

Библиотека  
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



И. С. СТРЕЛЕЦКИЙ

**ПЕРЕМОТКА  
РОТОРОВ  
ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ  
СТЕКЛЯННОЙ  
ИЗОЛЯЦИИ**



С1401751

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

---

Выпуск 291

6н2.12  
С 842

И. С. СТРЕЛЕЦКИЙ

ПЕРЕМОТКА РОТОРОВ  
ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ  
СТЕКЛЯННОЙ ИЗОЛЯЦИИ



«ЭНЕРГИЯ»

---

МОСКВА 1969

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., [Долгов А. Н.], Ежков В. В., Мандрыкин С. А.,  
Каминский Е. А., Сиибчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Устинов П. И.

Стрелецкий И. С.

С 84 Перемотка роторов турбогенераторов с применением стеклянной изоляции. М., «Энергия», 1969.

80 с. с илл. (Б-ка электромонтера, вып. 291).

В брошюре излагается технология полной перемотки роторов турбогенераторов с поверхностным воздушным и водородным охлаждением.

Приведены технико-экономические обоснования перемотки роторов с применением стеклянной изоляции, сравнительная стоимость слюдяной и стеклянной изоляций для перемотки ротора турбогенератора ТВ2-100-2. Обобщен опыт производственного предприятия Ростовэнерго по совершенствованию технологии перемотки роторов с применением стеклянной корпусной и витковой изоляции на эпоксидно-резольных лаках.

Брошюра предназначена для электрослесарей и мастеров, занимающихся эксплуатацией и ремонтом роторов.

3-3

118-68

6П2.1.081

Стрелецкий Иван Степанович

Перемотка роторов турбогенераторов с применением стеклянной изоляции

Редактор Е. Л. Маршак

Технический редактор О. Д. Кузнецова Корректор В. С. Антипова

Сдано в набор 3/II 1969 г.

Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>

Усл. печ. л. 4,2

Тираж 7000 экз.

Подписано к печати 3/IX 1969 г.

T-13205

Бумага типографская № 2

Уч.-изд. л. 4,22

Цена 15 коп.

Зак. 2050

Издательство „Энергия“. Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома  
Комитета по печати при Совете Министров СССР.  
Шлюзовая наб., 10.

Государственная  
публичная библиотека  
им. Б.Г. Белинского  
г. Свердловск

С. 140/1751

## 1. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕКЛЯННОЙ ИЗОЛЯЦИИ

При изготовлении и ремонте турбогенераторов для корпусной и витковой изоляции в роторах ранее применялись материалы, основной частью которых являлась дорогостоящая и дефицитная слюда в сочетании с различными лаками.

В настоящее время при перематках роторов турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов стали широко применяться изоляционные материалы на стеклянной основе в сочетании с эпоксидно-резольными и эпоксидно-фенольными лаками. Материалы на стеклянной основе обладают высокой теплостойкостью, механической и электрической прочностью.

Таблица 1

Наименование показателей	Гильзы из миканита марки ФМГА	Гильзы из стеклоткани ПСЭР1-30
Минимально допустимая толщина стенки гильз, мм . . . . .	0,9	1,0
Нормальная толщина стенки гильзы без стальной армировки, мм . . .	1,2—1,3	1,5—1,7
Электрическая прочность изделия, кВ/мм . . . . .	20	24—35**
Электрическая прочность образцов, вырезанных из готовых гильз, кВ . .	24—30*	40—60**
Коэффициент теплопроводности гильз без металлической армировки, Вт/м·град . . . . .	0,124***	0,16***
Длительно допустимая рабочая температура, °С . . . . .	130** (класс В)	155** (класс F)

\* По данным испытаний Ростовэнергоремонта.

\*\* Отчет „Испытания теплостойкости материала миканитовых и стеклотекстолитовых гильз“, выполненный Ростовским институтом инженеров железнодорожного транспорта (РИИЖТ) по заданию Ростовэнергоремонта. Испытание образцов на пробой производилось в масле.

\*\*\* Отчет „Испытания теплопроводности миканитовых и стеклотекстолитовых гильз“, выполненный РИИЖТ по заданию Ростовэнергоремонта.

Наименование	Марка миканита и толщина, мм	ГОСТ	Количество	Цена за единицу, руб.	Полная стоимость, руб.	Примечания
Гильзы пазовые, шт.	ФМГА; 0,15—0,3	6122-60	40	268	10 720	Калькуляция Ростовзнергоремонта
Манжеты концевые, шт.	ФМК; 0,3		80	3,5	280	
Витковая изоляция, кг	ПФКА; 0,15—0,3	6121-60	96	42,5	4 080	Прейскурант № 15-10
Подклиновыи багаж, кг	ПМГА; 0,5		55	3,4	187	
Прочие материалы (стекломикалента, стеклолента, асбестовая лента, лаки, эмали, растворители и др.)	—	—	—	—	2 913	По ценам заводов-поставщиков
Итого . . . . .	—	—	—	—	18 180	

Таблица 3

Наименование	Материал, марка, толщина, мм	ГОСТ	Количество	Цена за единицу, руб.	Полная стоимость, руб.	Примечания
Гильзы пазовые, шт.	Стеклоткань ПЭРІ-30; 0,1—0,12	—	40	106,5	4 260	По калькуляции Ростовэнергоремонта
Манжеты концевые, шт.	Миканит ФМК; 0,3	6122-60	80	3,5	280	
Витковая изоляция, м <sup>2</sup>	Стеклотекстолит СТЭРІ-30; 0,4—0,5	—	120	20,6	2 472	
Подклиновыи багаж, кг	Стеклотекстолит СТЭФ; 7—8	12652-67	110	5,4	594	Прейскурант № 15-10
Прочие материалы (стеклолента, асбестовая лента, лаки, эмали, растворители и др.)	—	—	—	—	2 242	По ценам заводо-поставщиков
Итого . . . . .	—	—	—	—	9 848	

Исходным материалом для изготовления корпусной и витковой изоляций обмоток роторов является стеклоткань марки Э толщиной 0,1 мм (ГОСТ 8481-61), которая представляет собой ткань полотняного переплетения, состоящую из крученых нитей бесщелочного стекла, заранее пропитанную эпоксидно-резольным или эпоксидно-фенольным лаком на специальной пропиточно-сушильной машине. Из пропитанной стеклоткани изготавливаются пазовые гильзы, витковая изоляция в виде полос стеклотекстолита, подбандажная изоляция, подклиновы́й багаж, изоляция внутренних токоподводов и контактных колец.

Сравнительные свойства миканитовых и стеклотекстолитовых гильз приведены в табл. 1.

Величины, указанные в табл. 1, характеризуют высокое качество стеклотекстолитовой изоляции.

Применение этой изоляции диктуется и экономическими соображениями. В табл. 2 приведена стоимость материалов для ремонта ротора турбогенератора ТВ2-100-2 при применении слюдяной изоляции, а в табл. 3 — с применением изоляции на стеклянной основе. Из таблиц видно, что в первом случае стоимость материалов составляет 18 180 руб., а во втором — 9 848 руб. Стоимость ремонтных работ по действующему прейскуранту составляет соответственно 8 952 руб. и 11 638 руб.

Таким образом, перемотка ротора при применении изоляции на стеклянной основе дешевле перемотки с применением слюдяной изоляции на 5 646 руб. С уменьшением мощности генератора экономический эффект снижается пропорционально длине бочки и меди ротора.

## 2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ПЕРЕМОТКЕ ОБМОТОК РОТОРОВ

Работы по полной перемотке роторов связаны с длительными простоями генераторов в ремонте, большими материальными и трудовыми затратами на их выполнение. Для сокращения сроков простоя генераторов в ремонте, разрабатываются организационные мероприятия, которыми предусматриваются составление *ведомости дефектов* ротора и его узлов, разработка технической документации, оформление заказов на запчасти, заготовка изоляционных и вспомогательных материалов, изготовление ремонтной оснастки и оборудо-

вание ремонтной площадки. Ведомость дефектов составляется на основании технических актов предыдущих осмотров, испытаний и измерений, проводимых в период капитальных ремонтов. В этой ведомости отражается состояние изоляции ротора, бандажного узла, токоподводов, шеек вала, вентиляторов, пазовых клиньев и т. д. При отсутствии заводских чертежей выполняются эскизы ротора и его деталей с натуры. Определяются размеры ротора, замеряются пазы, зубцы, диаметры посадочных мест, вылеты катушек, размеры меди и количество витков. Определяются размеры вала под лобовыми частями обмотки, диаметры расположения верхних и нижних витков катушек, толщина подбандажной изоляции и способ ее выполнения.

По эскизам составляются чертежи ротора и его деталей. Оформляются чертежи для заказа запчастей на электромашиностроительных заводах. Разрабатывается проект перемотки ротора. Составляются технологический процесс и технологические инструкции на выполнение отдельных операций. В технологическом процессе отражаются последовательность выполнения операций, состав звена и трудозатраты. На основании данных технологического процесса составляется сетевой график на перемотку ротора.

До начала ремонта руководитель работ составляет план размещения деталей и узлов ротора, оснастки и приспособлений на ремонтной площадке электростанции.

*Подготовительные работы* к полной перемотке ротора оформляются графиком, в котором указываются сроки изготовления приспособлений и вспомогательного оборудования, сроки поставки основных и вспомогательных изоляционных материалов, указываются лица, ответственные за выполнение подготовительных работ.

Графиком должно быть предусмотрено окончание всех подготовительных работ не позднее чем за 15 дней до начала перемотки ротора. Выполнение подготовительных работ фиксируется двусторонним актом о готовности заказчика и подрядчика к выполнению работ по перемотке ротора.

*Ремонтная площадка* для перемотки ротора должна располагаться в закрытом помещении и обслуживаться мостовым или козловым краном. На ремонтной площадке размещают следующее оборудование и приспособления:



верстак с двумя тисками;  
столы для чистки, опиловки и калибровки меди;  
ванну для химической очистки меди катушек от старой изоляции;

комплект приспособлений для рихтовки меди катушек ротора;

стеллаж для укладки гильз;

стол для резки заготовок изоляционных материалов;  
два металлических козла для установки ротора вместе с опрессовочными приспособлениями;

стол для установки измерительной и испытательной аппаратуры;

комплект опрессовочных приспособлений (пресскольца, пресспланки и бронь) для опрессовки обмотки ротора;

комплект приспособлений для съема и одевания бандажных и центрирующих колец;

ящики для мелких деталей, крепежа и инструмента.

Вблизи ремонтной площадки должно быть выделено помещение под кладовую для хранения материалов, мелких деталей ротора, приспособлений и инструмента. Кладовая оборудуется шкафами и стеллажами.

Для руководящего персонала бригады должно быть предоставлено помещение, обеспеченное телефонной связью. Ремонтная площадка должна иметь хорошее естественное освещение рабочих мест, а для работы в вечернее и ночное время (вторая и третья смены) достаточное общее и местное электрическое освещение. Для подключения переносных ламп напряжением 12 в устанавливаются щитки или переносные трансформаторы. Для ручного электромеханического инструмента (электродрелей, шлифмашинок и др.) вблизи ротора устанавливается щиток с двумя-тремя рубильниками или пакетными выключателями и предохранителями.

На ремонтную площадку подводится сжатый воздух давлением 4—6  $\text{кг/см}^2$ , пар давлением 3—5  $\text{кг/см}^2$  и температурой 150—160°С, холодная вода давлением 3  $\text{кг/см}^2$ .

Ремонтная площадка должна иметь приточно-вытяжную вентиляцию, быть оборудована необходимыми средствами пожаротушения и находиться под общим наблюдением пожарной охраны станции. Огнеопасные материалы (лаки, бензин, спирт, керосин и др.) хранятся в специальном помещении, вне машинного зала.

Грузоподъемные машины и механизмы (мостовой кран, тали, домкраты и стальные канаты) перед началом ремонта осматриваются, проверяются их грузоподъемность и сроки испытаний.

Чистка и опилковка металлических деталей должны производиться вдали от изолировочного участка. Для изолировки витков катушек ротора рекомендуется выделять участок, защищенный от попадания пыли, влаги, металлических стружек, масла и т. д. Он должен иметь хорошее освещение и отвечать требованиям Правил противопожарной безопасности.

Ремонтная бригада комплектуется на основании данных технологического процесса и графика ремонта. Выбор числа смен и распределение технологических операций по сменам производятся в соответствии с утвержденным графиком ремонта. Наиболее квалифицированных рабочих из состава бригады назначают бригадирами.

Оперативное руководство бригадой во время смены возлагается на старшего мастера или мастера смены. Общее руководство ремонтом ротора осуществляет шеф-инженер или старший мастер.

Перед началом ремонта руководитель работ проводит инструктаж бригады как по технике безопасности, так и по технологии ремонта ротора. Сменные мастера проводят индивидуальный инструктаж по технике безопасности, пожарной безопасности и приемам выполнения отдельных технологических операций на рабочих местах.

### 3. МАРКИРОВКА ДЕТАЛЕЙ РОТОРА ПРИ РАЗБОРКЕ

Многие заводы и фирмы при изготовлении и сборке роторов производят *маркировку* съемных деталей и пазов. При отсутствии заводской маркировки ее необходимо выполнить при ремонте. Схема маркировки деталей ротора заносится в ремонтный журнал или в рабочие чертежи. Часть деталей ротора маркируется буквенными или цифровыми кернерами. Для этой цели выбираются кернеры, четко различимые на поверхности темного металла (№ 7 или 10).

Другая часть деталей (бандажные и центрирующие кольца, ступицы осевых вентиляторов) маркируется трудносмываемыми красками. На детали, работающие

с большими нагрузками, категорически запрещается наносить риски, зарубки, цифровые клейма и другие метки, повреждающие металл. Даже незначительные местные повреждения металла могут вызвать концентрацию напряжений, которая может привести к образованию трещин и разрушению деталей в работе.

Маркировка съемных деталей производится следующим образом: на нерабочей поверхности контактных колец ставятся буквы А и Б. Буквой А помечают внешнее контактное кольцо. При двустороннем расположении контактных колец кольцо со стороны возбудителя маркируется буквой В, а со стороны турбины — буквой Т.

Большие зубцы ротора размечаются буквенными кернерами А и Б в соответствии с маркировкой контактных колец, при этом катушки полюса А должны быть соединены с внешним контактным кольцом (стороной возбудителя), а катушки полюса Б — с внутренним кольцом (стороной турбины).

Центробежные вентиляторы помечаются краской буквами В и Т соответственно на стороне возбудителя и турбины. Ступицы осевых вентиляторов маркируются со стороны бандажных колец, при этом отверстия под шпильки, конусные шпильки и лопадки с одной стороны должны быть замаркированы большими по размеру цифрами, а с другой стороны — меньшими. Дополнительно с внешней стороны ступицы вентиляторов маркируются краской буквами В и Т соответственно на стороне возбудителя и турбины. Конусные шпильки осевых вентиляторов (завода «Электросила») имеют маркировку на толстых концах.

На бандажных кольцах и роторе по оси большого зуба наносятся краской линии совмещения, которые определяют их взаимное положение. На тыльной части бандажей и на центрирующих кольцах также наносятся линии совмещения и буквы В или Т, обозначающие стороны генератора.

Положение центрирующих колец относительно вала фиксировано направляющей шпонкой. При отсутствии шпонок на валу и центрирующих кольцах ставят метки, определяющие их взаимоположение. Пазы ротора маркируются цифровыми кернерами. Порядковые номера выбивают на зубце справа от паза, если смотреть на ротор со стороны возбудителя. Пазовые клинья маркируются цифровыми кернерами. Порядковые номера надо счи-

тать со стороны возбудителя в сторону турбины. На конце клина, обращенном к возбудителю, выбивают номер паза, а на противоположном конце ставят порядковый номер клина (рис. 1).

Катушки ротора маркируются цифровыми и буквенными кернерами на верхних межкатушечных перемычках от бочки ротора к центрирующим кольцам. На катушке выбивают ее порядковый номер, обозначение полюса и стороны ротора, на которой выполнены межкатушечные перемычки, например 1АВ, 2АВ или 1ВВ,

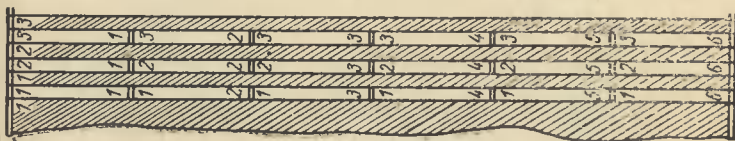


Рис. 1. Маркировка пазовых клиньев и зубцов ротора.

2ВВ. Такое обозначение показывает, что межкатушечные перемычки паяются со стороны возбудителя на обоих полюсах. Обозначение 1АТ, 2АТ или 1ВВ, 2ВВ и т. д. показывают, что межкатушечные перемычки полюса А паяются со стороны турбины, а полюса В — со стороны возбудителя.

Мелкие крепежные детали ротора (шайбы, винты, гайки и др.), имеющие одинаковую форму и вес, не маркируются, а складываются в отдельные ящики с пометками «сторона возбудителя» или «сторона турбины» и хранятся в кладовой до их установки на ротор в условиях, обеспечивающих их полную сохранность.

#### 4. СЪЕМ БАНДАЖНЫХ КОЛЕЦ

Приступая к ремонту ротора, необходимо внимательно ознакомиться с конструкцией бандажного узла по чертежам или по натуре. Бандажные узлы роторов турбогенераторов могут иметь различное конструктивное исполнение и различные способы крепления от аксиального смещения.

Для съема бандажных колец ротор устанавливается на шпальные выкладки большим зубом. Шпальные выкладки располагаются на ремонтной площадке, до-

ступной для обслуживания мостовым краном. В зависимости от конструкции бандажного узла съем колец производят либо вместе с центрирующими кольцами, либо отдельно. В каждом конкретном случае детали крепления бандажного узла снимают с ротора или их устанавливают в таком положении, при котором возможен съем бандажного кольца. Например на роторе турбогенератора типа ТВ2-100-2 фиксация бандажных колец от аксиального смещения осуществляется кольцевыми

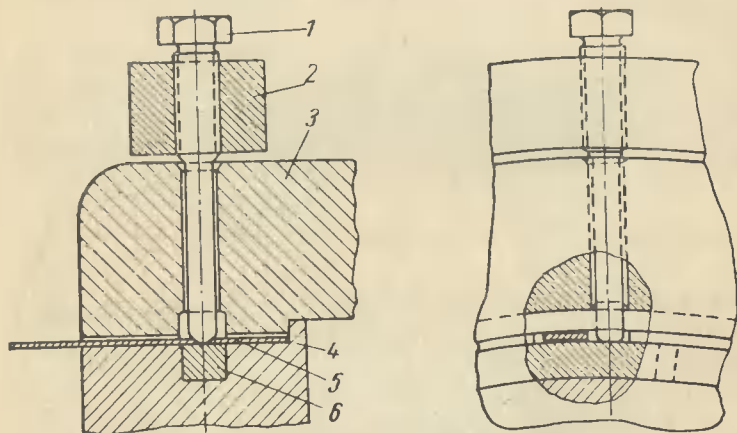


Рис. 2. Фиксация кольцевой шпонки стальными пластинками.  
1 — винт отжимной; 2 — кольцо с резьбовыми отверстиями; 3 — бандажное кольцо; 4 — центрирующее кольцо; 5 — стальная пластинка; 6 — кольцевая шпонка.

пружинящими шпонками с разрезом. Кольцевая шпонка размещается в канавках центрирующего и бандажного колец. Разжимаясь под действием упругих свойств стали и центробежных сил, шпонка надежно фиксирует положение бандажных колец и не позволяет им смещаться во время работы.

