокулярная БЛ-2 Меры длины концевые (на концевую меру) Манометры кислородные при диаметре шкалы, мм до 50 от 50 до 100 от 100 до 200 свыше 200 Микроанометры ММН Прометры оптические типа ОППИР, РП-48, ЭОП-51 Потенциометры электронные, самопишущие и уравновешенные мосты для измерения и регулирования температуры типа ЭП, ЭПД, ЭПН, ЭМ, ЭМП, ЭМД</p>	<p>ГОСТ 8314-57, марка А</p>	<p>л/год</p>	<p>0,010</p>

## Продолжение прилож. I

Наименование приборов, оборудования, работы	Марка и ГОСТ применяемого этилового спирта	Единица измерения	Норма расхода на единицу измерения
Регуляторы электронные типа ЭР-III, ЭРК, ЭРТ	ГОСТ 8314-57, марка А	л/год	0,030
Магазины сопротивлений штепсельные Р-314	ГОСТ 8314-57, марка А	л/ремонт	0,010
Приборы электроизмерительные образцовые и комбинированные классов точности 0,1; 0,2; 0,5	ГОСТ 8314-57, марка А	л/ремонт	0,010
Приборы для измерения параметров ламп и полупроводниковых приборов типа Л1 и Л2	ГОСТ 8314-57, марка А	л/ремонт	0,020
Колонка дистанционного управления типа КДУ	ГОСТ 8314-57, марка А	л/год	0,020
Механизм исполнительный электрический	ГОСТ 8314-57	л/год	0,040
<b>II. Производственно-эксплуатационные нужды для атомных электростанций</b>			
Профилактика электронных потенциометров, мостов, вторичных приборов типа ППР, ПСР, ЭПН, МПР, МС, ДПР, ДСР (самонаводящих и показывающих), газоанализаторов химических и электрических	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	15
Электроизмерительные приборы, мосты и потенциометры классов точности 0,01—0,05 (электромагнитной, электродинамической и электростатической систем)	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	40

Продолжение прилож. 1

Наименование приборов, оборудования, работы	Марка и ГОСТ применяемого этилового спирта	Единица измерения	Норма расхода на единицу измерения
Электронные регуляторы ЭР, РПИК, РПИВ	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	45
Манометры образцовые и электроконтактные, манометрические термометры	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	5
Переключатели: ПМТ	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	25
галетные барабаны	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	10
Логометры, милливольметры, термомары, термометры сопротивления, термосигнализаторы ТС, вольтметры и амперметры классов точности 1,0—2,5	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	20
Профилактика контактов реле	ГОСТ 8314-57	мл/1 контакт	5
Профилактика контактов электросхем: обычных	ГОСТ 8314-57	мл/1 контакт	0,1
печатных	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	0,1
Заливка микроанометров ММН-240, тягонапорометров	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	0,05
Ремонт нормирующих преобразователей	ГОСТ 8314-57	мл/шт.	25
Промывка датчиков солемеров	ГОСТ 8314-57	мл/1 датчик	83

## Продолжение прилож. I

Наименование приборов, оборудования, работы	Марка и ГОСТ применяемого этилового спирта	Единица измерения	Норма расхода на единицу измерения
Ревизия и ремонт мегомметров М-1101, МС-0,5	ГОСТ 8314-57	мл/1 прибор	20
Ревизия и ремонт технических магазинов сопротивлений и мостов Р-56, Р-329 и др.	ГОСТ 8314-57	мл/1 прибор	20
Ремонт и ревизия зеркальных гальванометров	ГОСТ 8314-57	мл/1 прибор	20
Изготовление специальных термометров сопротивления и термопар (обезжиривание и обезвоживание)	ГОСТ 8314-57	мл/1 прибор	30

## III. Капитальный и текущий ремонты

Ремонт приборов КИП и автоматики	ГОСТ 8314-57	л/шт.	0,148
----------------------------------	--------------	-------	-------

Примечания: 1. В зависимости от исходных материалов и способа изготовления, а также по качеству этилового спирта подразделяется на: а) технический (гидролизный) марок А и В по ГОСТ 8314-57; б) синтетический «очищенный» по ГОСТ 11547-66; в) ректифицированный (гидролизный или сульфитный) по ТУ-3-66-65; г) сырец по ГОСТ 131-67; д) ректифицированный по ГОСТ 5962-67 (из пищевого сырья).