Для съема такого бандажного кольца необходимо утопить кольцевую шпонку в канавке центрирующего кольца.

Для этой цели используется отжимное кольцо (рис. 2). В тыльной части бандажного кольца просверлено 8—12 отверстий для входа винтов отжимного кольца. На центрирующем кольце имеются 8—12 прорезей, совмещенных с отверстиями бандажного кольца. Установив отжимное кольцо на тыльную часть бандажа,

завинчивают винты и утапливают шпонку в центрирующее кольцо.

С торца, через прорези в центрирующем кольце, вставляют стальные пластинки (рис. 3), удерживающие шпонку в утопленном положении. Отжимные винты вывинчивают из кольца, а кольцо снимают с бандаж.

При нагреве бандажных колец для их съема и посадки пламенем автогенных горелок или керосиновых форсунок металл бандажных колец прогревается неравно-

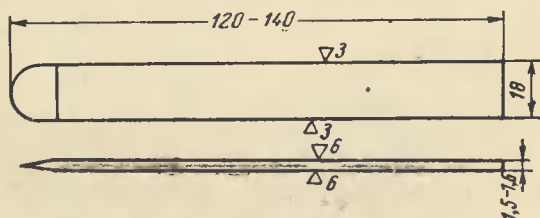


Рис. 3. Пластинки для фиксации кольцевой шпонки.

мерно. В 1962 г. был предложен индукционный способ нагрева бандажных колец током промышленной частоты с помощью специальных трубчатых индукторов, обеспечивающих быстрый и равномерный нагрев колец [Л. 1]. Работники предприятия Львовэнергоремонт предложили заменить жесткий трубчатый индуктор гибким шланговым [Л. 2], дающим возможность нагрева бандажных колец любого размера. Шланговый индуктор представляет собой неизолированный провод сечением 90—120 мм<sup>2</sup>, протянутый через прорезиненный шланг длиной 90—100 м. На концах провода напаяны специальные наконечники, через которые в индуктор подводится охлаждающая вода. Источник тока для питания шлангового индуктора выбирается из расчета создания н. с., равной 20—30 тыс. ав. Для этой цели изготавливаются специальные трансформаторы напряжением 380/220 в и силой тока 1 500—2 000 а. Магнитопровод для нагревательных трансформаторов можно использовать от силовых типа ТМ-180 или ТМ-320. При отсутствии специальных трансформаторов можно использовать два сварочных трансформатора типа ТСД-2000. Подключение сварочных трансформаторов в электросеть производится параллельно. Обмотки трансформаторов с низкой стороны соединяются последовательно. Скорость нагрева



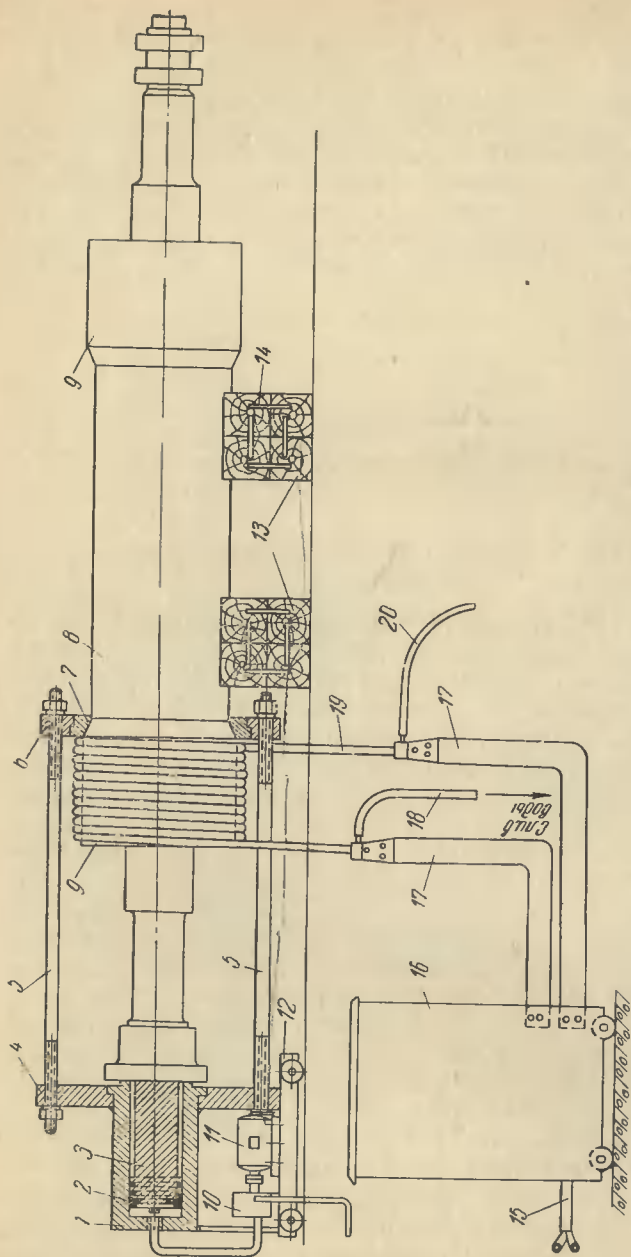


Рис. 4. Установка ротора и приспособлений для съема бандажных колец индукционным нагревом.

1 — цилиндр; 2 — манжета; 3 — поршень; 4 — кольцо стяжное; 5 — шпильки с гайками; 6 — кольцо-захват; 7 — фигурные полукольца; 8 — ротор; 9 — бандажные кольца; 10 — масляный насос давлением 400—600 кг/см<sup>2</sup>; 11 — кабель для подключения трансформатора; 12 — тележка; 13 — шпильки выкладки; 14 — скобы металлические; 15 — кабель для подключения трансформатора к сети; 16 — трансформатор ТСД-2000, 2 шт.; 17 — токоведущие шины сечением 1000 мм<sup>2</sup>; 18 — шланг для слива воды; 19 — индуктор гибкий; 20 — шланг подачи охлаждающей воды.

регулируется изменением силы тока в индукторе дроссельными устройствами сварочных трансформаторов.

Из многих вариантов приспособлений для съема бандажных колец предпочтительно пользоваться приспособлениями с гидравлическими силовыми блоками (рис. 4). Цилиндр гидроблока рассчитывается на максимальное давление маслонасоса. Усилие, создаваемое поршнем, должно быть не менее 20 Т.

Перед намоткой шлангового индуктора бандажное кольцо закрывается двумя-тремя слоями асбестового полотна. Во избежание образования контурных токов стяжные шпильки изолируются от стяжного или захватывающего кольца стеклотекстолитом. При работе индуктора плотность тока в кабеле достигает 12—15 а/мм<sup>2</sup>. Расход воды для охлаждения кабеля должен быть не менее 30 л/мин. Вода может подаваться специально установленным насосом или от водопровода с давлением около 3 кг/см<sup>2</sup>.

Контроль температуры нагрева бандажных колец можно производить хромель-копелевыми термопарами с гальванометром типа ГНКП, термощупами (конструкция Львовэнергоремонта) и термокарандашами. При использовании термокарандашей для контроля нагрева метки наносятся на тыльной части бандажного кольца. Для этого достаточно иметь два карандаша на 220 и 250°С (предельная температура нагрева немагнитных бандажных колец). Съём бандажного кольца можно производить при его нагреве до 200—210°С, нагрев продолжается 45—50 мин. Затем индуктор переносят на другое бандажное кольцо. На снятое кольцо одевают хомут с рукоятками и переносят на площадку. Бандажные кольца укладывают тыльной частью на доски, покрытые листовым асбестом. При наличии сквозняков бандажное кольцо оставляют завернутым в асбестовое полотно до полного остывания.

Центрирующие кольца можно снимать с вала ротора без специальных приспособлений. Нагрев центрирующих колец производится пламенем автогенных горелок или керосиновых форсунок.

## 5. РАЗБОРКА ОБМОТКИ РОТОРА

После съема бандажных и центрирующих колец ротор устанавливают на козлы. Козлы при изготовлении рассчитываются на вес наиболее тяжелого ротора, имею-



щегося на электростанции. На верхнюю опорную площадку козел крепят деревянный брус. В вырез бруса укладывают картон, фибру или паранит, густо смазанный солидолом. Для предохранения вала от забоин, царапин и других механических повреждений шейки прикрывают кожухами из электрокартона и жести. Вбли-

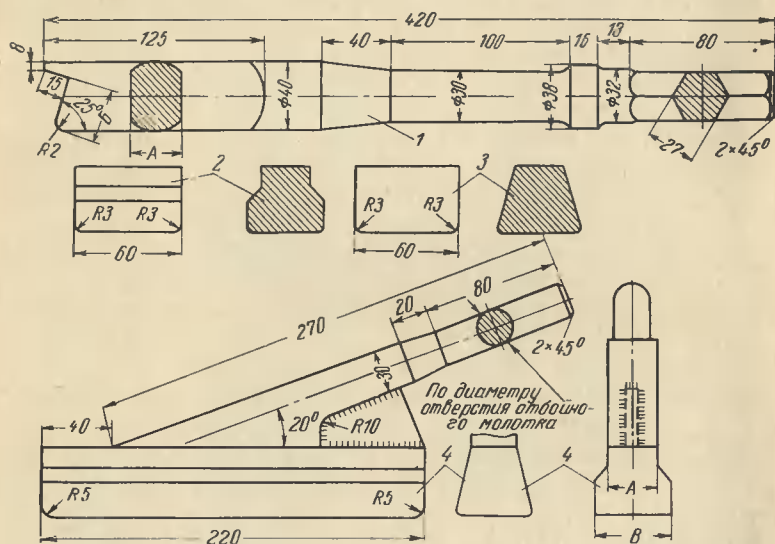


Рис. 5. Приспособления для выбивки и забивки клиньев.

1 — выколотка для выбивки клиньев; 2, 3 — проставки для забивки клиньев; 4 — выколотка для забивки клиньев; А — ширина паза минус 2 мм; В — высота клина минус 3 мм; В — ширина клина минус 2 мм.

зи ротора устанавливают два стола или верстака для раскладки инструмента. С лобовых частей обмотки удаляют подбандажную изоляцию. Затем вынимают радиальные клинья и аксиальные распорки из лобовых частей катушек и замеряют вылеты катушек от бочки ротора.

При перемотках роторов используется заводская (фирменная) медь независимо от того, деформированы лобовые части витков или нет. Замена обмотки ротора на новую производится в исключительных случаях.

Для более успешного восстановления размеров катушек при наличии большой деформации меди необходимо в процессе разборки обмотки производить замеры вылетов лобовых частей по каждому витку в отдельности. Эти замеры делают с двух сторон ротора, данные

заносят в ремонтный журнал. Схему расклиновки лобовых частей и размеры деталей отражают в чертежах только в случае их повторного использования.

Для выбивки клиньев из пазов ротора используют отбойные пневматические молотки и специальные

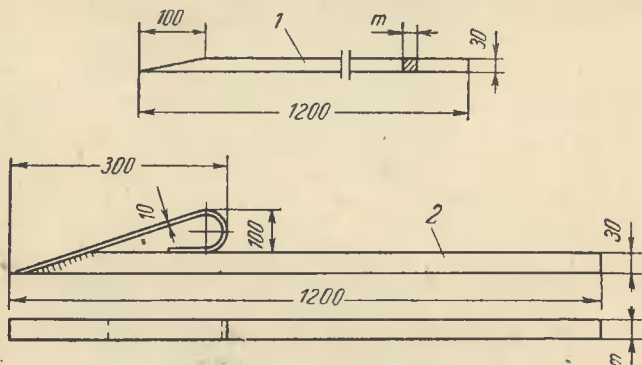


Рис. 6. Ломики для выемки витков катушек из пазов.

1 — для подрыва витков; 2 — для удаления витков из пазов;  $m$  — ширина меди.

выколотки, изображенные на рис. 5. В некоторых роторах пазовые клинья имеют сквозные резьбовые отверстия для балансировочных грузов. Часть отверстий бывает занята балансировочными грузами. Перед выбивкой клиньев они отвинчиваются на два-три оборота. Пазовые клинья по длине бочки ротора устанавливаются с небольшими зазорами в 1—3 мм. В стык между двумя клиньями забивается стальное зубило, и клинья раздвигаются на 10—15 мм. В образовавшийся зазор вставляется выколотка и производится выбивка клина. При тугой заклиновке пазов можно прогревать клинья пламенем автогенной горелки до температуры 90—100° С. Выбитые из паза клинья складывают вместе и связывают проволокой. Для дополнительной обработки, чистки и опиловки от заусенцев клинья передаются комплектами. Выбивка клиньев ведется в две-три смены в соответствии с заданием сетевого графика. После выбивки клиньев распаиваются верхние межкатушечные соединения и межполюсная перемычка.

Так как большинство роторов, поступающих на ремонтку, имеют миканитовую корпусную изоляцию с от-

бортованными гильзами, то вскрытие пазов и выемка витков составляют некоторые трудности. Для облегчения выемки витков из пазов можно производить вскрытие гильз пламенем автогенной горелки. При этом подклиновым багаж и гильза размягчаются, чем облегчается удаление витков из паза. Прогревают изоляцию

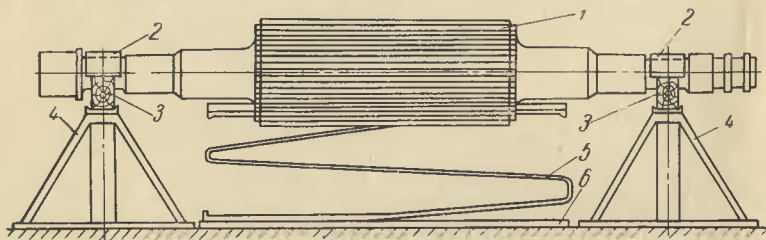


Рис. 7. Вымотка катушек ротора без приспособления для подвешивания витков.

1 — ротор; 2 — кожух; 3 — брус дубовый; 4 — козлы; 5 — витки катушки; 6 — доска сосновая 20 мм×150 мм× $L_{б.к}$  ( $L_{б.к}$  — длина большой катушки).

с большой осторожностью, чтобы не обжечь сталь ротора и медь.

Удаление витков из пазов производят специальными ломиками с клиновидными концами (рис. 6). Ширина клиновидной части ломика должна быть равна ширине меди. Острые углы этой части округляются (радиус 1—2 мм).

Для удаления витков катушек из пазов ротор устанавливают большими зубцами по вертикали, выматываемой катушкой вниз (рис. 7). Виток вынимают из паза ломиком путем его подрыва и отделения от нижележащих витков.

Такой способ вымотки катушек не требует приспособлений для подвешивания витков. Удаленные витки ложатся на пол. На двух досках, положенных вдоль ротора, производят частичную подрихтовку меди деревянными киянками. Выматываемые витки укладывают в П-образные скобы (рис. 8), чтобы катушка не рассыпалась. Перед удалением последнего полувитка надо распаять или разрубить нижнюю межкатушечную перемычку.

Вымотанную катушку связывают в трех — пяти местах по пазовым частям шпагатом, медной или стальной

проволокой и вытаскивают из-под ротора. Катушку строят на приспособление для транспортировки и переносят в ванну для очистки витков от старой изоляции.

С одного полюса ротора выматывают подряд две катушки, затем ротор поворачивают на  $180^\circ$  и выматывают все катушки второго полюса. При вымотке катушек ротор должен быть зафиксирован от проворота. Фиксацию производят рычагами или деревянными подпорками.



После вымотки всех катушек пазы ротора очищают от остатков старой изоляции пылесосом или продувают сухим сжатым воздухом. Ротор передают для дополнительной механической обработки или на подготовку к укладке новой обмотки.

## 6. ОЧИСТКА ВИТКОВ КАТУШЕК ОТ СТАРОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Очистку витков от старой изоляции можно производить различными способами: химическим путем, сжиганием изоляции автогенной горелкой или керосиновой форсункой, механической очисткой с помощью пневматических или электрических шлифмашин.

*Химический способ* удаления старой изоляции можно применять во всех случаях. Наиболее выгодным он является тогда, когда витки катушек не деформированы, медь мягкая, а толщина ее не более 5 мм. Химическое разрушение органических волокон изоляции происходит в 5—6%-ном растворе тринатрийфосфата. Для этой це-

ли ванна (рис. 9) устанавливается на ремонтной площадке в месте, доступном обслуживанию мостовым краном. Поперек ванны, на дно, укладывают четыре — шесть досок сечением  $30 \times 100$  мм. В ванну укладывают катушки одного полюса и заливают раствором трина-трифосфата. Раствор нагревают до кипения паром давлением  $3-4$  кг/см<sup>2</sup>. Отпаривание старой изоляции продолжается  $25-40$  ч, после чего раствор остуживают до температуры окружающей среды. Не сливая раствор,

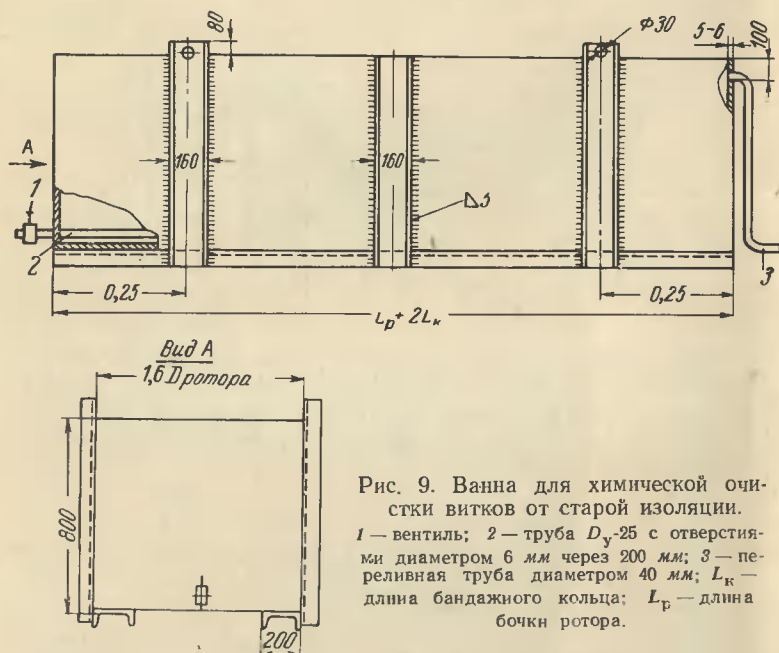


Рис. 9. Ванна для химической очистки витков от старой изоляции.  
1 — вентиль; 2 — труба  $D_y-25$  с отверстиями диаметром 6 мм через 200 мм; 3 — переливная труба диаметром 40 мм;  $L_k$  — длина бандажного кольца;  $L_p$  — длина бочки ротора.

вынимают верхнюю (малую) катушку и доставляют на изолировочный стол. Остатки изоляции удаляют мокрыми салфетками и зачищают пневмошлифовальными машинками со стальными щетками (ершами). Очищенные витки развешивают на штырях изолировочных стоек, затем собирают в П-образные скобы и связывают в трех — пяти местах по длине пазовых частей. Катушку подвешивают на приспособление для транспортировки (рис. 10) и переносят ее краном на участок рихтовки.

В процессе эксплуатации и при разборке обмотки



медь катушек деформируется. Для облегчения и ускорения рихтовки катушек медь отжигают форсунками или автогенными горелками.

Для отжига электрическим током изготавливают специальные гребенки из шифера или шамотного кирпича. Витки катушки отделяют друг от друга и раскладывают на полках гребенок. К концам катушки подсоединяют кабели от двигатель-генератора постоянного тока. Катушку закрывают листовым асбестом или асбестовой тканью и включают ток. Плотность тока выбирают в пределах  $12\text{--}15\text{ а/мм}^2$ . Медь катушки прогревают до температуры  $650\text{--}700^\circ\text{С}$  (вишневый цвет меди), ток отключают, снимают утепляющий асбестовый слой и катушку погружают в ванну, заполненную холодной водой.

Удаление старой изоляции с одновременным отжигом меди производят керосиновыми форсунками (рис. 11)<sup>1</sup>. Для отжига меди изготавливают шесть—восемь гребенок-подвесок (рис. 12). Витки катушки укладывают в прорези гребенок, а сами гребенки подвешивают на приспособление для транспортировки катушек. На приспособление подвешивают экран.

Экран изготавливают из листовой стали толщиной  $2\text{--}3\text{ мм}$ , шириной  $300\text{--}400\text{ мм}$  и длиной, равной длине большой катушки. Катушку подвешивают на гребенках к траверсе приспособления для транспортировки катушек, переносят краном к ванне и опускают над ванной. Отжиг меди производят пламенем керосиновой форсунки, причем медь толщиной до  $5\text{ мм}$  отжигают только в лобовых частях катушек, а свыше  $5\text{ мм}$  — по всему периметру катушки. Медь нагревают до температуры  $650\text{--}700^\circ\text{С}$  (вишневый цвет). Отжигают изоляцию участками до  $1\text{ м}$  длиной на одну форсунку. Нагретую медь погружают в ванну и охлаждают. Катушку поднимают вновь над водой и продолжают отжиг и охлаждение других участков меди. После окончания отжига катушку переносят на столы со стойками и штырями. Витки отоженной катушки развешивают на штырях изолировочных стоек. С поверхности витков с помощью стальных щеток удаляют остатки изоляции. Осмотром проверяют отсутствие трещин в меди. Витки опускают

---

<sup>1</sup> Конструкцию форсунки предложил шеф-инженер Ростов-энергоремонта В. С. Гурвич.







на столы и собирают в катушку. Катушку связывают в четырех-пяти местах по длине пазовых частей шпагатом и передают на рихтовочный стол.

Для чистки витков от старой изоляции шлифовальными машинками применяют электро- или пневмошлифовальные машинки с абразивными кругами на резиновой (резиновой) основе. Шлифовальные машинки подключают к источнику питания (электросеть или воздушная магистраль со сжатым воздухом до  $5 \text{ кг/см}^2$ )

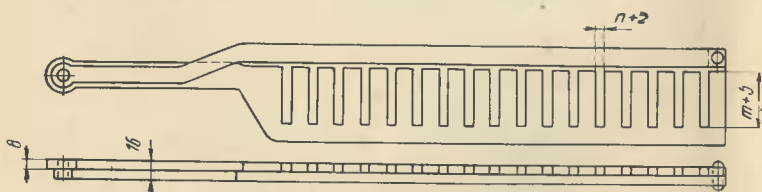


Рис. 12. Гребенка-подвеска.

$m$  — ширина меди;  $n$  — толщина меди.

и готовят для работы. Каждый работник, обслуживающий шлифовальную машинку, должен иметь светлые защитные очки, респиратор и рукавицы.

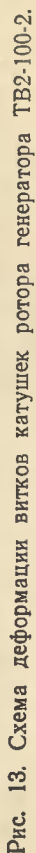
Для чистки катушек шлифовальными машинками витки развешивают на штырях изолировочных стоек. На столах вдоль катушки крепят две доски сечением  $20 \times 100 \text{ мм}$  и длиной, равной длине большой катушки. Витки поочередно, начиная с нижнего, снимают со штырей изолировочного стола, предварительно рихтуют на досках киянками, а затем очищают от старой изоляции шлифовальными кругами на каучуковой основе. Одновременно с удалением старой изоляции зашлифовывают местные забоины и утолщения.

Собранную в П-образных скобах катушку переворачивают и защищают витки с другой плоскости. Витки при этом развешивают на штырях, и шаблонами контролируют толщину и ширину шин меди. Механическая очистка меди шлифмашинками позволяет объединить две операции: чистку и калибровку витков катушек.

## 7. ДЕФОРМАЦИЯ МЕДИ КАТУШЕК

В процессе работы в обмотках роторов возникают напряжения от центробежных сил собственного веса катушек и действия теплового расширения меди. Напряже-

В момент пуска турбогенератора обмотка ротора под действием центробежных сил прижимается к клиньям. По достижению 2 100—2 500 об/мин витки оказываются заземленными. После включения под напряжение обмотка нагревается и медь стремится расшириться. В меди возникают напряжения сжатия, которые сохраняются в течение всего периода работы генератора под нагрузкой. В тех случаях, когда напряжения сжатия превосходят предел текучести меди, после остановки ротора и остывания обмотки происходит деформация меди, витки катушек ротора сокращаются, а толщина шинок увеличивается, особенно к середине бочки ротора. Максимальное сокращение витков происходит в нижней части больших катушек, так как эти витки находятся в наиболее неблагоприятных условиях по нагреву и охлаждению. Сокращения длины витков катушек наблюдаются как в роторах иностранных фирм («АЕГ», «Броун-Бовери», «Сименс-Шуккерт»), так и в роторах Т2 и ТВ завода «Электросила». Характерными чертами для всех роторов, имеющих сильную деформацию витков в лобовых частях,



являются высокая температура нагрева обмотки (140—145° С), частые пуски и остановки турбогенераторов.

На некоторых роторах турбогенераторов мощностью 100—150 *Мвт* наблюдались явления удлинения двух-трех верхних витков. В этих случаях напряжения от центробежных сил оказывались больше предела текучести меди и верхние витки удлинялись за счет раздавливания меди.

На рис. 13 приведена схема деформации витков катушек одного из роторов турбогенераторов ТВ2-100-2. Указанный ротор эксплуатировался с частыми пусками и остановками по различным причинам в течение 12 лет. В результате большой деформации витков катушек произошло нарушение витковой изоляции в лобовых частях обмотки, и ротор был перемотан.

При осмотре катушек в процессе разборки были обнаружены зоны повышенного нагрева с разрушением витковой изоляции: пазовая часть на длине около 1 м в середине бочки ротора и лобовые части катушек. Верхние витки оказались длиннее указанных в заводских чертежах. На поверхности верхнего и следующего за ним витков отпечатались следы стеклоленты.

Фактическое положение витков катушек показано на схеме заштрихованными прямоугольниками; их смещение от заводского исполнения помечено крестиками.

## 8. РИХТОВКА МЕДИ КАТУШЕК РОТОРА

При вымотке катушек, отжиге и чистке меди витки деформируются. Для восстановления формы и размеров катушек производится рихтовка меди. Рихтовать медь можно разными способами. При частичной перемотке ротора медь рихтуют на металлических планках с помощью киянок. При полной перемотке ротора медь катушек рихтуют на специальном рихтовочном столе (рис. 14), который устанавливается на ремонтной площадке в месте, доступном для обслуживания краном. Катушку укладывают на рихтовочный стол и освобождают от упаковки. Витки одной стороны лобовой части катушки собирают в столбец и поджимают струбцинами (рис. 15) к поперечной стенке рихтовочного стола.

Струбцины затягивают слегка, чтобы отдельные витки могли смещаться от ударов киянки. Зафиксировав

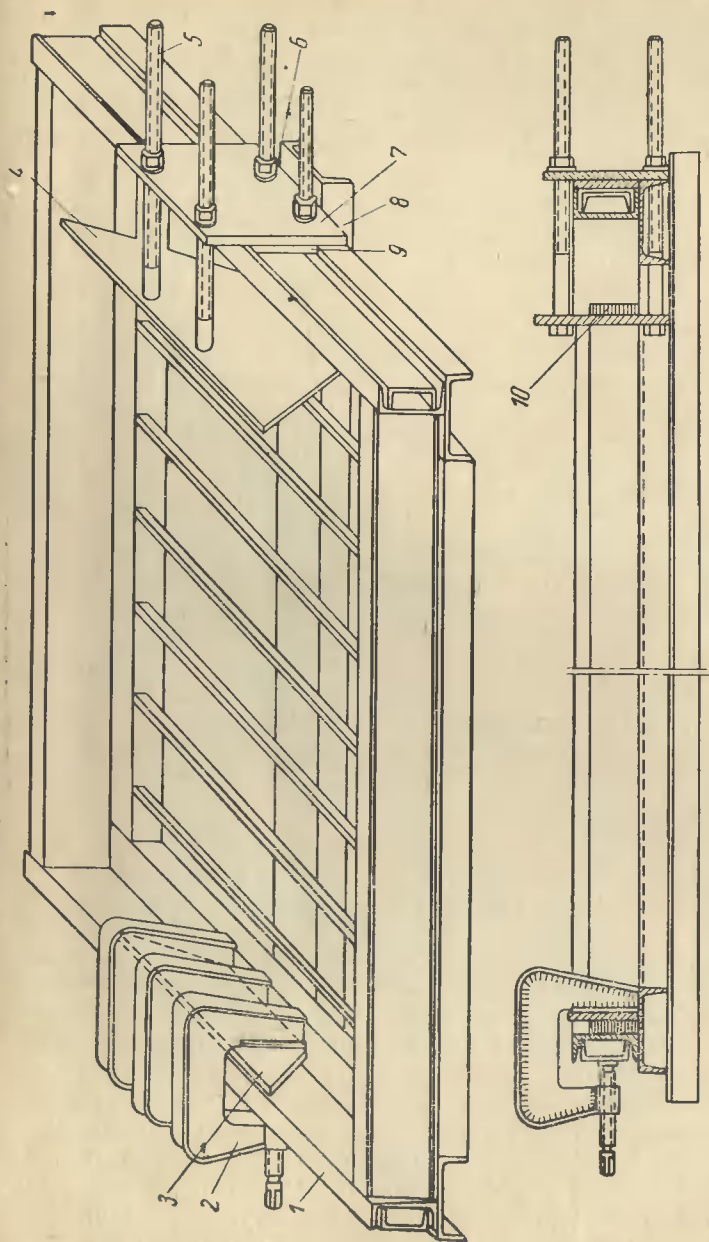


Рис. 14. Стол для рихтовки и вытяжки катушек.

1 — рихтовочный стол; 2 — струбина; 3, 4 — шаблоны для лобовых частей катушек; 5 — шпильки; 6 — гайки; 7 — плита упора; 8 — швеллер; 9 — прокладка; 10 — катушка.

1 — скоба сварная; 2 — винт *Тран* 36×6 мм; 3 — подпятник; 4 — гайка круглая *Тран* 36×6 мм.

После окончания рихтовки одной пазовой и одной лобовой частей освобождают винты и струбцины. Катушку перемещают по диагонали в другой угол рихтовочного стола и рихтуют другие две стороны катушки.

Не освобождая струбцин после рихтовки всей катушки, проверяют размеры витков в свету по длине и ширине. Ширину витков катушки замеряют как со стороны турбины, так и со стороны возбuditеля.

Освободив винты рихтовочного стола и струбцин, на катушку одевают П-образные скобы, витки связывают в четырех-шести местах по длине шпагатом. К пазовым частям привязывают доски и катушку передают на другой стол для исправления длины сократившихся витков или изменения их ширины (при необходимости).

## 9. РАСЧЕТ ШИРИНЫ ВИТКОВ КАТУШЕК

Большинство конструкций двухполюсных роторов турбогенераторов выполнено с радиально расположенными пазами. В пазы ротора укладывается обмотка возбуждения, состоящая из отдельных катушек, соединенных последовательно.

Расстояние между внутренними гранями неизолированных проводников катушки  $B_1, B_2, \dots, B_N$ , лежащих в двух пазах и образующих виток, называется шириной витка в свету<sup>1</sup>. Ширина витков в любой катушке не одинакова и меняется в зависимости от их положения в пазу (рис. 16).

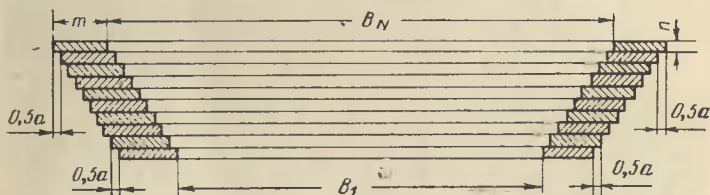


Рис. 16. Роторная катушка в поперечном разрезе.

$B_1$  — ширина нижнего витка в свету;  $B_N$  — ширина верхнего витка в свету;  $a$  — шаг уширения витков;  $m$  — ширина меди витков катушек;  $n$  — высота меди витков катушек.

При перемотке ротора часто требуется изменить фирменное заполнение паза или конфигурацию фирменных бандажей. В этих случаях необходимо производить расчет и изменение ширины витков.

<sup>1</sup> Слова «ширина витков в свету» дальше по тексту заменяются словами «ширина витков».



Для расчета ширины витков необходимо определить, мм:

размеры вылетов катушек  $l_1, l_2, \dots, l_n$  от бочки ротора (рис. 17);

радиусы закруглений углов катушек  $r$ ;

ширину меди  $m$ ;

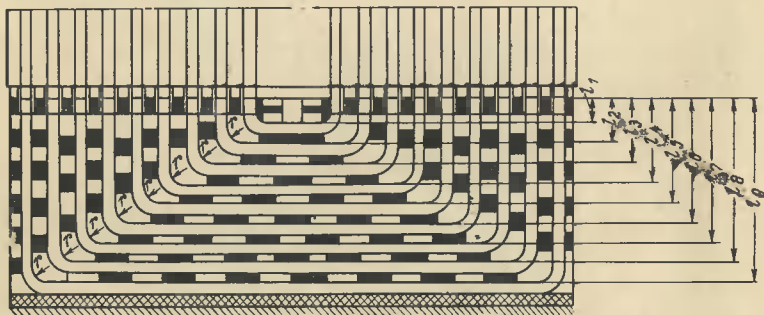


Рис. 17. Развертка лобовых частей ротора.

$l_1-l_9$  — вылеты катушек от торца бочки ротора;  $r$  — радиус закругления внутренних углов катушек.

высоту меди  $n$ ;

внутренние диаметры бандажных колец  $D_6$ ;

одностороннюю толщину подбандажной изоляции  $h$ ;

толщину витковой изоляции  $\delta$ ;

количество витков в катушке  $N$ .

Для любой катушки ротора рассчитывается ширина только верхнего и нижнего витков. Ширину остальных витков можно найти суммированием шага уширения. Расчет ширины витков необходимо производить на стороне катушки, противоположной межкатушечным соединениям.

Расчет ширины витков начинается с определения диаметра расположения верхнего витка  $D_N$  данной катушки на расстоянии  $(l' - r)$  от торца бочки ротора

$$D'_N = D'_6 - h - n, \text{ мм},$$

где  $D'_N$  — диаметр средней линии верхних витков на расстоянии  $l' - r$  от торца бочки, мм;

$D'_6$  — внутренний диаметр бандажного кольца на расстоянии  $(l' - r)$  от торца бочки, мм;

$h$  — односторонняя толщина подбандажной изоляции, мм;

$l'$  — вылет лобовой части данной катушки от торца бочки до внутренних граней витков, мм;

$r$  — внутренний радиус закругления катушки, мм.

Диаметр, на котором расположен нижний виток данной катушки на расстоянии  $(l' - r)$  от торца бочки, определится:

$$D'_1 = D'_N - 2[(n + \delta)(N - 1)], \text{ мм.}$$

Ширина верхнего витка  $B'_N$  на расстоянии  $(l' - r)$  от торца бочки равна:

$$B'_N = \frac{\pi D'_N z_0}{z_p} - m, \text{ мм.}$$

Ширина нижнего витка  $B'_1$  на расстоянии  $(l' - r)$  от торца бочки равна:

$$B'_1 = \frac{\pi D'_1 z_0}{z_p} - m, \text{ мм,}$$

где  $z_0$  — число пазовых делений, охватываемое данной катушкой;

$z_p$  — полное число пазовых делений ротора, включая большие зубцы;

$m$  — ширина меди катушки, мм.

Для остальных витков данной катушки шаг уширения определяется по формуле:

$$a = \frac{B_N - B_1}{N - 1}, \text{ мм.}$$

Ширина остальных витков данной катушки равна, мм:

для второго витка  $B_2 = B'_1 + a$ ;

для третьего  $B_3 = B'_1 + 2a$  или  $B_3 = B_2 + a$ ;

для четвертого  $B_4 = B'_1 + 3a$  или  $B_4 = B_3 + a$  и т. д.

Ширину витков катушки на стороне межкатушечных соединений замеряют между внутренними гранями первого и второго, второго и третьего, третьего и четвертого и т. д. витков. Поэтому ширина первого — второго витка равна:

$$B_{1-2} = B'_1 + 0,5 a, \text{ мм.}$$

Ширина остальных витков данной катушки равна:

$$B_{2-3} = B_{1-2} + 1,5 a \text{ или } B_{2-3} = B_{1-2} + a, \text{ мм;}$$

$$B_{3-4} = B_{1-2} + 2,5 a \text{ или } B_{3-4} = B_{2-3} + a, \text{ мм}$$

и т. д.



Таблица 4

№ катушки	Длина катушки, мм	Ширина витков, мм											Шаг уширения $a$ , мм
		$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	...	$B_N$	$B_{1-2}$	$B_{2-3}$	$B_{3-4}$	$B_{4-5}$	...	
I													
II													
III													
IV													
V													
VI													
VII													
VIII													
IX													
X													

Рассчитал

Проверил

Рассчитал

Проверил

## 10. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК

$B = L_K - 2r$  ( $L_K$  — длина катушки в свету); 1 — рама; 2 — неподвижная плита; 3 — болт специальный; 4 — оправка; 5 — подвижная плита; 6 — шпальные выкладки.

33

катушек с помощью приспособления (см. рис. 14), установленного на рихтовочном столе.

Первый способ изменения размеров катушек требует большого количества роторной меди и серебряного припоя. Способ трудоемок и требует большой точности и высокой квалификации исполнителей. Такой способ можно применять для восстановления размеров одного-двух витков в катушке; при большем количестве необходимо изготавливать специальные приспособления.

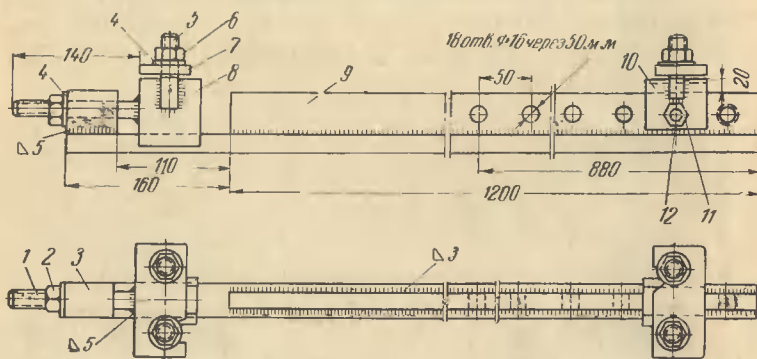


Рис. 19. Приспособление для вытяжки отдельных витков катушек.

1 — шпилька Трап 16×4 мм; 2 — гайка Трап 16×4 мм; 3 — бобышка; 4 — шайба 16; 5 — шпилька М16; 6 — гайка М16; 7 — накладка; 8 — ползун; 9 — основание; 10 — стойка; 11 — гайка М14; 12 — болт М14.

Перегибание углов катушек позволяет восстановить размеры витков без их резки и пайки. Перегибание углов витков производится в горячем состоянии при температуре 700—750° С. Способ требует большей точности при установке и подгонке приспособления.