2. В случае отсутствия необходимой марки спирта допускается замена его на другие марки: спирт по ГОСТ 8314-57 может быть заменен спиртом по ГОСТ 11547-66 или спиртом по ТУ-3-66-65.

## Приложение 2

## Технические характеристики смазочных масел

Марка масла	Кинематическая вязкость при 50 °С		Примечание
	градусы ВУ	сст	
Приборное МВП	1,51—1,72	6,3—8,5	Применяется для смазывания узлов, работающих при невысоких температурах
Индустриальное 12 (веретенное 2)	1,86—2,26	10—14	—
Турбинное 22 (турбинное II)	2,9—3,3	19,6—23	—
Трансформаторное	3,7	26,2	Применяется для заполнения реохордов и колокольных дифманометров
Авиационное МС-20	2,95	20	Вязкость указана при 100 °С

Примечание. Размерность кинематической вязкости дана в градусах условной вязкости (ВУ) и сантистоксах (сст). Соотношение размерностей определяется ГОСТ 33-66.

## Технические характеристики консистентных смазок

Марка смазки	Температура каплепадения, °С	Средняя пенетрация при 25 °С	Допустимая рабочая температура, °С	Примечание
Универсальная среднешлавкая УС-2 (соллодол жировой)	75	260	60	Содержание воды до 2%
Универсальная тугоплавкая водостойкая УТВ (смазка 1—13 жировая)	120	270	100	Содержание воды до 0,75%
ЦИАТИМ-201	170	295	—	Вода в смазке отсутствует; в состав входит масло МВП до 88%
ЦИАТИМ-203	150	275	—	В состав входит масло трансформаторное до 84%
ЦИАТИМ-221	200	320	150	—

Примечание. Температура каплепадения — температура, при которой происходит падение первой капли смазки; пенетрация характеризует степень густоты смазки.

Приложение 4

Технические данные марганцевого провода  
 Удельное сопротивление при температуре 20 °С  $\rho_{20} = 0,45 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ .  
 Температурный коэффициент сопротивления  $\alpha = 0,00002 \text{ град}^{-1}$

Диаметр провода, мм	Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Сопротивление, Ом/м	Диаметр провода, мм	Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Сопротивление, Ом/м
0,10	0,00785	54,8	0,35	0,0962	4,47
0,15	0,0177	24,3	0,40	0,126	3,42
0,20	0,0314	13,7	0,45	0,159	2,71
0,25	0,0491	8,76	0,50	0,196	2,20
0,30	0,0707	6,06			

Приложение 5

Плотность уравновешивающих жидкостей

Температура, °С	Плотность воды, г/см <sup>3</sup>	Плотность ртути, г/см <sup>3</sup>	Температура, °С	Плотность воды, г/см <sup>3</sup>	Плотность ртути, г/см <sup>3</sup>
0	0,9999	13,595	20	0,9982	13,546
4	1,0000	13,585	22	0,9978	13,541
10	0,9997	13,574	26	0,9968	13,531
14	0,9993	13,561	30	0,9957	13,521
18	0,9986	13,551	40	0,9922	13,497

Примечание. При нормальном ускорении свободного падения 9,8066 м/с<sup>2</sup> и нормальной температуре 20 °С давление 1 кгс/см<sup>2</sup> соответствует столбу воды высотой 10 018 мм или столбу ртути высотой 738,2 мм.

Приложение 6

Разделительные жидкости

Наименование разделительной жидкости	Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	Температура замерзания, °С	Температура кипения, °С
Глицерин	1 245	-17	290
Водоглицериновая смесь (1 : 1 по объему)	1 130	-22,5	106
Дибутилфталат	1 047	-35	340
Этиленгликоль	1 113	-12	197
Водоэтиленгликолевая смесь (1 : 1 по объему)	1 070	-36	110

## Прокладочные материалы

Измеряемая среда	Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>	Температура, °C	Материал прокладки
Вода, нейтральные растворы солей	6	60	Резина
	10	150	Резина с тканевой прокладкой
	40	50	Паранит
	160	30	Кожа, прорезиненные ткани
Вода горячая	30	300	Медь М1, М3 (прокладки отжигать при 700—750 °C)
	40	300	Паранит
	100	275	Сталь малоуглеродистая, отожженная
Пар насыщенный	Вакуум	—	Медь М1, М3 отожженная
	40	300	Паранит, прорезиненные ткани
	45	350	Медь М1, М3 отожженная
	60	450	Сталь малоуглеродистая
Кислород	—	—	Медь М1, М3 отожженная
Газы и пары инертные	6	60	Резина
	10	150	Резина теплостойкая с прослойкой из ткани
	15	100	Алюминий
	40	300	Паранит
	40	30	Кожа
	80	75	Фибра
300	120	Сталь 10 и сталь 20	
Масла	25	200	Резина маслостойкая
	40	50	Пластикат хлорвиниловый
	60	300	Алюминий
	75	100	Паранит УВ
Мазут	60	300	Алюминий
	75	250	Паранит УВ
Кислоты, щелочи и другие агрессивные жидкости	5	250	Фторопласт-4
	2	25	Свинец С2

Для расходомеров (переменного перепада)

Наименование предприятия	Паспорт № _____ на расходомер (переменного перепада)			Местонахождение			
Завод-изготовитель	Комплект прибора	Тип	Заводской №	Инвентарный №	Дата пуска в эксплуатацию	Класс точности дифманометра	Пределы измерения расхода
Год выпуска						Пределы измерения давления	
Заполнение (ртуть, вода), количество _____		Отношение диаметров $d/D$ _____					
Максимальный перепад _____		Коэффициент расхода _____					
Максимальная потеря давления _____		Коэффициент на расширение измеряемой среды _____					
Константа счетчика (диаграммы) _____		Наименование измеряемого вещества _____					
Номер диаграммы _____		Состояние измеряемого вещества (расчет)				Давление _____	
Напряжение и частота тока _____		Температура _____				Влажность _____	
Расчетный диаметр трубопровода $D$ при $t = +20^\circ\text{C}$ _____		Плотность _____				Состав _____	
Расчетный диаметр отверстия дроссельного органа $d$ при $t = +20^\circ\text{C}$ _____							
То же при температуре измерения _____							

Начальник \_\_\_\_\_ (наименование органа надзора) \_\_\_\_\_ (подпись)

Дата составления паспорта \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » 19 \_\_\_\_ г. \_\_\_\_\_ (подпись составителя паспорта)











Приложение 10

Проверка защит турбины \_\_\_\_\_  
(станционный номер)

Паспортные данные турбины

Тип	Завод-изготовитель	Заводской №	Мощность, МВт

Выполнение защит

Защиты выполнены согласно принципиальной схеме № \_\_\_\_\_ и включает в себя:

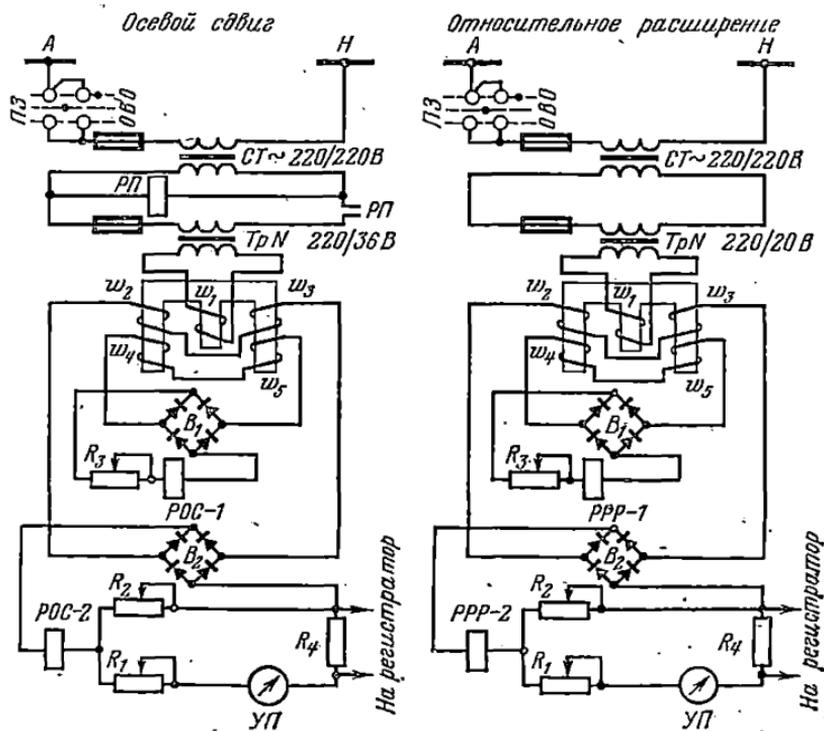
- 1) защиту от осевого сдвига;
- 2) защиту от снижения вакуума;
- 3) защиту от снижения давления масла на смазку;
- 4) \_\_\_\_\_
- 5) \_\_\_\_\_
- 6) \_\_\_\_\_
- 7) \_\_\_\_\_
- 8) \_\_\_\_\_

Указанные защиты действуют на стопорный клапан, отсекающий пар от турбины, закрывают обратные клапаны и \_\_\_\_\_  
Заданные уставки срабатывания защит

Наименование защиты	Осевой сдвиг, мм	Вакуум, мм рт. ст.	Давление масла, кгс/см <sup>2</sup>	Повышение температуры острого пара, °С	Повышение температуры вторичного пара, °С	Повышение температуры между поверхностями, °С	Понижение температуры острого пара, °С
Уставка на срабатывание							
Уставка на сигнал							

Уставки выставлены согласно карте уставок защит, утвержденной главным инженером \_\_\_\_\_  
 тов. \_\_\_\_\_

Схемы измерения осевого сдвига ротора и относительных расширений ротора и цилиндров



Продолжение прилож. 10

Проверка элементов схем

Стабилизатор СТ	Паспортные данные	Тип	Заводской №	Мощность, В·А	Схема включения		
	Рабочая нагрузка	№ трансформаторов		$I_{\text{вых}}, \text{А}$	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	$P_{\text{вых}}, \text{В} \cdot \text{А}$	
	Характеристика стабилизации при рабочей нагрузке	$U_{\text{вх}}, \text{В}$	240	230	220	210	200
$U_{\text{вых}}, \text{В}$							
Трансформаторы ТР	Обозначение по схеме						
	Тип/заводской №						
	$K_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}}$	$\frac{220}{220} =$	$\frac{220}{220} =$	$\frac{220}{220} =$	$\frac{220}{220} =$	$\frac{220}{220} =$	$\frac{220}{220} =$
Электрические цепи	Сопротивление изоляции, МОм						
	Кабельные связи			Собранная схема			

Примечание. Сопротивление изоляции измерялось мегомметром:  $U_{\text{н}} = 2,5 \text{ кВ}$  — кабельных связей;  $U_{\text{н}} = 0,5 \text{ кВ}$  — собранной схемы.