Для восстановления длины сократившихся витков путем горячей вытяжки меди изготавливают два — четыре комплекта приспособлений (рис. 19).

Для вытяжки меди приспособление устанавливают на изолировочный стол, а катушку развешивают на штырях изолировочных стоек. В канавки ползуна и стойки закладывают участок витка катушки и зажимают гайками и накладками. Вытяжка меди производится участками 800—1000 мм в несколько приемов в зависимости от длины катушки. Участок меди, ограниченный ползуном и стойкой, прогревается пламенем автогенной горелки до температуры 700—750° С (светло-вишневый

цвет меди) и с помощью винта и гайки производится вытяжка меди.

Величина вытяжки не должна превышать 0,8—1,0% длины защемленного участка. Длина вытяжки контролируется штангенциркулем относительно упора и ползуна. Затем медь охлаждается холодной водой до полного остывания и приспособление перемещается на другой участок витка.

Для вытяжки витков целой катушки на рихтовочном столе устанавливают вытяжное силовое устройство или реечный домкрат с упорами. Отриходованную катушку оставляют на рихтовочном столе. Одну из лобовых частей катушки поджимают струбцинами к поперечной стенке рихтовочного стола. За противоположную лобовую часть заводят захват и с помощью винтов катушку натягивают в холодном состоянии.

После подготовки прямолинейные участки катушки прогревают пламенем керосиновых форсунок до светло-вишневого цвета, и с помощью винтов или реечного домкрата витки катушки вытягивают до чертежных размеров. Медь поливают холодной водой и охлаждают до температуры окружающей среды. Вытяжка витков целой катушки — наиболее производительный способ восстановления длины сократившихся витков.

В процессе перемотки и реконструкции роторов, когда производится изменение конфигурации бандажных колец или меняется заполнение паза ротора, требуется изменить ширину витков катушек в свету (см. § 9). Если требуется увеличить ширину витка, то такая операция выполняется тем же способом и тем же приспособлением, которые описаны выше.

Этим приспособлением можно также уменьшить длину или ширину витка. При этом выполняются те же операции, что и при вытяжке, но только с обратным движением ползуна и осаживанием меди текстолитовой киянкой. Сокращение длины витка происходит за счет усадки меди. При вытяжке витков ширина меди изменяется только на 0,12—0,15 мм, а толщина — на 0,02—0,03 мм.

Способом горячей вытяжки катушек были восстановлены размеры катушек ротора турбогенератора ТВВ-100-2, схема деформации которых приведена на рис. 13.

## 11. КАЛИБРОВКА МЕДИ КАТУШЕК РОТОРОВ

Основной причиной появления витковых замыканий в обмотке ротора является разрушение витковой изоляции острыми кромками, местными утолщениями, забоинами и заусенцами меди. Поэтому калибровка меди является одной из важных операций, обеспечивающих долговечность и безаварийность эксплуатации ротора. Особое

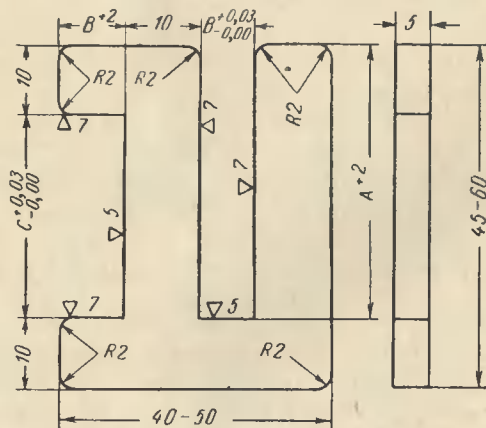


Рис. 20. Комбинированный калибр для проверки размеров меди.

$A = C + 10$ ;  $B$  — толщина меди;  $C$  — ширина меди.

внимание при калибровке меди должно уделяться обмоткам роторов с форсированным охлаждением.

После рихтовки меди и устранения деформации витков катушки доставляют на участок калибровки. Для этого витки катушки аккуратно развешивают на штырях изолировочных стоек и производят калибровку меди пневматическими шлифмашинками. Шлифовальные круги должны быть диаметром 100—150 мм на каучуковой (резиновой) основе. На изолировочные столы вдоль катушек кладут и крепят гвоздями две доски. Виток снимают со штырей и укладывают на доску. Шлифмашинкой снимают местные утолщения, заусенцы и забоины на меди. Толщину и ширину меди витка непрерывно контролируют комбинированным калибром (рис. 20.)

Выборочно размеры меди проверяют микрометром в четырех-пяти местах по длине пазовых частей витков. Если же устранение деформации витков катушек произ-

водилось методом горячей вытяжки, то сечение меди дополнительно контролируют микрометром в 10—15 местах по длине витка.

При калибровке меди добиваются не только требуемых размеров, но при надобности исправляют форму ее сечения (рис. 21). Только при строго параллельных плоскостях и плавно закругленных углах форма шинки будет правильной.

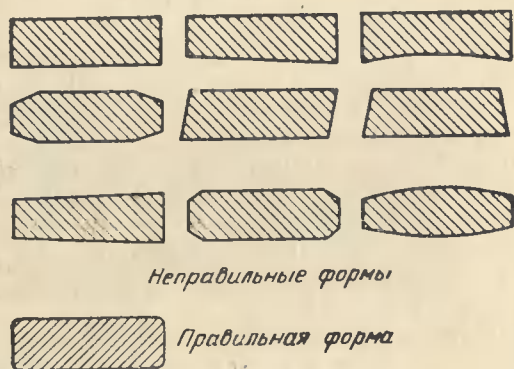


Рис. 21. Формы сечения меди.

Опиловку углов и радиусов закруглений производят личными напильниками. Следы от напильника зачищают сначала крупной, а затем мелкой наждачной или стеклянной шлифшкуркой на полотне.

Откалиброванные витки собирают в П-образные скобы и связывают катушку в пяти-шести местах. К пазовым частям катушки привязывают сосновые доски. Катушку наматывают в оберточную бумагу и переносят к ротору для изолировки и укладки витков в пазы.

## 12. ПОДГОТОВКА РОТОРА К УКЛАДКЕ ОБМОТКИ

Подготовка ротора к укладке обмотки начинается сразу после выемки катушек из пазов. Пазы ротора очищают от остатков старой изоляции, проверяют состояние посадочных мест на валу, бочке ротора, бандажных и центрирующих кольцах и ступицах осевых вен-

тиляторов. Посадочные места зачищают шлифшкуркой до металлического блеска.

Подгары, забоины и видимые трещины на посадочных местах удаляют опиловкой и выборкой металла абразивными кругами с последующей шлифовкой и полировкой поврежденных мест. Для выявления невидимых трещин на зубах бочки ротора, бандажных и центрирующих кольцах применяют цветную дефектоскопию.

Очищенные посадочные места замеряют микрометрическими скобами или микрометрическими нутромерами (штихмасами). Данные замеров записывают в паспорт посадочных диаметров и ремонтный журнал, сравнивают с заводскими чертежами сопрягаемых деталей и определяют величину натягов.

При недостаточности натягов выбирают способ восстановления натяга или прибегают к замене деталей. Как правило, в настоящее время двухпосадочные бандажные кольца сажают на бочку ротора через промежуточный изоляционный слой, для чего необходима проточка носиков бандажных колец.

После проточки бандажей повторно проверяют отсутствие трещин, а затем всю внутреннюю поверхность колец покрывают антикоррозийным лаком КО-88.

На валу и бочке ротора проверяют все резьбовые стверстия, неисправные резьбы исправляют метчиком. При сильно разрушенной или сорванной резьбе рассверливают резьбовое отверстие и нарезают новую резьбу большего диаметра.

В соответствии с проектом перемотки ротора производят механическую дообработку ротора (сверление, фрезерование или проточка вентиляционных каналов, нарезка дополнительных резьбовых отверстий или проточка поврежденных посадочных мест).

После механической обработки опиливают заусенцы в пазах и острые кромки в канавках, удаляют стружку, старый лак и ржавчину. Ротор продувают сухим сжатым воздухом. Пазы, участки вала под лобовыми частями и торцы бочки ротора зачищают шлифшкуркой до металлического блеска. На очищенном роторе замеряют диаметры вала под лобовыми частями катушек и уточняют чертеж на изготовление опалубки. Обмеряют пазы по ширине, глубине и радиусам закруглений у дна паза. Замеры производят в трех местах: по концам



и в середине длины паза. На каждом полюсе обмеряют не менее трех пазов. Ширину и глубину уширений под концевые манжеты замеряют по каждому пазу с обеих сторон ротора. Данные замеров записывают в ремонтный журнал и ими руководствуются при расчете заполнения паза, при изготовлении и установке гильз и манжет.

Вал под лобовыми частями и торцы бочки ротора покрывают эмалью № ГФ-92ХС или ГФ-92ХК. Затем испытывают электрическую прочность изоляции контактных колец и токоподводов. При пробое изоляции контактных колец, собранных на общей втулке, производят переизолировку втулки или замену контактных колец новым комплектом.

После испытания электрической прочности изоляции контактных колец и токоподводов ротор с водородным охлаждением проверяют на газоплотность. Величина утечек газа не должна превышать  $2 \text{ мм рт. ст./ч}$ . Полной газоплотности надо добиваться в торцевых гайках центрального отверстия вала и на токоведущих болтах контактных колец. После проверки ротора на газоплотность гибкие токоподводы контактных колец подсоединяют к токоведущим болтам, производят полную сборку контактных колец и токоподводов и фиксируют крепежные болты от самоотвинчивания.

Под лобовые части обмотки ротора устанавливают опалубку. Из сухого дуба или бука изготовляют и подгоняют по зубцам временные междугильзовые клинья. Подготавливают также встречные деревянные клинья, керн для испытания гильз, осадочные доски и домкраты для подпрессовки витков при укладке катушек в пазы.

### 13. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И УСТАНОВКА ОПАЛУБКИ НА ВАЛ РОТОРА

Для опрессовки изоляции лобовых частей катушек ротора на вал устанавливают опалубку — вымостку из дерева твердых пород или дельта-древесины. От точности размеров опалубки, тщательности ее изготовления и подгонки к валу зависят качество корпусной изоляции ротора, форма и размеры лобовых частей обмотки. Дельта-древесина для изготовления опалубки применяется при перемотке нескольких однотипных роторов или если высота опалубки свыше 60 мм.



В первом случае опалубка может быть использована несколько раз, а во втором случае уменьшаются припуски на высыхание и смятие опалубки. Для изготовления опалубки делают заготовки клепок из расчета 48 или 36 шт. на одну сторону (количество клепок может быть больше 48 шт.). При этом заготовка опалубки разрезается наискось, как указано на рис. 22.

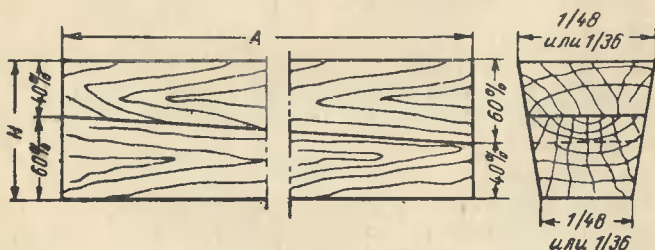


Рис. 22. Заготовка клепок опалубки.

Высота заготовок опалубки  $H$  определяется по формуле

$$H = \frac{(D_{\text{п}} + 20) - (D_{\text{в.ц}} - 20)}{2}, \text{ мм},$$

где  $D_{\text{п}}$  — диаметр расположения дна пазов ротора, мм;  
 $D_{\text{в.ц}}$  — диаметр вала ротора у центрирующего кольца, мм.

Ширина заготовки опалубки по большому размеру (при 48 или 36 клепках) равна:

$$\frac{\pi (D_{\text{п}} + 20)}{48} \text{ или } \frac{\pi (D_{\text{п}} + 20)}{36}, \text{ мм}.$$

Ширина клепок заготовки опалубки по меньшему размеру соответственно равна:

$$\frac{\pi (D_{\text{в.ц}} - 20)}{48} \text{ или } \frac{\pi (D_{\text{в.ц}} - 20)}{36}, \text{ мм}.$$

Длина клепок заготовки  $A$  равна расстоянию между торцом бочки ротора и центрирующим кольцом плюс 100 мм.

Для проточки опалубки изготавливают приспособления (рис. 23).

Из отдельных пар заготовленных клепок набирают «бочки» на оправки и зажимают хомутами. Приспособление зажимают в кулачки токарного станка и протачивают опалубку в соответствии с чертежом. При проточке наружной поверхности опалубки заднюю оправку с помощью поперечной планки подпирают конусом, установленным в бабку станка (рис. 24). Затем снимают

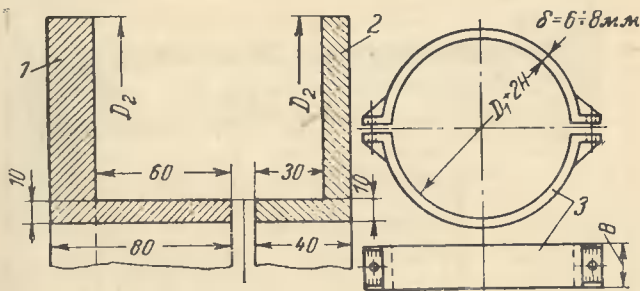


Рис. 23. Приспособление для проточки опалубки.

1 — передняя оправка; 2 — задняя оправка; 3 — хомуты стяжные;  $D_1 = D_{в.ц} - 20$ ;  $D_2 = D_{п} + 30$ ;  $B = 60$  мм, 1 шт.;  $B = 30$  мм, 1 шт.

упорную планку и протачивают внутренний размер опалубки. Хомут слегка отпускают и перемещают на проточенную часть опалубки (показан пунктирными линиями), затем затягивают хомут, снимают оправку и протачивают торец опалубки.

Проточенную опалубку вместе с приспособлением снимают со станка, разбирают и дообрабатывают концы клепок (рис. 25). Часть клепок, которые укладывают в вентиляционные окна вала ротора, не подрезают по длине. В верхней клепке делают вырез, а в нижней — сверление для облегчения выемки опалубки после опрессовки лобовых частей катушек. После проточки опалубки каждую пару клепок на разъемах нумеруют порядковыми номерами. Аналогично первому комплекту опалубки обрабатывают и второй. Готовую опалубку устанавливают на вал ротора, предварительно проверяют прилегание каждой клепки по валу. При наличии зазоров между валом и клепкой производят подгонку клепок по валу.

Клепки устанавливают с помощью резинового жгута или металлических хомутов. Опалубку стягивают хомута-

ми до плотного прилегания клепок к валу. Крепление клепок на валу выполняют широкой киперной или стеклянной лентой, намотанной вразбежку, после чего хомуты снимаются.

На опалубку из дерева накладывают два-три слоя формовочного миканита толщиной 0,3—0,4 мм и стяги-

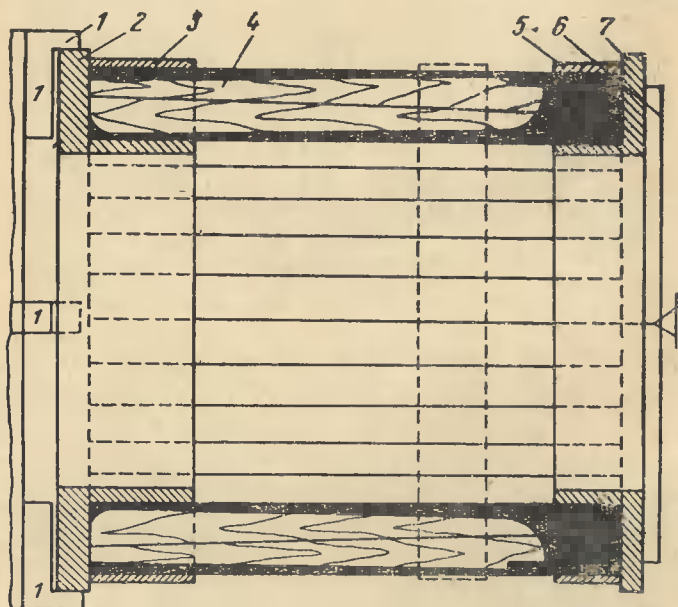


Рис. 24. Проточка опалубки.

1 — кулачки планшайбы токарного станка; 2 — передняя оправка; 3 — хомут широкий; 4 — опалубка; 5 — хомут узкий; 6 — планка для подпора; 7 — задняя оправка.

вают стеклолентой вразбежку. На миканит накладывают два-три слоя триацетатной пленки, на выточку под манжетами укладывают набор («колбаску») из полос стеклотекстолита, стянутых асбестовой лентой впритык.

В концевые уширения паза устанавливают и подгоняют манжеты, которые должны быть заподлицо с дном и стенками паза и упираться в буртик выточки А на опалубке. После подгонки манжет по пазам под них, в выточку А, укладывают полосы миканита толщиной до 0,5—1,0 мм.

При изготовлении опалубки из дерева коэффициент смятия и усушки принимается равным 6—8%, а из дельта-древесины — 2%. На опалубку из дельта-древесины накладывают только два-три слоя триацетатной пленки, утянутой стеклолентой вразбежку.

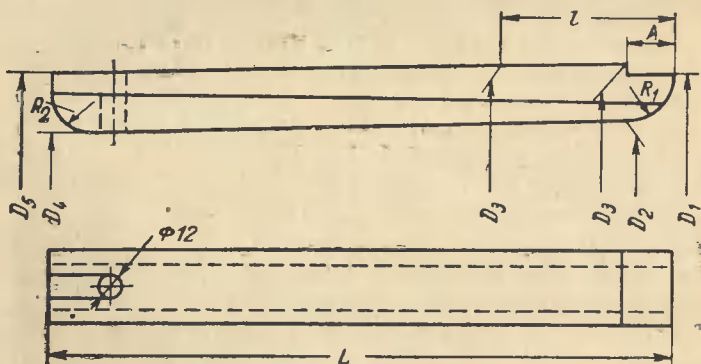


Рис. 25. Выбор размеров опалубки.

$D_1$  — диаметр расположения дна уширения паза под концевую манжету плюс 1,0—1,5 мм;  $D_2$  — диаметр вала у бочки ротора в точке перехода на радиус  $R_1$ ;  $D_3$  — диаметр расположения нижней плоскости первых витков малых катушек плюс 2—2,5 мм;  $D_4$  — диаметр вала у центрирующего кольца в точке перехода на радиус  $R_2$ ;  $D_5$  — диаметр расположения нижней плоскости первых витков больших катушек минус 2—3 мм;  $l$  — вылет малой катушки в свету плюс ширина меди;  $L$  — расстояние от торца бочки до центрирующего кольца;  $R_1$  — радиус закругления вала у бочки ротора;  $R_2$  — радиус закругления вала у центрирующего кольца;  $A$  — вылет гильзы из бочки ротора плюс 2 мм. **Примечание.** При отсутствии  $R_2$  концы нижних клепок следует срезать под углом 45°.

#### 14. ИЗОЛИРОВКА ВИТКОВ КАТУШЕК РОТОРА

При перемотке роторов турбогенераторов с поверхностным охлаждением витковую изоляцию на стеклянной основе можно выполнять различными способами. Витки катушек можно изолировать стеклолентой, пропитанной эпоксидно-резольным лаком, либо прокладками стеклотекстолита, либо комбинированным способом, при котором лобовые части катушек изолируются пропитанной стеклолентой в два слоя через виток, а пазовые — прокладками стеклотекстолита.