Градуйровка приборов осевого сдвига и относительного расширения

При градуировке всех приборов ротор прижат к рабочим колодкам (сдвинут в сторону генератора)

- Осевой сдвиг ротора \_\_\_\_\_ (обозначение цилиндра)



Продолжение прилож. 10

Напряже- ние на вто- ричных обмотках,	I (вывод 3—4)																			
	II (вывод 5—6)																			

Параметры настройки схемы измерения

Настроечные сопротивле- ния, Ом				Уставки выставлены	Уставки реле	
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>		POC-1	POC-2
				по шкале реле		
				по шкале прибора, мм		
				по току, мА		

Примечание

Испытание произвел \_\_\_\_\_ (фамилия) \_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ (дата)

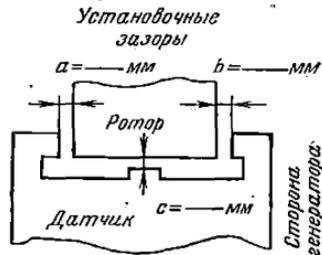
2. Относительное расширение ротора и \_\_\_\_\_

(обозначение цилиндра)

Датчик

Заводское обозначение \_\_\_\_\_ Заводской № \_\_\_\_\_

Обозначение обмоток	Сопротивление изоляции отно- сительно кор- пуса, МОм	Сопротивление постоянному току, Ом	Напряжение при «ф» прибора, В	Ток при «ф» прибора, мА
Первичная (вывод 1—2)				
Вторичная I (вывод 3—4)				
Вторичная II (вывод 5—6)				



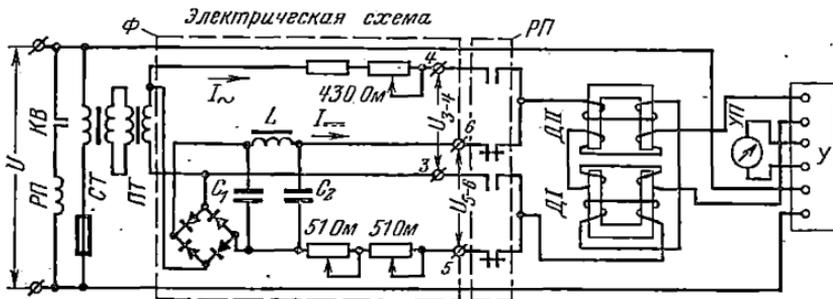


Продолжение прилож. 10

Проверка устройства по измерению искривления ротора

Комплектность устройства

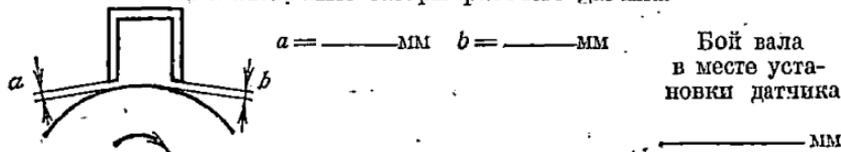
Паспортные данные	Стабилизатор СТ	Понижающий трансформатор ПТ	Рабочий датчик ДИ	Компенсационный датчик ДИИ	Усилитель У	Указывающий прибор УП	Фильтр Ф
Тип							
Заводской №							



Стендовая проверка тарировки прибора

Бой вала, мм		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Показания прибора, мм	На валоповороте						
	500 об/мин						
	1 000 об/мин						
	1 500 об/мин						
	2 000 об/мин						
	3 000 об/мин						

Установочные зазоры рабочего датчика



Продолжение прилож. 10

## Параметры электрической схемы

Напряжение питания усилителя $U$ , В	Напряжение на выходе стабилизатора, В	Напряжение питания датчиков, В		Ток питания датчиков, мА	
		$U_{3-4}$	$U_{5-6}$	$I_{\sim}$	$I_{\dots}$
		на валоповороте	на оборотах	на валоповороте	на оборотах

## Контрольные замеры боя ротора

Режим работы турбины		на валоповороте		на оборотах 1 000 об/мин	
Бой ротора, мм	по индикатору				
	по указывающему прибору				

Примечание:

Проверку произвел \_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ (фамилия) \_\_\_\_\_ (дата)