Пропитанная стеклолента применяется в качестве витковой изоляции для роторов мощностью до 6 Мвт. Комбинированный способ изолировки витков применяется для роторов мощностью до 25 Мвт 3 000 об/мин. Витковую изоляцию более мощных роторов выполняют только

прокладками стеклотекстолита толщиной 0,4—0,5 мм.

Для изолировки катушек пропитанной стеклолентой готовят изолировочные столы со стойками и штырями, электровоздуховки, банки для лака и растворителя, кисти малярные и материалы: лак эпоксидно-резольный марки ЭР1-30; растворитель из спирта и толуола в отношении 1 : 1; спирт гидролизный; паста «Биологические перчатки» или защитная паста на основе натриевой соли; стеклолента 0,1×20 мм и 0,1×25 мм, пропитанная лаком ЭР1-30; кабельная бумага марки К-170; триацетатная пленка толщиной 0,04—0,08 мм; толуол; электрокартон марки ЭВ толщиной 0,3—0,5 мм; салфетки технические; бязь хлопчатобумажная.

На ремонтной площадке устанавливают изолировочные столы со стойками и штырями. Столы покрывают электрокартоном и триацетатной пленкой.

Катушку № 1 (малую) доставляют на изолировочный участок и укладывают на столы верхним витком вверх. Из электрокартона и триацетатной пленки сворачивают и склеивают трубки, которые одевают на штыри. Катушку освобождают от упаковочного материала, развязывают и верхний виток развешивают на штырях изолировочных стоек. Изолировочные столы должны расставляться так, чтобы расстояние между соседними стойками не превышало 1 000 мм.

Изолировщики смазывают руки защитной пастой и готовят материалы для изолировки витков. Приготавливают растворитель из спирта и толуола в отношении 1:1, вскрывают банку с пропитанной стеклолентой и вынимают два-три кружка стеклоленты.

Виток, лежащий на штырях, тщательно осматривают, проверяют на отсутствие заусенцев, забоин и трещин и протирают салфеткой, смоченной в растворителе. На виток накладывают два слоя стеклоленты вполнахлеста, витки изолируют через один. Наложение изоляции на витки начинают со середины лобовой части на стороне катушки, противоположной междукатушечным соединениям. В этом случае половина верхнего витка от междукатушечной перемычки и до середины дугового участка лобовой части остается неизолированной. Наложение второго слоя изоляции начинают, отступая от первого слоя на 65—70 мм в сторону неизолированной части. Наложение изоляции на виток производят по всему его периметру до перехода на второй виток. При переходе

на второй виток накладывают не два, а один слой стеклоленты вполнахлеста, чтобы на стыке верхней и нижней части полувитка было по одному слою изоляции.

При нечетном числе витков в катушке изолированными должны быть все нечетные витки. При четном количестве витков два верхних витка в лобовой части изолируются подряд.

Заизолированный виток перемешивают выше на штырях, а на его место помещают второй виток, который также осматривают и проверяют, протирают растворителем и смазывают лаком со всех сторон.

Третий и последующие нечетные витки изолируют аналогично первому. Четвертый и последующие четные витки протирают растворителем и смазывают лаком. Над катушкой делают полог из бязи. Изоляцию катушки подсушивают в потоке горячего воздуха до прекращения отлипа. Горячий воздух подают от электровоздуховок ( $t = 80 \div 90^\circ \text{C}$ ).

После сушки изоляции витки снимают со штырей и укладывают в скобы (рис. 8). Катушку связывают в нескольких местах шпагатом или киперной лентой. К пазовым частям катушки привязывают по одной доске толщиной 20 мм, длиной и шириной, равной длине и высоте катушки.

Готовую катушку заворачивают в бумагу и доставляют к ротору для укладки в пазы. Остальные катушки изолируют аналогично первой.

Достоинствами витковой изоляции из пропитанной стеклоленты являются: возможность приготовления ее непосредственно перед употреблением, монолитность катушек после опрессовки и запечки изоляции, плотное, без воздушных зазоров, заполнение паза, дешевизна, достаточная механическая и электрическая прочность в запеченном состоянии.

К недостаткам витковой изоляции из пропитанной стеклоленты относятся: малая механическая прочность изоляции в сыром виде, ухудшение теплоотдачи с лобовых частей заизолированных витков через слой изоляции, повышение трудозатрат на подготовку катушек к укладке в пазы.

*Комбинированный способ* изолировки витков катушек позволяет добиться надежной витковой изоляции в лобовых частях обмотки ротора. Исключается возможность появления витковых замыканий из-за смещения



прокладок при опрессовке обмотки ротора и ускоряется процесс укладки витков в пазы.

Для изолировки лобовых частей катушки пропитанной стеклолентой необходимы те же приспособления и материалы, которые перечислены выше.

На боковые грани витков с внешней стороны наносят риски, обозначающие границы пазовых и лобовых частей катушек. Витки развешивают на штырях изолировочных стоек, проверяют и изолируют стеклолентой в лобовых частях. Первый слой стеклоленты накладывают вполнахлеста от риски до риски. Вторым слоем накладывают на первый с заходом в пазы на 50 мм.

Изолировка лобовых частей пропитанной стеклолентой производится в два слоя вполнахлеста через виток, со стороны катушки, противоположной межкатушечным соединениям. На стороне межкатушечных переходов изолируют по одному углу витка, при этом перекрытие стыков производят в один слой на середине лобовой части. Длина переходов равна 65—70 мм.

После наложения изоляции на лобовые части витков катушку сушат на воздухе. Для этой цели над катушкой натягивают тент из брезента или полог из бязи. На изолировочных столах устанавливают воздуходувки. Сушка изоляции продолжается 8—10 ч. Время сушки определяют по прекращению отлипа. Готовую катушку складывают и переносят к ротору для укладки в пазы.

## 15. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТОВЫХ ГИЛЬЗ

Корпусная изоляция роторных катушек выполняется П-образными коробками — гильзами. Изготавливаются гильзы из стеклоткани, пропитанной эпоксидно-резольными лаками. Для изготовления гильз необходимо оборудование и помещение, отвечающие всем санитарно-техническим требованиям. При оборудовании помещения руководствуются «Санитарными правилами при работе с эпоксидными смолами», утвержденными приказом Министерства строительства электростанций от 14 ноября 1961 г. № 231.

На участке изготовления гильз монтируется распределительный щиток для подключения силового электрооборудования и освещения и устанавливается следующее оборудование:



сушильно-пропиточная машина для пропитки стеклоткани (рис. 26 и 27);

прессформы для изготовления гильз и витковой изоляции (рис. 28);

стол для раскроя материалов, сборки заготовок гильз и пакетов для витковой изоляции;

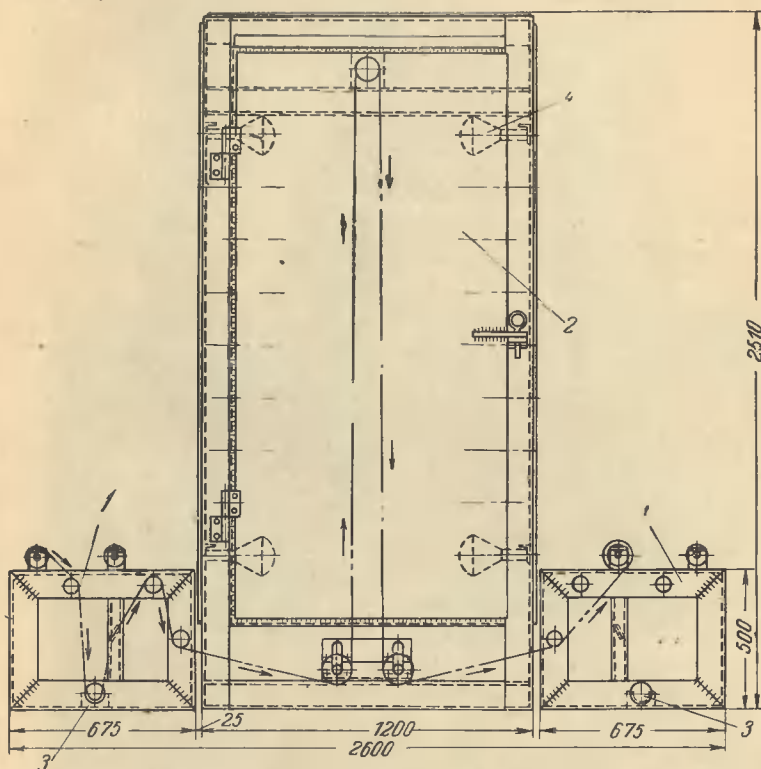


Рис. 26. Схема сушильно-пропиточной машины.

1 — пропиточные камеры; 2 — сушильная камера; 3 — ванна с лаком; 4 — лампы зеркальные ЗС-1 или ЗС-2 500 вт.

трансформаторы для нагрева прессформ типа ТСД-2000;

стенд для испытания электрической прочности изоляции гильз;

стеллажи для хранения гильз;

приспособление для обрезки гильз;

приспособление для разрезки стеклотекстолитовой витковой изоляции;

щиток с контрольно-измерительной аппаратурой;

вентиляторы для вентиляции помещения и отдельных агрегатов (сушильной машины и пресс-форм).

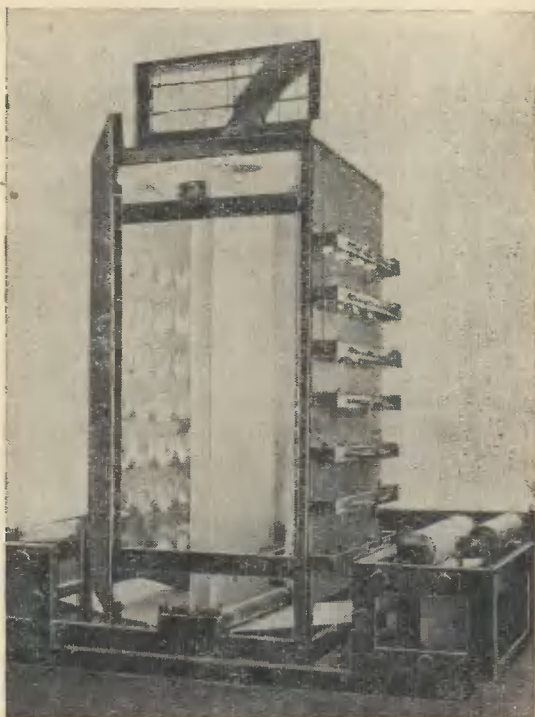


Рис. 27. Общий вид сушильно-пропиточной машины.

Для изготовления стеклотекстолитовых гильз и витковой изоляции наиболее пригодна бесщелочная стеклоткань марки Э ГОСТ 8481-61 толщиной 0,10—0,12 мм с шириной рулона 700 мм. Для того чтобы получить нить, стеклянные волокна шлихтуют (замасливают). При транспортировке и хранении стеклоткань увлажняется. Для повышения качества пропитки стеклоткань в лаках ее сушат при температуре 200°С в сушильно-

пропиточной машине и затем пропитывают в эпоксидно-резольном лаке ЭР1-30.

Этот лак готовят из следующих компонентов [Л. 3]:

Компоненты	ТУ или ГОСТ	Количество весовых частей
Эпоксидная смола ЭД-6 . . . . .	СТУ-30-14026-63	34,6
Спирто-толуольная смесь (1:1):		35,0
спирт этиловый технический . . . . .	ГОСТ 8314-57	
толуол . . . . .	ГОСТ 1930-50	
Лак бакелитовый марки А 50%- ной концентрации (резол) . . . . .	ГОСТ 901-56	30
Дициандиамид . . . . .	ГОСТ 6988-54	0,4

Лак готовят следующим образом. Разогревают эпоксидную смолу на плите с паровым подогревом до

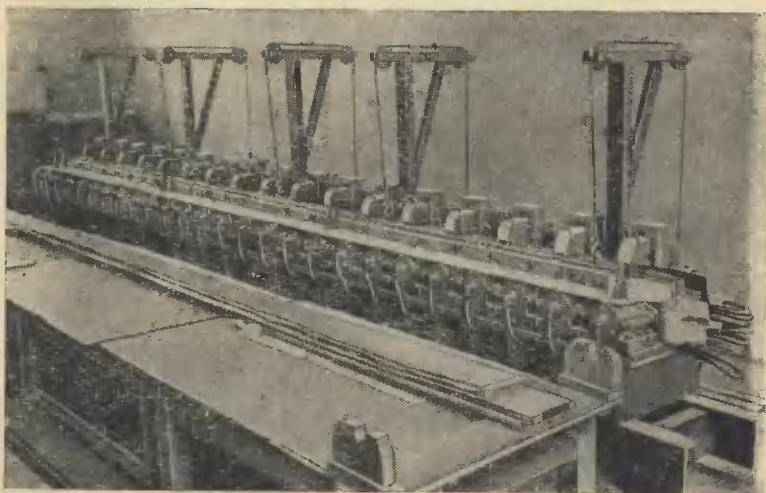


Рис. 28. Прессформа для изготовления роторных гильз и витковой изоляции.

температуры 70°С. Отвешивают необходимое количество жидкой смолы и в нее вливают растворитель из спирта и толуола в весовом отношении 1:1. В смесь смолы и растворителя добавляют дициандиамид, тщательно перемешивают все компоненты, а затем доливают бакелитовый лак и все перемешивают до однородного раство-

ра. Приготовленную партию лака предпочтительно разлить в стеклянные сосуды с притертыми пробками емкостью 2 л.

В процессе пропитки стеклоткани лак густеет. Для поддержания необходимой вязкости в лак добавляют растворитель из спирта и толуола. Вязкость лака контролируют вискозиметром ВЗ-4 по ГОСТ 8420-57, она должна быть не более 20 сек при температуре 20°С.

Содержание нелетучих проверяют по ГОСТ 6939-54 скорость полимеризации по ГОСТ 907-56. Скорость полимеризации проверяют следующим образом. Отвешивают 2 г лака с точностью  $\pm 0,1$  г и выливают на горячую плиту при температуре 160°С; одновременно включают секундомер и пробуют лак на липкость; по прекращении липкости останавливают секундомер и записывают время полимеризации. Время полимеризации эпоксидно-резольного лака должно быть около 100—150 сек [Л. 3].

Пропитка стеклоткани. Просушенная и плотно намотанная на оправку стеклоткань пропитывается в пропиточной машине. Перед запуском пропиточной машины от рулона отрезают один образец стеклоткани размером 100×100 мм. Машину прогревают до температуры 85—90°С. В ванну пропиточной машины заливают лак ЭР1-30 и включают электропривод установки.

В вертикальной пропиточной машине с ламповым обогревом стеклоткань сушится инфракрасным излучением и проходит перед лампами двойной путь вверх и вниз. Одновременно с включением электропривода включается отсос паров растворителя из камеры пропиточной машины. Скорость движения стеклоткани выбирается, исходя из температуры в камере сушки и наличия летучего остатка в пропитанной и высушенной стеклоткани.

Для определения количества лака в пропитанной стеклоткани берут непропитанный образец стеклоткани размером 100×100 мм и пропитанный и высушенный образец такого же размера. Оба образца помещают в термостат и сушат в течение 10 мин при температуре 160°С. Образцы вынимают из термостата и взвешивают каждый отдельно. По разности весов сухой пропитанной стеклоткани и непропитанной определяют содержание смолы: ее должно быть 30—36% [Л. 4].

Стеклоткань не должна иметь натеков лака и непропитанных (белесых) участков. Пропитанную и просу-

шенную стеклоткань сматывают в плотный рулон на деревянную оправку. В рулоне стеклоткань не должна слипаться.

Для изготовления гильз рулон пропитанной стеклоткани устанавливают на токарный станок и разрезают пополам до деревянной оправки. С рулона отматывают полосу стеклоткани и режут на заготовки длиной, равной длине гильзы плюс 50 мм. Нарезают заготовки из триацетатной пленки, пропиточной и кабельной бумаги по размерам заготовок стеклоткани.

По концам раскройного стола устанавливают пружинные или винтовые зажимы для дубовой оправки в виде гладкой доски. Оправку устанавливают в зажимы. На оправку укладывают один слой кабельной бумаги или тонкого электрокартона, который облегает оправку, и разглаживают по бокам сверху вниз. На бумагу (электрокартон) накладывают один-два слоя триацетатной пленки блестящей стороной наружу.

На триацетатную пленку кладут три-четыре слоя пропитанной стеклоткани, затем один слой пропиточной бумаги. Чередование слоев стеклоткани и слоя бумаги производят до набора полной толщины пакета. Поверх набранного пакета накладывают один слой триацетатной пленки блестящей стороной к стеклоткани и три-четыре слоя кабельной бумаги или тонкого электрокартона. Набранный пакет тщательно разглаживают и перевязывают в четырех—шести местах миткалевой или стеклянной лентой. Оправку с пакетом заготовок переносят к прессформе. Заготовку развязывают и кладут на матрицу в разогнутом состоянии. На заготовку опускают керн (пуансон), края заготовки загибают вокруг керна и вместе с керном опускают в прессформу. При этом керн с заготовкой гильзы не должен доходить до дна прессформы на 25—30 мм. После этого подают боковое давление на керн, который зажимается в прессформе в зависшем состоянии.

Так как стальной керн имеет противовес, подвешенный на стальных тросах, то боковое давление дают минимальное, для того чтобы заготовка не опустилась на дно прессформы. Прессформу нагревают до температуры 75—80°С и затем на керн подают полное вертикальное давление. Опускаясь на дно прессформы, керн разглаживает морщины и натягивает слои материала (стеклоткань, бумагу, триацетатную пленку). Керн с за-

готовкой гильзы прижимают ко дну прессформы, после чего включают гидроблоки бокового давления.

Вертикальное давление на дно гильзы должно составлять  $15 \text{ кг/см}^2$ , боковое —  $30 \text{ кг/см}^2$  [Л. 4]. Температуру прессформы доводят до  $160^\circ\text{C}$  и выдерживают в течение 2 ч на 1 мм толщины стенки гильзы.

Температуру прессформы определяют с помощью термопар, заложенных в керн и боковые пресспланки.

Запеченную гильзу охлаждают вместе с прессформой холодной водой. Готовую гильзу обрезают по высоте в прессформе ножами, изготовленными из старых плоских напильников.

После выемки готовой гильзы из прессформы ее торцы обрезают ножовочным полотном и проверяют размеры гильзы и внешний вид.

Гильза должна быть монолитной, одноцветной, без вмятин, вздутий, расслоений и волнистой поверхности. На внешней поверхности гильзы допустимы небольшие морщины глубиной до 0,2 мм и длиной 80—100 мм. Хорошо запрессованная гильза при простукивании издает звонкий звук. Каждая гильза после изготовления испытывается повышенным напряжением равным 10 000 в при толщине стенок свыше 1,2 мм и напряжением 8 000 в при толщине стенок до 1,2 мм. Испытательное напряжение выдерживают в течение 60 сек. На испы-

Таблица 5

Тип турбогенератора	Размеры гильз, мм (рис. 29)					Количество гильз на ротор
	A	B	C	R***	L	
T2-6-2	24,8	21,7	1,55	2,5	1 450	24
T2-12-2	24,8	21,7	1,55	2,5	2 050	28
T2-25-2*	24,8	21,7	1,55	3,0	2 850	32
T2-25-2**	24,8	21,7	1,55	3,0	3 000	32
TB2-30-2	24,8	21,7	1,55	3,0	2 850	32
T2-50-2	31,5	28,3	1,6	4,5	3 300	36
TB-50-2	31,5	28,3	1,6	4,0	3 300	36
TB-60-2	31,5	28,3	1,6	4,0	3 300	36
T2-100-2	31,5	28,3	1,6	4,5	6 550	36
TB2-100-2	31,5	28,3	1,6	4,0	5 450	36
TB2-150-2	31,5	28,3	1,6	4,0	6 450	40

\* Исполнение I.

\*\* Исполнение II.

\*\*\* Указан внешний радиус закругления дна гильз.



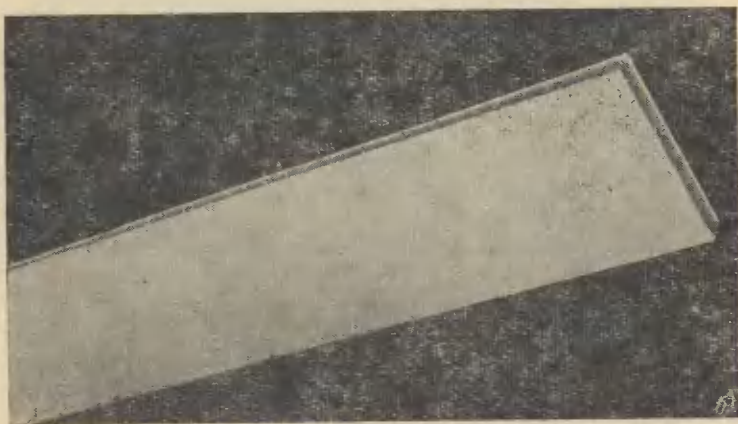
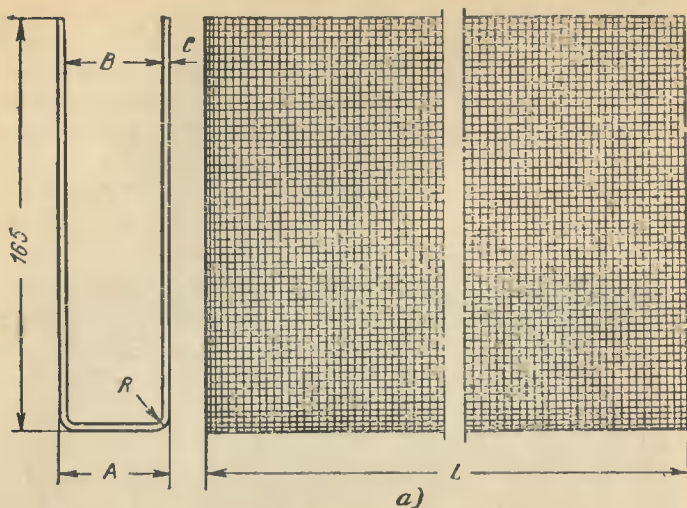


Рис. 29. Гильза стеклотекстолитовая из стеклоткани ПСЭР1-30.  
а — схема; б — внешний вид.

танную гильзу наклеивают ярлык с указанием величины испытательного напряжения, даты и подписью лица, производившего испытания.

Размеры стеклотекстолитовых гильз для роторов турбогенераторов серий Т2, ТВ и ТВ2 завода «Электросила» (рис. 29) приведены в табл. 5.



*Изготовление стеклотекстолитовых полос для витковой изоляции возможно только на специализированном участке при наличии прессформы и пропиточной машины. Стеклоткань пропитывают на пропиточной машине так же, как и при изготовлении гильз. Для изготовления витковой изоляции рулон пропитанной стеклоткани разрезают пополам по ширине. Металлическую полосу сечением  $5 \times 180$  мм и длиной, равной длине прессформы,*

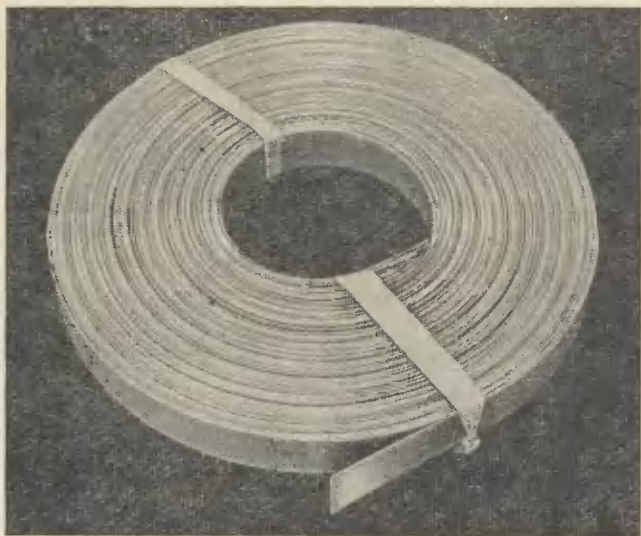


Рис. 30. Стеклотекстолитовые прокладки для витковой изоляции.

устанавливают на ребро в тиски, закрепленные на изолировочном столе. На полосу накладывают два слоя триацетатной пленки, поверх нее — четыре или пять слоев пропитанной стеклоткани для получения полос стеклотекстолита толщиной соответственно 0,4 или 0,5 мм. На стеклоткань укладывают слой пропиточной бумаги, затем вновь четыре или пять слоев стеклоткани. Набирают пакет из стеклоткани и бумаги толщиной до 6 мм на сторону. Пакет покрывают двумя слоями триацетатной пленки. Стальную полосу вместе с пакетом стеклоткани устанавливают в прессформу и прессуют аналогично гильзе. Витковая изоляция запекается при темпе-

ратуре  $140^{\circ}\text{C}$  в течение 6 ч. Готовый стеклотекстолит разрезают виброножницами на полосы необходимой ширины. Прокладки проверяют толщиномером, сворачивают в круги (рис. 30) и отправляют на объект.

Витковая изоляция из стеклотекстолита обладает высокой механической прочностью, допускает большие удельные давления при опрессовках и достаточно сильные удары, не повреждаясь. Изолировка и укладка витков в пазы производятся одновременно, что значительно сокращает трудозатраты.

Боковые поверхности витков катушек не закрываются слоем изоляции, что обеспечивает хороший отбор тепла от меди в лобовых частях обмотки. Витки катушек укладывают в пазы с технологическим зазором от 0,4 до 0,2 мм. Для того чтобы не ухудшить теплопередачу от меди к стенкам паза через тонкий слой газа, прокладки промазывают лаком при укладке их в пазы. Лак заполняет воздушные промежутки между медью и гильзой при опрессовке обмотки, что способствует повышению теплопроводности слоя изоляции и улучшает теплопередачу от меди к зубцам ротора.

## 16. УКЛАДКА ОБМОТКИ РОТОРА

Укладка витков катушек *изолированных пропитанной стеклолентой* в пазы ротора не отличается от укладки обмотки изолированной микалентой. Технология изолировки, укладки, опрессовки и запечки обмотки с микалентой витковой изоляцией подробно изложена в [Л. 5].

Отличительными особенностями опрессовки и запечки витковой изоляции катушек, изолированных пропитанной стеклолентой, являются:

- уменьшение числа опрессовок до одной;
- температура запечки витковой изоляции из пропитанной стеклоленты лежит в пределах  $140\text{—}160^{\circ}\text{C}$ ;
- время запечки сведено к 4 ч.

Технология укладки витков катушек с *комбинированной витковой изоляцией*, в которых лобовые части катушек заизолированы пропитанной стеклолентой, а пазовые части изолируются стеклотекстолитовыми прокладками в процессе укладки витков в пазы, имеет свои специфические особенности.

До укладки витков катушек в пазы ротора устанавливают корпусную изоляцию, состоящую из концевых

манжет (рис. 31) и стеклотекстолитовых гильз. Манжеты изготавливают из формовочного миканита марки ФМК толщиной 0,3 мм и армируют стеклополотном, пропитанным эпоксидно-резольным лаком.

На концах паза ротора выфрезерованы уширения под установку манжет. Манжеты подгоняют по дну и стенкам уширения так, чтобы они лежали в одной плоскости с дном и стенками паза. При несоответствии глуби-

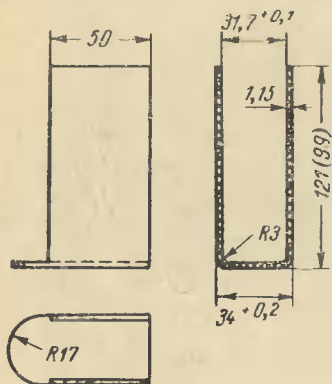


Рис. 31. Кошцевая манжета роторных пазов турбогенераторов ТВ-50-2х; Т2-100-2х; ТВ-50-2х; ТВ-60-2х; ТВ2-100-2 и ТВ-150-2.

Звездочкой отмечены типы турбогенераторов, у которых пазы первых катушек имеют размер, указанный в скобках.

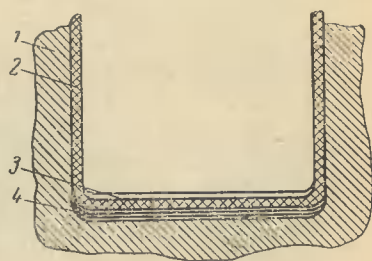


Рис. 32. Установка буферных прокладок в пазы ротора.

1 — зубцы ротора; 2 — стеклотекстолитовая гильза; 3 — прокладки на дно гильзы; 4 — прокладки на дно паза.

ны дна уширения толщине манжеты под нее можно подложить прокладки пропитанной стеклоткани, смазанные лаком, или полоски прокладочного миканита.

Так как стеклотекстолитовая гильза достаточно жесткая и при ее изготовлении трудно добиться совпадения радиусов закругления гильзы и дна паза, на дно паза, под гильзу, укладывают прокладки из пропитанного стеклополотна на лаке ЭР1-30 или полосы прокладочного миканита (рис. 32).

В пазы ротора устанавливают стеклотекстолитовые гильзы. Осадка гильзы на дно паза производится деревянной осадочной доской, вставленной в гильзу. Осадку производят 3—4 рабочих путем легких толчков руками на выступающий край доски до плотной посадки гильзы на дно паза.

Деревянным шаблоном длиной 100 мм и шириной, равной ширине меди плюс 0,2—0,3 мм, проверяют внут-

рсний размер гильзы по всей длине и на всю глубину паза.

В гильзу устанавливают сухую деревянную доску, завернутую в медную фольгу, для испытания электрической прочности изоляции повышенным напряжением переменного тока<sup>1</sup>.

До и после испытаний производят замер сопротивления изоляции гильзы мегомметром 2500 в. Результаты измерений и испытаний заносят в протокол. После испытания электрической прочности гильз на их дно укла-

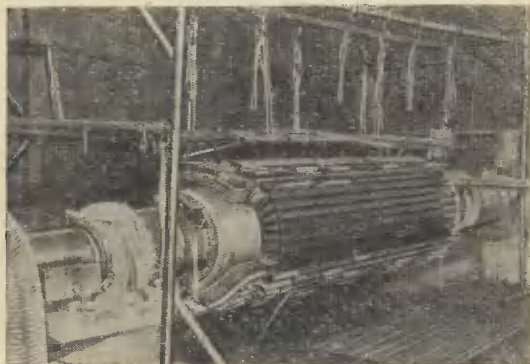


Рис. 33. Укладка катушек в пазы ротора.

дывают два слоя прокладочного миканита толщиной 0,25—0,3 мм и шириной, равной ширине меди плюс 2 мм. Стыки прокладок смещают на 40—50 мм.

К ротору доставляют первую катушку и подвешивают ее на подвесное приспособление (рис. 33). С катушки снимают упаковочную бумагу, витки продувают сухим сжатым воздухом и тщательно осматривают. По бокам ротора устанавливают два стола для раскладки изоляционных материалов, встречных клиньев, осадочных досок и т. д.

С крючков подвесного приспособления снимают нижний виток малой катушки и закладывают свободным концом в паз. Конец витка подсоединяют к токоподводу, клепают и паяют серебряным припоем ПСр-45. Место

<sup>1</sup> По нормам завода «Электросила».

пайки зашлифовывают от наплывов припоя и изолируют по чертежу. Затем укладывают в паз вторую сторону витка и осаживают на дно гильзы. Осаживание производится текстолитовыми осадочными досками толщиной, равной ширине меди, и специальными домкратами для подпрессовки витков. При осаживании первого витка в паз необходимо следить, чтобы не разрушались боковые стенки гильзы. В лобовой части формовка витка по опалубке производится ударами деревянной киянки через резиновую полосу толщиной 10—12 мм. Осадив виток на дно гильзы, выравнивают его вылеты от бочки ротора и закрепляют в пазу встречными клиньями или зажимают осадочными домкратами.

Прокладку стеклотекстолита разворачивают, примеряют по голому неполированному участку витка и при необходимости подрезают. Виток, лежащий в пазу, промазывают эпоксидно-резольным лаком и кладут на него стеклотекстолитовую прокладку, которую осаживают на виток. При этом прокладка должна плотно ложиться по ширине гильзы, не разрушаясь. Прокладку прижимают к витку встречными клиньями в четырех-пяти местах по длине ротора.

Во второй паз данной катушки стеклотекстолитовую прокладку укладывают так же, как и в первый. С подвесного приспособления снимают второй виток. Пазы поочередно освобождают от встречных клиньев. Прокладки, уложенные в паз, промазывают лаком ЭР1-30. Виток укладывают в пазы и крепят встречными клиньями.

При укладке и осаживании в пазы первых трех витков можно повредить дно гильз на радиусах закругления, поэтому после укладки первых трех витков рекомендуется замерить сопротивление изоляции катушки. При снижении сопротивления изоляции, испытывают изоляцию гильз повышенным напряжением переменного тока, равным 6 кВ в течение 1 мин. Рекомендуется такие испытания производить после укладки трех витков, половины витков и целой катушки. При сопротивлении изоляции ниже 0,5 Мом укладку витков надо прекратить и выяснить причину снижения.

После испытания корпусной изоляции катушки с тремя уложенными витками дальнейшая укладка и изолирование пазовых частей витков производятся так же, как и трех первых.

Если медь недостаточно отожжена перед рихтовкой катушек, то при укладке витков трудно осаживать их в пазы. В этом случае необходимо использовать специальные домкраты. Подпрессовка витков домкратами производится через три-четыре уложенных витка.

После укладки витков первой катушки в пазы необходимо проверить вылеты лобовых частей от бочки ротора. При отклонении размеров вылетов от требований чертежа производится их исправление. Для этого к торцу катушки кладут слой резины или транспортной ленты толщиной 10—15 мм и ударами через деревянный брусок и транспортную ленту выравнивают вылеты и смещения витков в столбце.

На верхние витки уложенных катушек приклеивают стеклотекстолитовые прокладки витковой изоляции. На витковую изоляцию укладывают полосы стеклотекстолита толщиной 7—10 мм для подклинового багажа. Толщина стеклотекстолита для подклинового багажа берется на 1—1,5 мм больше расчетной величины. Полосы стеклотекстолита для подклинового багажа перед укладкой в гильзу смазывают лаком снизу и по бокам. Опрессовку и запечку изоляции производят вместе с подклиновым багажом.

После укладки витков первой катушки на подвесное приспособление подвешивают вторую катушку и производят укладку ее витков аналогично первой. Порядок укладки катушек может быть изменен. Например, после первой катушки первого полюса можно укладывать первую катушку второго полюса. Разрешается укладывать три-четыре катушки одного полюса, а затем другого. При этом ротор должен быть зафиксирован от проворота из-за неуравновешенности его полюсов.

При укладке последующих катушек в пазы пайка межкатушечных перемычек производится серебряным припоем ПСр-45. Межкатушечные переходы изолируют прокладками стекломиканита, примотанными к витку пропитанной стеклолентой или стекломикалентой.

В процессе укладки катушек в пазы измеряют сопротивление изоляции и испытывают повышенным напряжением переменного тока по нормам. Записывают в ремонтном журнале количество уложенных катушек за смену и фамилии лиц, производивших укладку.

Укладка витков катушек в пазы с *одновременной изолировкой прокладками стеклотекстолита* производят-



ся следующим образом. После калибровки меди катушку № 1 (малая катушка) доставляют к ротору и подвешивают на подвесное приспособление. Порядок подготовки паза, гильз и приспособлений приведен выше. В каче-

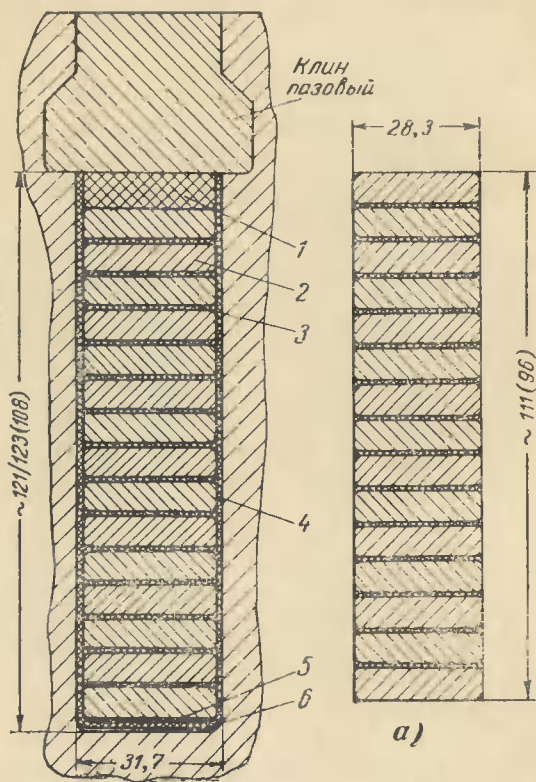


Рис. 34. Заполнение пазов роторов турбогенераторов Т2-50-2х; Т2-100-2х; ТВ-50-2х; ТВ-60-2х; ТВ2-100-2; ТВ2-150-2.

Звездочкой отмечены типы турбогенераторов, у которых первые катушки имеют размер, указанный в скобках.  
а — сечение по лобовой части катушки.

стве витковой изоляции катушек применяют прессованные стеклотекстолитовые прокладки на лаке ЭР1-30 как в пазовых, так и в лобовых частях катушек.

Приемы и последовательность операций при укладке витков с изолировкой стеклотекстолитовыми прокладками те же, что и с комбинированной витковой изоляцией



Заполнение пазов роторов турбогенераторов типов Т2-50-2, ТВ-50-2, ТВ-60-2, Т2-100-2, ТВ2-100-2 и ТВ2-150-2 приведены на рис. 34 и в табл. 6.

Таблица 6

№ поз. по рис. 34	Наименование	Пазовая часть, мм		Лобовая часть, мм	
		по высоте	по ширине	по высоте	по ширине
1	Подклиновная прокладка из стеклотекстолиита . . . . .	9*/7**	—	—	—
2	Медь 7 мм × 28 мм 13/15 витков*** . . . . .	91/105	28,0	91/105	28,0
3	Витковая изоляция: проклад- ки стеклотекстолиита раз- мером 0,4 × 22,2 мм по 13/15 шт.* . . . . .	5,2/6,0	—	5,2/6,0	—
4	Гильза стеклотекстолиитовая с толщиной стенок 1,6 — 1,55 мм . . . . .	1,6	3,2	—	—
5	Миканит на дно гильзы, два слоя по 0,3 мм . . . . .	0,6	—	—	—
6	Миканит на дно паза, два слоя по 0,3 мм . . . . .	0,6	—	—	—
—	Зазор на укладку . . . . .	—	0,5	—	—
Итого . . . . .		108, 123 и 121	31,7	96/111	28,0

\* Для роторов турбогенераторов Т2-50-2, ТВ-50-2 и ТВ-60-2.

\*\* Для роторов турбогенераторов ТВ2-100-2 и ТВ2-150-2.

\*\*\* В роторах Т2-50-2; ТВ-50-2; ТВ-60-2 и Т2-100-2 первые катушки имеют по 13 витков, а остальные катушки по 15 витков и соответственно большую глубину паза.