Проверка реле давления масла для защиты турбины и блокировки маслонасосов

Обозначение реле по схеме	Паспортные данные реле		Характеристика реле			
	Тип	Заводской №	Номер контакта (сверху — вниз)	Назначение контакта	Уставка, кгс/см <sup>2</sup>	$R_{пз}$ , МОм
P1.						
P2						

Продолжение прилож. 10

Проверка вакуумного реле

Паспортные данные		Характеристика реле		
Тип	Заводской №	Назначение контактов	Уставка, мм рт. ст.	$R_{из}$ , МОм
		Сигнал		
		Отключение		

Проверка электромагнита отключения турбины

Тип	Заводской №	$R_{из}$ относительно корпуса, МОм	Сопротивление постоянному току, Ом

Примечание:

Заключение. Защита турбины налажена и может быть включена в работу.

Испытание произвел \_\_\_\_\_  
 (подпись) (фамилия) (дата)

Принял \_\_\_\_\_  
 (подпись) (фамилия) (дата)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по наладке электрооборудования электростанций и подстанций. Аппаратура первичных цепей. Под ред. Э. С. Мусаяна. М., «Энергия», 1971, 416 с.
2. Емельянов А. И. Теплотехнические контрольно-измерительные и регулирующие приборы. М., Машгиз, 1963, 240 с.
3. Мурин Г. А. Теплотехнические измерения. М., «Энергия», 1968, 584 с.
4. Соловцов В. К. Контрольно-измерительные приборы. М., «Высшая школа», 1969, 272 с.
5. Топерверх Н. И., Шерман М. Я. Теплотехнические измерительные и регулирующие приборы. М., «Металлургия», 1966, 456 с.
6. Клымовицкий М. Д., Копелович А. П. Автоматический контроль и регулирование в черной металлургии. Справочник. М., «Металлургия», 1967, 788 с.
7. Кошарский Б. Д. и др. Автоматические приборы, регуляторы и управляющие машины. Справочное пособие. Изд. 2-е. Л., «Машиностроение», 1968, 880 с.
8. Вайнштейн Д. М. Монтаж приборов контроля и автоматического регулирования. Свердловск, Машгиз, 1962, 304 с.
9. Чистяков С. Ф. Монтаж теплотехнических приборов и аппаратуры автоматики на электростанциях. М., «Энергия», 1966, 312 с.
10. Файгензон М. С. Стендовая поверка и индивидуальное опробование приборов и средств автоматизации. М., Изд-во литературы по строительству, 1967, 356 с.
11. Паперный Е. А., Эйдельштейн И. Л. Погрешности контактных методов измерения температуры. М., «Энергия», 1966, 96 с.
12. Макаров А. К., Свердлин В. М. Автоматические устройства контроля уровня. М., «Энергия», 1966, 184 с.
13. Лосытинский В. А. Справочное пособие для метролога предприятия. М., Изд-во стандартов, 1972, 280 с.
14. ГПК по энергетике и электрификации СССР. Методика испытаний котельных установок. М., «Энергия», 1964, с. 127—132.
15. Теплофизические свойства веществ. Справочник под ред. Н. Б. Варгафтика. М.—Л., Госэнергоиздат, 1956, 368 с.
16. Вукалович М. П. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М., Машгиз, 1955, 92 с.
17. Павленко В. А. Газоанализаторы. Л., «Машиностроение», 1965, 296 с.
18. Вардомский Э. К., Гуревич Э. З. Усовершенствование конструкции уравнительного сосуда. — «Электрические станции», 1960, № 6, с. 36—38.

19. Демьянчук И. В. Автоматическая коррекция показаний гидростатических датчиков уровня при пуске котла. — «Теплоэнергетика», 1963, № 1, с. 70—75.

20. Ашихмин В. И., Геллер З. И. Методика расчета двоянных диафрагм для измерения расхода мазута. — «Электрические станции», 1964, № 2, с. 27—28.

21. Певзнер Е. З. Калибровка кислородомеров МГК-14 в лаборатории. — «Электрические станции», 1971, № 9, с. 72—73.

22. Мостофин А. А., Сорокина Н. С. Солемеры ЦКТИ с дегазацией и обогащением проб. — «Теплоэнергетика», 1961, № 4, с. 85—89.

23. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Изд. 12-е. М., «Энергия», 1968, 224 с. Минэнерго СССР.

24. Сборник правил и руководящих материалов по котлонадзору. Изд. 2-е. М., «Недра», 1971, 528 с.

25. Правила устройства электроустановок. Изд. 4-е. М., «Энергия», 1966, 464 с.

26. Руководящие указания по объему оснащения тепловых электрических станций контрольно-измерительными приборами, средствами авторегулирования, технологической защиты, блокировки и сигнализации. М., СЦНТИ ОРГРЭС, 1969, 68 с. Минэнерго СССР, Главтехуправление, Главтехстройпроект.

27. Строительные нормы и правила, ч. III, разд. II, гл. 7. Монтаж приборов и средств автоматизации. СНиП III-И. 7-67. М., Изд-во литературы по строительству, 1968, 56 с. Госстрой СССР.

28. Правила техники безопасности при эксплуатации теплового оборудования электростанций. М., Атомиздат, 1972, 80 с. Минэнерго СССР, Отдел по технике безопасности и промышленной санитарии.

29. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок электрических станций и подстанций. Изд. 19-е. М., «Энергия», 1972, 120 с. Минэнерго СССР, Техуправление.

30. Санитарные правила проектирования оборудования, эксплуатации и содержания производственных и лабораторных помещений, предназначенных для проведения работ со ртутью, ее соединениями и приборами со ртутным заполнением. М., «Медицина», 1969, 34 с. Минздрав СССР, Главное санитарно-эпидемиологическое управление.

31. Инструкция по наладке и эксплуатации автоматических защит теплоэнергетического оборудования блочных установок мощностью 150—300 Мвт. М., СЦНТИ ОРГРЭС, 1970, 108 с. Минэнерго СССР, Главтехуправление.

32. Правила 27-54 по применению и поверке расходомеров с нормальными диафрагмами, соплами и трубами Вентури. М., Изд-во стандартов, 1960, 160 с.

33. Правила 28-64 измерений расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами. М., Изд-во стандартов, 1965, 148 с.

34. Поверка приборов для температурных и тепловых измерений. — Сборник инструкций. М., Изд-во стандартов, 1965, 708 с.

35. Манометры, вакуумметры и мановакуумметры показывающие и самопишущие. Методы и средства поверки. ГОСТ 15614-70. Введ. 1/1 1971 г. М., 1971, 16 с.

36. Методические указания № 192 по определению основной погрешности дифманометров-расходомеров. М., Изд-во стандартов, 1970, 32 с.

37. Сводные нормы расхода этилового спирта по Министерству энергетики и электрификации СССР. М., Органергострой, 1971, 112 с. Минэнерго СССР, Главтехуправление по строительству.

38. Информационное сообщение Т-33/67. Испытания устройства для измерения уровня в барабане котла ТГМ-94. М., БТИ ОРГРЭС, 1968, 28 с. Минэнерго СССР, Главтехуправление, ОРГРЭС.

39. Рекомендации по расчету сужающих устройств профилем «четверть круга» для измерения расхода вязких сред. М., ГПИ Сантехпроект, 1969, 24 с. Госстрой СССР, Главпромстройпроект, ГПИ Сантехпроект.

40. Информационное сообщение Т-10/68. Результаты освоения и эксплуатации кислородомеров МН-5130 на котлах, сжигающих серпистый мазут. М., СЦНТИ ОРГРЭС, 1969, 12 с. Минэнерго СССР, Главтехуправление, ОРГРЭС.

41. Информационное сообщение Т-15/70. Освоение и эксплуатация кислородомеров МГК-14. М., СЦНТИ ОРГРЭС, 1970, 28 с. Минэнерго СССР, Главтехуправление, ОРГРЭС.