Укладка витков в пазы с одновременной изолировкой пазовых и лобовых частей прокладками стеклотекстолиита отличается следующим:

углы катушек изолируют прокладками стеклотекстолиита, вырезанными по шаблону; ширина стеклотекстолиитовых уголков должна быть больше ширины меди на 4 мм;

ширина прямых прокладок для изолировки дуговых участков витков и прямолинейных вылетов от бочки до уголка выбирают больше ширины меди на 1,0—1,5 мм;

стыкование стеклотекстолиитовых прокладок производится внахлест не менее чем на 40 мм. Прокладки в месте нахлеста скалывают на половину своей толщины,

чтобы не создавалось местных утолщений в любом сечении катушки;

крепление всех отрезков прокладок к витку производят капроновой нитью или стеклолентой, намотанной вразбежку.

При укладке витков в пазы с изолировкой прокладками стеклотекстолита витки смазывают эпоксидно-резольным лаком как в пазовой так и в лобовой частях перед наложением прокладок. Перед укладкой очередного витка уложенные и закрепленные прокладки смазывают лаком.

При укладке витков второй и последующих катушек для предохранения прокладок от смещения между лобовыми частями ставят временные распорки и клинья по две-три штуки на каждую катушку. Временные распорки и клинья предпочтительно ставить против стыков стеклотекстолитовых прокладок.

При укладке неизолированных витков в пазы с последующей изолировкой прокладками необходим строжайший контроль за тем, чтобы не пропустить очередную прокладку. Укладка винтов в пазы с применением эпоксидно-резольных лаков ведется в три смены. Укладка в одну-две смены удлиняет срок и ухудшает качество эпоксидно-резольного лака.

## **17. ПОДГОТОВКА РОТОРА К ОПРЕССОВКЕ И ЗАПЕЧКЕ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТКИ**

При перемотке ротора все специальные приспособления по мере их высвобождения следует консервировать и сдавать на склад. Ремонтную площадку подметают и моют горячей водой. Бочку ротора размечают под установку прессколец. Винты и спецгайки изготавливают из стали 20Х и 30Х с термической обработкой. Затяжку винтов прессколец производят ключами с длиной рукоятки до 1 000 мм. Если винты диаметром 40 мм с трапецидальной резьбой затягивать ключом с рукояткой 1 000 мм, то усилие винта на пресспланку будет более 10 Т.

При определении количества прессколец для опрессовки пазовой части обмотки необходимо учитывать, что изоляция и обмотка прессуются давлением 90—100 кг/см<sup>2</sup>, т. е. расстояние между пресскольцами должно быть около 400 мм. Крайние пресскольца

устанавливают на расстоянии 80—100 мм от торцов бочки ротора. Установка прессколец на пазовую часть ротора производится мостовым краном. Центровку и фиксацию прессколец относительно бочки ротора выполняют четырьмя прессвинтами их затяжкой на больших зубцах.

Из пазов первой катушки удаляют встречные деревянные клинья и заводят пресспланки (рис. 35) с торца бочки. Пресспланки можно изготовлять целыми и со-

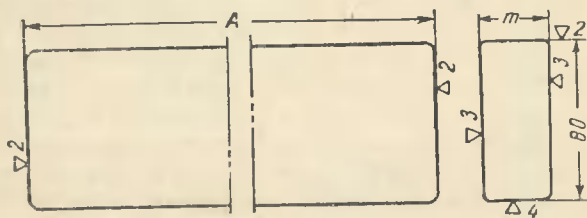


Рис. 35. Пресспланка составная.

$A$  — длина бочки ротора минус 20 мм;  $m$  — ширина меди катушек.

ставными. Минимальная длина одного отрезка 500 мм. При составных пресспланках на каждый отрезок пресспланки устанавливают по два пресскольца. Вдоль стенок гильзы вставляют несколько прокладок из электрокартона такой толщины, чтобы пресспланка плотно ложилась в паз и не сваливалась на сторону.

Отцентрированные пресспланки слегка поджимают прессвинтами. Подтяжку прессвинтов начинают от середины бочки ротора к торцам. В остальные пазы верхнего полюса устанавливают пресспланки аналогично первой катушке.

Затем ротор поворачивают на 180° и производят установку и центровку пресспланок в пазах второго полюса, после чего ротор приподнимают за одну сторону и на вал одевают временное центрирующее кольцо. Такую же операцию выполняют и на другой стороне.

Временные центрирующие кольца устанавливают на посадочные места постоянных центрирующих колец с зазором 0,4—0,5 мм и закрепляют от аксиального смещения. С помощью рычага и деревянных колодок осаживают лобовые части катушек на опалубку. Затем размечают и подгоняют верхние межкатушечные пере-  
мычки одного полюса. Межкатушечные пере-  
мычки паяют

друг с другом серебряным припоем ПСр-45, применяя флюс № 209.

При пайке серебряным припоем медь нагревают пламенем автогенной горелки или специальными угольными электродами. Запаянные межкатушечные переемы опиливают от наплывов припоя. Качество пайки проверяют осмотром.

Переемы изолируют двумя слоями миканита марки ПФКА толщиной 0,25 мм и одним слоем стеклоленты, пропитанной лаком ЭР1-30. После пайки межкатушечных переемы замеряют сопротивление обмотки ротора при постоянном токе методом амперметра-вольтметра.

Отсчет и запись показаний амперметра и вольтметра производится не менее 3 раз. Одновременно с замером сопротивления обмотки фиксируют температуру бочки ротора и окружающей среды. Замер выполняется лабораторными термометрами с ценой деления 0,1°С. По трем-пяти замерам подсчитывают среднюю величину сопротивления обмотки ротора при данной температуре.

После пайки межкатушечных переемы и замера сопротивления обмотки устанавливают временную расклиновку лобовых частей катушек. При укладке витков катушек очень трудно добиться их совмещения по торцам. При установке временной расклиновки исправляют формы лобовых частей катушек. Клинья для временной расклиновки лобовых частей обмотки изготавливают из дуба или бука.

При установке распорок и клиньев временной расклиновки их заворачивают в триацетатную пленку.

Временная расклиновка устанавливается в определенной последовательности. Вначале устанавливают распорные колодки и клинья малых катушек, затем аксиальные распорки между временными центрирующими кольцами и торцами больших катушек. Установка аксиальных распорок производится в направлении от центрирующих колец в сторону бочки ротора, т. е. от больших катушек к меньшим. При установке аксиальных распорок контролируют вылеты катушек от бочки ротора.

При замене заводской (фирменной) расклиновки лобовых частей на новую, в качестве временной можно использовать фирменную расклиновку, обрезав и подогнав ее по месту.

Высота деталей временной расклиновки должна быть меньше расчетной высоты катушки в лобовой части на

2—3 мм. Высота межполюсных клиньев должна быть равна высоте катушки плюс 2—3 мм. Для установки межполюсных клиньев в опалубке вырезают канавку глубиной 4—6 мм.

Лобовые части обмотки покрывают двумя слоями триацетатной пленки и стягивают стеклолентой вразбежку. На пленку укладывают пластины электрокартона длиной, равной длине вылета большой катушки, и шириной, равной  $1/8$ — $1/12$  части окружности лобовых частей. Толщину электрокартона и количество слоев подбирают равным толщине подбандажной изоляции плюс 1 мм. Полосы электрокартона укладывают способом «чешуи» или слоями. Зазоры между пластинами оставляют равными 8—10 мм и стягивают пластины киперной лентой. Последующие слои кладут на стыки предыдущего слоя и стягивают резиновым жгутом. После затяжки и крепления картона киперной лентой резиновые жгуты снимают.

Формовку и опрессовку лобовых частей обмотки ротора производят с помощью стальной брони и прессколец. Для сборки прессколец и брони ротор приподымают за одну сторону вала и под большой зуб устанавливают стальную подставку. Опорные козлы выдвигают и на вал набрасывают пресскольца. После этого ротор вновь приподымают, убирают подставку и ставят ротор шейкой на опорные козлы. Аналогичные приемы выполняют и для другой стороны.

Первые сегменты брони укладывают против большого зуба, расположенного сверху. На уложенные сегменты брони устанавливают по два пресскольца на одну сторону для генераторов мощностью до 30 000 Мвт и по три пресскольца — свыше 30 Мвт. На болты прессколец снизу устанавливают сегмент брони, противоположный верхнему сегменту.

Нижний сегмент поджимают прессвинтами к лобовым частям катушек. Одновременно пресскольца центруют относительно лобовых частей обмотки. После установки двух сегментов и центровки прессколец относительно лобовых частей производят подтяжку прессвинтов вдоль пазовых частей ротора. Подтяжку прессвинтов по пазовой части производят от середины ротора к торцам бочки и от больших катушек к меньшим. При подтяжке прессвинтов проверяют правильность установки и положения пресспланок относительно радиальной оси

паза. Правильно установленная и отцентрованная пресс-планка не должна сваливаться на одну из стенок гильзы и не доходить до торца бочки на 10—12 мм. После подтяжки прессвинтов по бочке ротора необходимо произвести подрезку гильз для установки брони.

Подрезка гильз преследует цель сокращения числа опрессовок лобовых частей обмотки. Практикой установлено, что гильзы и манжеты должны выступать за торец бочки ротора на 20—25 мм.

Для того чтобы ограничить усилия на лобовые части обмотки и не повредить гильзы на выходе из паза, необходимо сегменты брони опирать одним концом на временное центрирующее кольцо, а вторым на посадочное место бочки ротора. Для этого гильзы на выходе из бочки подрезают по длине до торца пресспланки и по высоте до посадочного места. После подрезки гильз устанавливают остальные сегменты брони на лобовые части обмотки.

Сегменты брони устанавливают с равномерными зазорами по окружности. Под стыки сегментов желательно подкладывать стальные листы толщиной 3—5 мм (равные по длине и ширине сегментам брони) для предохранения витков обмотки от выпучивания и деформации на стыках во время опрессовки.

Для подключения кабелей к контактным кольцам изготовляют хомуты из медных или алюминиевых шин сечением 500—600 мм<sup>2</sup>. С помощью стяжных болтов хомуты крепят на контактные кольца. К одному из хомутов подсоединяют шунт постоянного тока класса 0,5 для измерения силы тока во время нагрева ротора. Перед подключением кабелей к хомутам повторно замеряют сопротивления обмотки ротора при постоянном токе, температуру ротора и сравнивают величины сопротивлений первого и второго замеров, приведенные к одинаковой температуре. Равенство сопротивлений указывает на отсутствие витковых замыканий в обмотке ротора.

## 18. ОПРЕССОВКА И ЗАПЕЧКА ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТКИ РОТОРА

Нагрев ротора производится постоянным током. В качестве источника постоянного тока используют резервные возбудители. При невозможности использова-



ния резервного возбудителя по условиям работы электростанции можно использовать сварочные машины постоянного тока. Для контроля силы тока и напряжения к контактным кольцам подсоединяется вольтметр, а милливольтметр подключается к зажимам шунта. Контрольные приборы располагаются в 2—3 м от ротора.

Вольтметр, милливольтметр и кнопку аварийного отключения резервного возбудителя устанавливают на рабочем столе. Для контроля температуры ротора можно применять ртутные термометры со шкалой 0—150° С или термопары и гальванометры. Термометры или термопары устанавливают на бочке ротора в двух-трех местах и в лобовых частях обмотки.

Бочку ротора вместе с пресскольцами укрывают асбестовым полотном и брезентом. При этом брезент не должен касаться бочки ротора.

Контроль и регистрация показаний приборов при нагреве ротора ведутся непрерывно. Запись показаний вольтметра, милливольтметра, температуры ротора и обмотки в первый час ведется через 15 мин, а затем через час и заносится в протокол по определенной форме.

### ПРОТОКОЛ

запечки изоляции ротора турбогенератора завода (фирмы) \_\_\_\_\_ типа \_\_\_\_\_ мощностью \_\_\_\_\_ квт  
Ст. № \_\_\_\_\_, установленного на \_\_\_\_\_ ГРЭС (ТЭЦ)

Дата	Часы и минуты	Напряжение, в	Сила тока, а	Сопротивление обмотки, ом	Температура, °С				Подпись лица, производящего нагрев ротора
				обмотки ротора по сопротивлению	бочки ротора		лобовых частей катушек		
					сторона возбуждения	сторона турбины	сторона возбуждения	сторона турбины	

По указанию руководителя работ подсоединяют кабели и измерительные приборы к контактным кольцам ротора, собирают схему и включают в работу резервный возбудитель. Величина тока для нагрева ротора регули-



руется в первый момент равной  $0,2—0,3 I_n$ , где  $I_n$  — номинальный ток ротора.

По установившимся показаниям приборов производят подсчет сопротивления обмотки ротора, и это сопротивление обмотки принимают за основу для дальнейших подсчетов температуры нагрева обмотки. Величина тока при нагреве ротора регулируется так, чтобы температура обмотки не превышала температуру бочки ротора более чем на  $30^\circ \text{C}$ .

Ориентировочные величины токов для нагрева и запечки изоляции приведены в табл. 7.

Таблица 7

Тип турбогенератора	Сила тока, а		Тип турбогенератора	Сила тока, а	
	для прогрева	для запечки		для прогрева	для запечки
T2-1,5-2	110—120	100—105	T2-25-2	180—210	170—190
T2-3-2	120—130	110—115	T2-30-2	180—200	160—180
T2-4-2	130—140	120—130	TB-50-2	260—280	240—250
T2-6-2	150—160	140—150	TB2-100-2	290—320	260—280
T2-12-2	160—180	150—160	TB2-150-2	340—350	300—320

При нагреве ротора систематически контролируют и фиксируют температуру обмотки и бочки.

Подсчет изменения температуры меди по изменению сопротивления производится по формуле [Л. 6]:

$$R_2 = R_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1}.$$

После преобразования формула принимает следующий вид:

$$t_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + t_1) - 235, \text{ } ^\circ \text{C},$$

где  $t_2$  — температура меди при сопротивлении  $R_2$ ,  $^\circ \text{C}$ ;  
 $R_2$  — сопротивление обмотки ротора постоянному току при данных токе и напряжении,  $\text{ом}$ ;  
 $R_1$  — сопротивление меди в начале процесса нагрева,  $\text{ом}$ ;  
 $t_1$  — начальная температура ротора при подаче тока в обмотку,  $^\circ \text{C}$ .

Прогрев ротора длится десятки часов. При этом из-за наличия сквозняков бочка прогревается неравно-

мерно и возможен тепловой прогиб длинного ротора. Чтобы избежать этого, необходимо ротор мощностью 50 Мвт и выше проворачивать на 180° через каждые 3 ч. Более короткие роторы подпирают посредине бочки домкратом 25—50 т.

По достижению температуры обмотки ротора 85—90°С отключают ток, отсоединяют кабели и контрольные приборы. Ротор освобождают от утепляющего брезента и производят первую затяжку прессвинтов опрессовочных колец по пазовой части. Затяжку прессвинтов начинают от середины бочки ротора и продвигаются к торцам. При этом первыми прессуют пазы, принадлежащие большим катушкам с постепенным переходом к меньшим. Прессвинты затягивают специальными ключами с длиной рукоятки 1 000 мм.

Опрессовку обмотки ротора в лобовых частях надо начинать с пресскольца, расположенного ближе к бочке, и с сегментов, лежащих против больших зубьев ротора. Затем затягивают прессвинты на сегментах, лежащих рядом с большим зубом. В последнюю очередь зажимают сегменты, лежащие на межполюсных промежутках.

Затяжку прессвинтов на лобовых частях заканчивают по достижении плотного прилегания сегментов брони к посадочному месту на бочке ротора и к временному центрирующему кольцу. Первая затяжка прессвинтов должна быть закончена в течение 1 ч.

На опрессовку обмотки ротора генератора мощностью 100 Мвт необходимо назначать бригаду из 12 чел.

После первой затяжки прессвинтов ротор укрывают асбестовым полотном и брезентом, подсоединяют контрольные приборы, собирают схему для нагрева и включают ток.

Нагрев ротора ведут до температуры 100°С. По достижению указанной температуры нагрев прекращают, отключают кабели и контрольные приборы, окончательно затягивают прессвинты сначала на пазовой, а затем на лобовых частях обмотки. При окончательной затяжке прессвинтов контролируют величины упрессовки изоляции и степень осадки витков в пазы.

Особое значение контроль осадки обмотки и упрессовки изоляции имеет место для роторов с подпазовыми вентиляционными каналами. При чрезмерных усилиях в таких роторах можно разрушить гильзу и выдавить обмотку в подпазовый канал.

Для контроля упрессовки изоляции применяют шаблоны, штанген-глубиномеры или стальные линейки, которыми контролируется высота выступающей части пресспланок относительно бочки ротора. Общую высоту пресспланок замеряют при изготовлении или при установке в пазы.

После второй (окончательной) затяжки прессвинтов вновь подключают кабели и собирают схему для нагрева ротора. Включают ток и нагревают обмотку ротора до  $140-160 \pm 2^\circ \text{C}$ . Скорость подъема температуры обмотки ограничивается разностью температур между обмоткой и бочкой ротора. Во время запечки изоляции эта разность не должна превышать  $15-20^\circ \text{C}$ .

Обмотка со стеклянной изоляцией на эпоксидно-резольных лаках запекается в течение 2 ч у роторов до 30 Мвт и 4 ч — свыше 30 Мвт при  $t = 140-160^\circ \text{C}$  \*.

После запечки изоляции обмотки нагрев прекращают, снимают утепляющий брезент и асбестовое полотно, ротор остывает до температуры  $50-45^\circ \text{C}$ . При остывании ротор проворачивают на  $90^\circ$  через каждые 3 ч до температуры  $70^\circ \text{C}$  и через 4 ч до полного остывания, чтобы избежать теплового прогиба. Для ускорения остывания устанавливают вентиляторы или воздуходувки, равномерно обдувающие бочку ротора вдоль оси с двух сторон. Охладив ротор до температуры  $50^\circ \text{C}$  и ниже, опрессовочные приспособления снимают с лобовых частей и осматривают обмотки: определяют правильность опрессовки, отсутствие смещения отдельных витков, изолирующих прокладок и распорок (рис. 36). Затем собирают схему для испытаний корпусной изоляции обмотки ротора высоким напряжением. Замеряют сопротивление изоляции мегомметром 2500 в в течение 1 мин. Испытывают электрическую прочность корпусной изоляции обмотки повышенным напряжением переменного тока по нормам. Витковую изоляцию проверяют переменным током из расчета 4—5 в на виток в течение 5 мин по другой схеме. Затем проверяют падение напряжения по полюсам и катушкам: равные величины падения напряжения по полюсам и катушкам указывают на отсутствие замкнутых витков в обмотке.

---

\* Температура запечки изоляции  $140^\circ \text{C}$  выдерживается для лака ЭР1-30 на смоле Э2000 чехословацкого производства и  $160^\circ \text{C}$  для лака на смоле ЭД-6.

После разборки опрессовочных приспособлений снимают вольт-амперную характеристику ротора и измеряют сопротивление обмотки ротора переменному току. Вольт-амперную характеристику ротора необходимо



Рис. 36. Лобовые части обмотки ротора с временной расклиновкой.

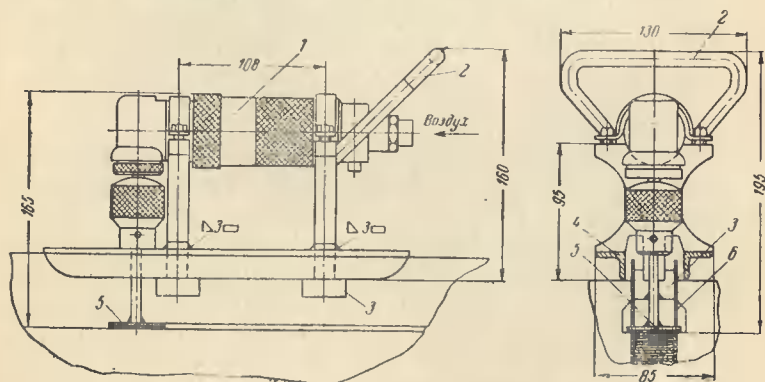


Рис. 37. Пневматическая фреза для обрезки стеклотекстолитовых гильз.

1 — пневмосверлилка РСУ-8; 2 — упорная скоба; 3 — направляющие ролики; 4 — полз; 5 — фреза диаметром 40×1 мм; 6 — стенки гильзы.

снимать после заклиновки пазов ротора, после одевания бандажных колец, после ввода ротора в статор и при наборе оборотов.

Наличие этих характеристик дает возможность при последующих ремонтах с выводом и без вывода ротора из статора проверить появление витковых замыканий в обмотке.

Перед заклиновкой пазов обрезают гильзы ножами или специальной фрезой (рис. 37) и ротор передают на заклиновку пазов постоянными клиньями.

## 19. ЗАКЛИНОВКА ПАЗОВ РОТОРА

Заклиновку пазов ротора желательно производить специальным прессом-заталкивателем с гидравлическим приводом. Из-за сложности и большого веса гидрозаталкиватель можно использовать только в условиях завода или мастерской по ремонту роторов. В условиях электростанции заклиновку пазов ротора производят пневматическими отбойными молотками. К пневмомолотку изготовляют специальные выколотки и проставки.

Перед заклиновкой пазов лобовые части обмотки ротора закрывают электрокартоном толщиной 1—1,5 мм и утягивают киперной лентой. На электрокартон накладывают стальной сегмент толщиной 3—5 мм против паза.

Пазовые клинья ротора доставляют из кладовой и раскладывают на верстаке по порядку пазов и номеров клиньев. Так как опрессовку ротора и запечку изоляции проводят с подклиновым багажом значительно более толстым, чем это требуется, то скалывают верхние слои стеклотекстолита до необходимой толщины.

Клин вставляют в паз и слегка подбивают ручным молотком 2 кг. Затем берут выколотку и забивают в паз клин пневматическим молотком. Для предохранения концов клиньев от расклепывания между выколоткой и клином ставят проставки. Клинья забивают одновременно с двух сторон паза от торцов к середине. После добивки клина до своего места необходимо проверить плотность заклиновки молотком до 1 кг. При ударах носком молотка по одному краю клина вибрация от ударов не должна передаваться на второй конец. В случае слабой посадки клин необходимо сдвинуть со своего места и уложить под него прокладку из стеклотекстолита необходимой толщины.

Все клинья забивают в пазы согласно маркировке. Каждый клин проверяют на плотность посадки. Концы крайних клиньев забивают на уровне торца посадочного места. Зазоры между клиньями должны быть равномерными и не превышать 3 мм. Рекомендуется забивку клиньев производить в пазы не подряд, а через паз: например, заклинить пазы всех четных номеров, а затем нечетных. В процессе забивки клиньев образуется мелкая стружка. Для ее удаления заклиниваемый паз систематически продувают.

Несмотря на проставки, предохраняющие клинья от расклепывания, появляются заусенцы. После заклиновки всех пазов заусенцы на торцах клиньев снимают шлифовальной машинкой. Испытывают электрическую прочность изоляции ротора по нормам. Обмотку ротора проверяют на витковые замыкания. Результаты измерений и испытаний заносят в протокол.

## **20. УСТАНОВКА ПОСТОЯННЫХ ДЕТАЛЕЙ КРЕПЛЕНИЯ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТКИ**

Лобовые части обмотки ротора крепятся специальными распорками и клиньями. В настоящее время расклиновка лобовых частей выполняет двойную роль: детали расклиновки лобовых частей обмотки удерживают витки катушек на своих местах при тепловых деформациях, и, кроме того, в распорках и клиньях делаются специальные каналы для организации направленного потока газа, эффективно снимающего тепло с лобовых частей обмотки.

Перед установкой распорок и клиньев в лобовых частях обмотки ротора необходимо убедиться в целостности витковой изоляции. Выступающие концы подклинового багажа опиливают до уровня посадочного места на бочке ротора. Подклиновый багаж подрезают до торцов гильз и зашлифовывают на конус в соответствии с чертежом. Временную расклиновку лобовых частей вынимают из обмотки. Снимают временные центрирующие кольца и удаляют опалубку из-под лобовых частей. Лобовые части очищают пылесосом или продувают сухим сжатым воздухом и покрывают эмалью ГФ-92 ХС или ГФ-92 ХК.

Ротор поднимают краном и устанавливают на шпальные выкладки. На вал ротора одевают торцевые изоля-



ционные кольца и удерживающие кольца (при наличии последних). Постоянные центрирующие кольца нагревают автогенными горелками и сажают на вал.

После посадки постоянных центрирующих колец и их фиксации от аксиального смещения замеряют диамет-

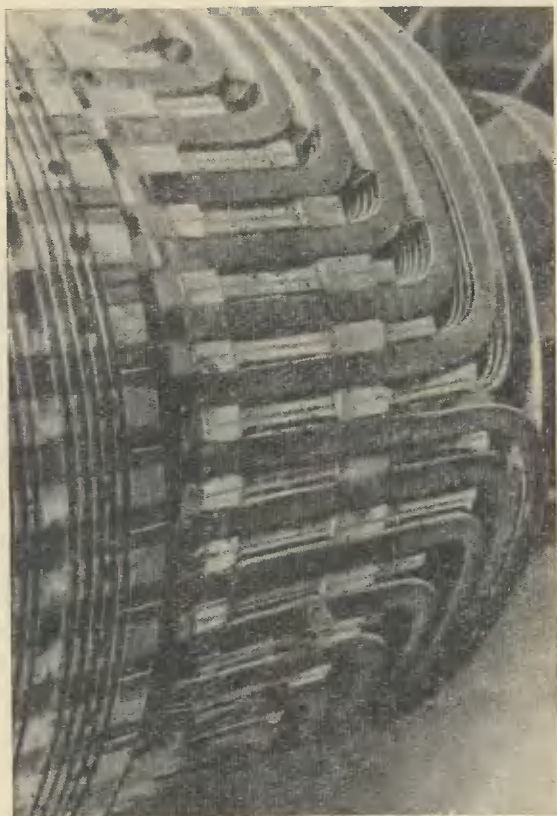


Рис. 38. Лобовые части обмотки с постоянной расклиновкой.

ры лобовых частей катушек и их вылетов от бочки ротора. Окончательно уточняют размеры клиньев и распорок. Первыми подгоняют и устанавливают аксиальные распорки. Установку производят в направлении от центрирующих колец к бочке ротора. После установки аксиальных распорок подгоняют и устанавливают ра-

диальные клинья. Установку клиньев производят от малых катушек к большим. В последнюю очередь ставят радиальные клинья в межполюсные промежутки. Лобовые части обмотки ротора покрывают эмалью ГФ-92 ХС и сушат до прекращения отлипа (рис. 38). Затем проверяют обмотку ротора на отсутствие вигловых замыканий.

## 21. ПОДБАНДАЖНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

Лобовые части обмотки ротора изолируют от бандажных колец стеклотекстолитовыми сегментами в два слоя (рис. 39). Минимальная толщина сегментов 1,8—2 мм.

Сегменты подбандажной изоляции изготовляют прессованием и запечкой стеклополотна, пропитанного эпоксидно-резольными лаками. Готовые сегменты обрезают и подгоняют по лобовым частям обмотки.

Сборку сегментов производят перед одеванием бандажных колец. Для сборки лобовые части обмотки обвязывают резиновым шнуром с большим натяжением. Под резиновый шнур устанавливают сегменты нижнего слоя.

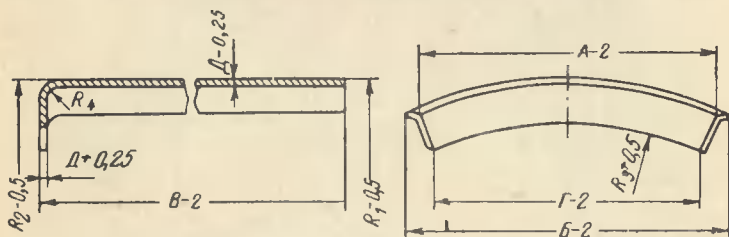


Рис. 39. Сегменты подбандажной изоляции из стеклотекстолита.

По длине сегменты нижнего слоя кладут встык с выступающими концами полос подклинового багажа. По окружности сегменты укладывают с зазором 2—3 мм. Верхний слой сегментов перекрывает стыки нижнего слоя и ложится на конусную часть подклинового багажа и междугильзовые клинья.

Для фиксации сегментов на лобовых частях между центрирующим кольцом и отогнутой частью сегментов забивают текстолитовые полоски-клинья. Дополнительно лобовые части стягивают двумя-тремя проволоочными скрутками. По мере одевания бандажного кольца про-

Тип турбогенератора	Размеры, мм (рис. 3 <sup>а</sup> )										Вес, кг
	A	B	B	Г	Д	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>		
T2-25-2	298	302	460	274	3	379	374	343	5	0,6	
TB2-30-2	274	278	460	252	3	379	374	343	5	0,55	
	296	300	435	274	3	376	371	343	5	0,56	
	272	276	435	252	3	376	371	343	5	0,53	
T2-50-2	348	351	610	325	3	459	455	425	5	0,84	
TB-50-2	346	349	585	325	3	456	452	425	5	0,8	
TB-60-2	348	351	595	325	3	459	455	425	5	0,84	
	346	349	570	325	3	456	452	425	5	0,78	
TB2-100-2	353	356	550	329	3	465	461	430	5	1,0	
	351	353	525	329	3	462,5	458,5	430	5	0,97	
TB2-150-2	353	355	600	330	3	500	497	465	10	1,16	
	296	298	600	277	3	500	497	465	10	0,97	
	351	353	570	330	3	497	494	465	10	1,15	
	294	296	570	277	3	497	494	465	10	0,96	

Примечания: 1. Размеры сегментов подбандажной изоляции из стеклотекстолита приведены для роторов завода "Электросила".  
 2. Для турбогенератора одного типа указаны одно или несколько в.тречающихся исполнений.

волоку перекусывают кусачками и удаляют с лобовых частей.

Размеры сегментов подбандажной изоляции из стеклотекстолита указаны в табл. 8.

## 22. ПОСАДКА БАНДАЖНЫХ КОЛЕЦ НА РОТОР

До посадки на ротор бандажные кольца должны быть проверены на отсутствие подгаров, трещин и других дефектов в соответствии со специальной инструкцией. Для посадки бандажных колец на ротор изготавливают хомут, подставку и две шпалы со стальными скобами. Хомут одевают на бандажное кольцо и затягивают. Его рассчитывают на подъем  $3 T$ .

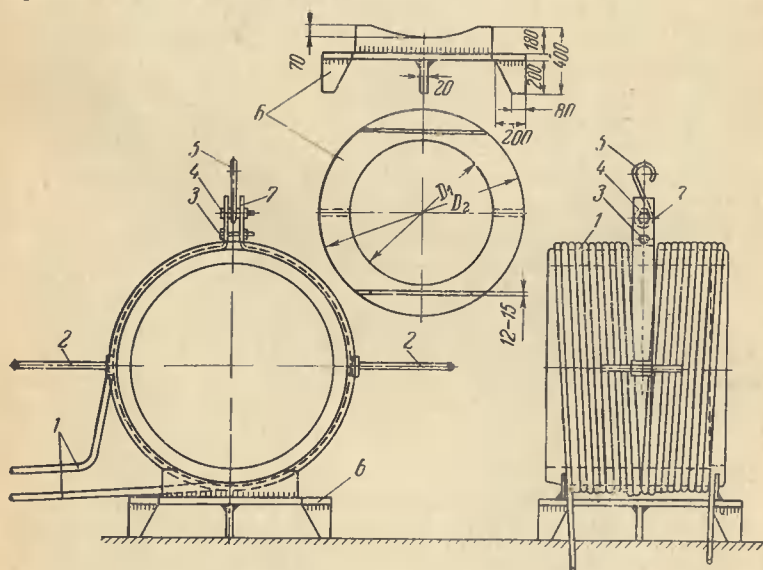


Рис. 40. Индукционный нагрев бандажного кольца для посадки.

1 — шланговый индуктор; 2 — рукоятки хомута; 3 — болт  $M20 \times 150$  мм; 4 — болт  $M30 \times 150$  мм; 5 — «восьмерка» грузоподъемностью  $3 T$ ; 6 — подставка под бандажное кольцо; 7 — хомут для транспортировки бандажных колец;  $D_1$  — длина бандажного кольца минус 120 мм;  $D_2 = D_1 + (350 \div 400)$  мм.

В подвешенном состоянии на бандажное кольцо наматывают два-три слоя асбестового полотна и витки шлангового индуктора. Бандажное кольцо устанавливают на подставку (рис. 40), индуктор подключают к источнику тока (два трансформатора типа ТСД-2000). Бандажное

кольцо нагревается до температуры 240—250° С. Контроль температуры осуществляют термощупами или термокрасками.

После нагрева бандажного кольца отключают трансформаторы от сети, шланговый индуктор быстро сбрасывают, а бандажное кольцо переносят к ротору. Отцентрировав положение бандажного кольца по отношению к лобовым частям ротора производят его посадку. При этом необходимо его покачивать за рукоятки хомута. Для добивки бандажного кольца на посадочные места бочки и центрирующего кольца используют две шпалы с прикрепленными к ним скобами.

Большинство бандажных колец изготовляют составными по длине. При остывании бандажки может произойти раскрытие теплового замка. Чтобы избежать этого, необходимо после посадки на место укрыть носик бандажного кольца тремя-четырьмя слоями асбестового полотна и оставить его до полного остывания. Одновременно тыльная часть бандажки должна быть зафиксирована от аксиального смещения кольцевыми или закладными шпонками или накладками и винтами.

После полного остывания бандажного кольца измеряют сопротивление изоляции ротора мегомметром 2 500 в. При нормальном сопротивлении изоляции приступают к подготовке и одеванию второго бандажного кольца, которое нагревают и сажают на ротор аналогично первому.

После остывания бандажных колец испытывают электрическую прочность изоляции ротора повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты. До и после испытания повышенным напряжением измеряют сопротивление изоляции ротора мегомметром 2 500 в.

Ротор, выдержавший испытание повышенным напряжением, проверяют на витковые замыкания в обмотке методом двух скоб. Вслед за тем снимают вольт-амперную характеристику сопротивления обмотки ротора переменному току, которую прикладывают к техническому акту.

После выполнения всей программы приемо-сдаточных испытаний производят окончательную сборку ротора. Готовый ротор заводится в статор для продолжения испытаний под нагрузкой.

## 23. ВОПРОСЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Перед началом работ по перемотке ротора каждый член бригады проходит инструктаж по технике безопасности и противопожарной безопасности. В ходе работ перед началом новой операции рабочие получают инструктаж на рабочем месте. При производстве огневых работ по отжигу меди, съему и одеванию центрирующих колец работы с автогенными горелками и керосиновыми форсунками выполняют только лица, имеющие удостоверения на право производства работ.

На ремонтной площадке запрещается хранить легко воспламеняющиеся материалы (растворители, лаки, бензин, керосин и др.). Ремонтная площадка оборудуется средствами пожаротушения (огнетушителями, асбестовым полотном, песком и др.). Производство огневых работ оформляется специальным нарядом-разрешением в управлении пожарной охраны электростанции.

Рабочие, занятые на отжиге, чистке, рихтовке и калибровке меди, обеспечиваются рукавицами, защитными очками и респираторами. Респираторы можно заменить марлевыми повязками в несколько слоев, что также обеспечивает защиту дыхательных путей работающих от попадания медной пыли.

Помещение для опиловки меди должно иметь принудительную приточно-вытяжную вентиляцию.

Для уменьшения действия медной пыли на окружающих помещение для калибровки меди должно иметь двери или занавеси, отделяющие его от смежных помещений.

При опиловке меди электрошлифовальной машинкой работающий должен иметь резиновые коврики под ногами и резиновые перчатки. Все работники, занятые на опиловке меди, должны снабжаться молоком. До начала работ по опиловке и калибровке меди каждый работающий должен пройти инструктаж по технике безопасности.

Опрессовка гильз производится при включенной местной приточно-вытяжной вентиляции и на исправной прессформе. Для защиты рук при работе со стеклотканью и эпоксидными смолами необходимо пользоваться казеиновой пастой «невидимые перчатки» или пастой на основе натриевой соли, рецептура которой разработана ЦКБ Управления химической и силикатной про-



мышленности и опубликована в журнале «Охрана труда и социальное страхование», 1966, № 7, стр. 39.

Все работающие на участке изготовления гильз и витковой изоляции должны иметь чистую одежду и систематически, не реже одного раза в месяц должен производиться осмотр их врачом на отсутствие экземы на коже.

Помещение необходимо систематически убирать и мыть горячей водой. Вентиляция отдельных агрегатов и помещения должна быть постоянно включена во время работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев П. М., Курнаков С. Н., Нагрев роторных бандажей турбогенераторов током промышленной частоты, «Энергетик», 1962, № 12.

2. Уринцев Я. С., Индукционный метод нагрева бандажных колец роторов турбогенераторов, «Энергетик», 1967, № 5.

3. Черняк К. И., Неметаллические материалы в судовой электро- и радиотехнической аппаратуре, «Судостроение», Л., 1966.

4. Циханович Б. Г., Фомин Б. П., Викторжак Б. А., Изготовление и сборка роторных обмоток турбогенераторов, «Энергия», 1966.

5. Миренбург Л. А. Ремонт роторов турбогенераторов в станционных условиях, Госэнергоиздат, 1959.

6. Инструкция по эксплуатации и ремонту генераторов на электростанциях, «Энергия», 1966.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Техничко-экономические обоснования применения стеклян- ной изоляции . . . . .	3
2. Организация работ по перемотке обмоток роторов . . .	6
3. Маркировка деталей ротора при разборке . . . . .	9
4. Съем бандажных колец . . . . .	11
5. Разборка обмотки ротора . . . . .	15
6. Очистка витков катушек от старой изоляции . . . . .	19
7. Деформация меди катушек . . . . .	24
8. Рихтовка меди катушек ротора . . . . .	26
9. Расчет ширины витков катушек . . . . .	29
10. Восстановление размеров катушек . . . . .	33
11. Калибровка меди катушек роторов . . . . .	36
12. Подготовка ротора к укладке обмотки . . . . .	37
13. Изготовление и установка опалубки на вал ротора . . .	39
14. Изолировка витков катушек ротора . . . . .	43
15. Изготовление стеклотекстолитовых гильз . . . . .	46
16. Укладка обмотки ротора . . . . .	55
17. Подготовка ротора к опрессовке и запечке изоляции обмотки . . . . .	32
18. Опрессовка и запечка изоляции обмотки ротора . . . .	66
19. Заклиновка пазов ротора . . . . .	72
20. Установка постоянных деталей крепления лобовых частей обмотки . . . . .	73
21. Подбандажная изоляция . . . . .	75
22. Посадка бандажных колец на ротор . . . . .	77
23. Вопросы техники безопасности . . . . .	79
Литература . . . . .	80

Цена 15 коп.