42. Росман Л. В. Групповое управление возбуждения синхронных генераторов гидроэлектростанций. М., Госэнергоиздат, 1962, 168 с.

43. Баженов С. Н., Бенин В. Л. Автоматическое регулирование в энергосистемах. Киев, «Техника», 1966, 412 с.

44. Брон О. Б. Автоматы гашения поля. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961, 138 с.

45. Каганов И. Л. Электронные и ионные преобразователи. Ч. III. М.—Л., Госэнергоиздат, 1956, 528 с.

46. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М., «Энергия», 1964, 380 с.

47. Веников В. А., Герценберг Г. Р., Савалов С. А., Соколов Н. И. Сильное регулирование возбуждения. М., «Госэнергоиздат», 1963, 152 с.

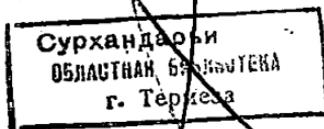
48. Справочник по электроустановкам промышленных предприятий. Т. III. Под ред. А. С. Дорофеева и В. И. Круповича. М., «Энергия», 1965, 704 с.

49. Инструкция по эксплуатации и ремонту генераторов на электростанциях. М.—Л., «Энергия», 1966, 112 с., Минэнерго СССР, Техническое управление по эксплуатации энергосистем, ОРГРЭС.

50. Наладка устройств компаундирования и электромагнитных корректоров напряжения синхронных машин. М., «Энергия», 1968, 79 с. Минэнерго СССР, Главтехуправление, ОРГРЭС.

51. Наладка и испытания автоматического регулятора возбуждения фазового компаундирования РВА-62. М., «Энергия», 1969, 72 с. Минэнерго СССР, Главтехуправление, ОРГРЭС.

52. Автоматические регуляторы возбуждения. — «Труды ВЭИ», вып. 73. М., «Энергия», 1966, 312 с.



53. Автоматическое регулирование и управление в энергосистемах. — «Труды ВЭИ», вып. 73. М., «Энергия», 1968, 328 с.

54. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ртутного преобразователя ЭВПУ-500/2,5 × 6. Свердловск, УЭТМ, 1967, 60 с.

55. Техническое описание и инструкция по эксплуатации АРВ-ГТ Красноярской ГЭС. М., ВЭИ, 1967, 36 с.

56. Техническое описание и инструкция по эксплуатации системы сеточного управления типа ССУП-4. М., ВНИИЭМ, 1967, 51 с.

57. Техническое описание и инструкция по эксплуатации выключателей типа 6 × ВАБ-43-1. Свердловск, УЭТМ, 1968, 41 с.

*ВЛАДЛЕН НИКОЛАЕВИЧ АРХИПОВ  
ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ БОРОДАВКИН  
ЭДУАРД АБРАМОВИЧ ВИШНЕВЕЦКИЙ  
ВАСИЛИЙ ПЕТРОВИЧ ОМЕЛЬЧЕНКО  
ВЯЧЕСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ ФОМЕНКО*

**СПРАВОЧНИК ПО НАЛАДКЕ  
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ  
И СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ  
НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ**

*Редактор издательства И. П. Березина  
Переплет художника Е. В. Никитина  
Художественный редактор Д. И. Чёрнышев  
Технические редакторы Л. В. Иванова, Л. М. Кузнецова  
Корректор И. А. Володьева*

Сдано в набор 2/XI 1973 г. Подписано к печати 9/IV. 1974 г. Т-05590  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 3. Усл. печ. л. 18,06  
Уч.-изд. л. 20,87. Тираж 40 000 экз. Зак. 1101. Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлизовая наб., 10

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 1  
«Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при  
Государственном комитете Совета Министров СССР по делам изда-  
тельств, полиграфии и книжной торговли. 197136 Ленинград, П-136,  
Гатчинская ул., 26.

Отпечатано во Владимирской типографии Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете Совета Министров СССР  
по делам издательств полиграфии и книжной торговли  
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б. Заказ 197