

31.261
462

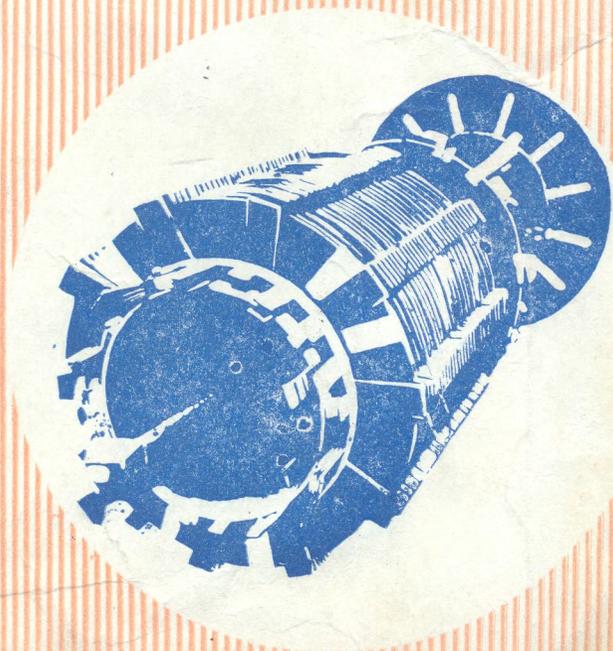
ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ

ЗАО НПК
«Электрические машины»
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
И АППАРАТЫ
ОТК-1



Е. Г. Минскер, А. М. Дымков, И. В. Силич

Электромонтер- обмотчик по ремонту трансформаторов



Е. Г. Минскер,
А. М. Дымков,
И. В. Силич

Электромонтер- обмотчик по ремонту трансформаторов

**Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому
образованию в качестве
учебного пособия
для технических училищ**



**Москва
«Высшая школа»
1979**

БКЗ31.261.8
М62
УДК 621.314.2

Со всеми замечаниями и предложениями просим обращаться по адресу: Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

Минскер Е. Г. и др.

М62 Электромонтер-обмотчик по ремонту трансформаторов: Учеб. пособие для сред. проф.-техн. училищ/ Е. Г. Минскер, А. М. Дымков, И. В. Силич. — М.: Вышш. школа, 1979. — 112 с., ил. — (Профтехобразование. Электрические машины и аппараты).

20 к.

В книге изложены принципы работы, конструкция и назначение отдельных узлов трансформатора. Описаны технологические процессы изготовления изоляции и намотки обмоток различных типов трансформаторов. Рассмотрены приспособления, применяемые в производстве обмоток трансформаторов, процессы ремонта катушек обмоток и деталей изоляции.

Книга предназначена для подготовки в технических училищах электромонтеров-обмотчиков и изолировщиков по ремонту трансформаторов.

М $\frac{30307-385}{052(01)-79}$ 49-79 2302030000

6П2.1.081
БКЗ 31.261.8

Ефим Григорьевич Минскер ,
Александр Михайлович Дымков,
Игорь Владимирович Силич

ЭЛЕКТРОМОНТЕР-ОБМОТЧИК
ПО РЕМОНТУ
ТРАНСФОРМАТОРОВ

Редактор Сорокина М. И.
Художественный редактор Панина Т. В.
Обложка художника Федичкина Ю. Д.
Технический редактор Григорчук Л. А.
Корректор Четчикова Г. А.

ИБ № 1834

Изд. № ЭГ-331 Сдано в набор 25 01.79.
Подп. в печать 30 07.79. Т-10589
Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 2.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Объем 7 усл. печ. л. 7,69 уч.-изд. л.
Тираж 30 000 экз. Зак. № 1828. Цена 20 к.

Издательство «Высшая школа»,
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14
Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли. Хохловский пер., 7.

© Издательство «Высшая школа», 1979

Бурный рост советской энергетики приводит к наращиванию установленной мощности электростанций, увеличению протяженности и разветвления электрических сетей, доставляющих электрическую энергию потребителям: предприятиям промышленности и сельского хозяйства, различным учреждениям, населению.

На пути от электростанции до потребителя электрическая энергия неоднократно трансформируется. Без трансформатора не может обойтись ни одна современная электротехническая установка.

За время развития в нашей стране электроэнергетики многое сделано для улучшения качества и эксплуатационных показателей трансформаторов.

Отечественные трансформаторы надежны в эксплуатации, однако по мере роста парка действующих трансформаторов непрерывно растет число трансформаторов, требующих по тем или иным причинам ремонта.

Важнейшим условием успеха этого процесса является участие в нем квалифицированных рабочих, овладевших профессиональными навыками и приемами работы, основами технических знаний, культуры производства и технологической дисциплины.

В настоящем учебном пособии освещена технология ремонта, намотки, сушки и отделки обмоток и изготовления деталей изоляции трансформаторов I—III габаритов, а также измерительных трансформаторов.

В своей работе над пособием авторы использовали опыт и практику изготовления и ремонта обмоток и изоляции на специализированных ремонтных предприятиях, а также руководящие технические материалы и инструкции.

Главы I, II, VIII, X написаны А. М. Дымковым; III, V, VII, XI — Е. Г. Минскером; IV, VI, IX — И. В. Силичем.

Общие сведения о трансформаторах

§ 1. Назначение трансформатора

По многим техническим причинам генераторы электрической энергии нельзя строить на очень большие напряжения. Даже самые крупные генераторы имеют напряжение не более 20—27 кВ.

Для передачи энергии на большие расстояния напряжение генераторов повышают до 35, 110, 220, 330, 500 или 750 кВ в зависимости от расстояния и передаваемой мощности.

На распределительных подстанциях напряжение требуется понизить (первая ступень понижения) до 6, 10 (в городах и промышленных объектах) или до 35 кВ (в сельских местностях и

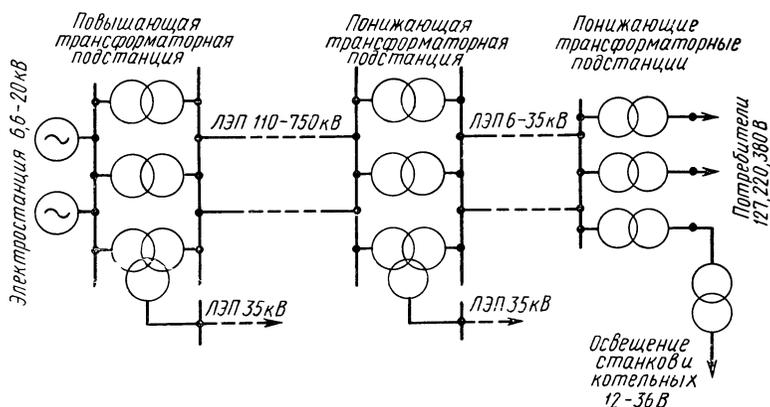


Рис. 1. Принципиальная схема передачи и распределения электрической энергии

при большой протяженности сетей). Для ввода в заводские цеха и жилые дома напряжение сетей должно быть понижено (вторая ступень понижения) до 380, 220 или 127 В. В особых случаях напряжение понижают до 36, 24 или 12 В. Повышение и понижение напряжения переменного тока выполняют *силовые трансформаторы*.

Трансформатор, повышающий напряжение, называется *повышающим*, а снижающий напряжение, — *понижающим*.

Принципиальная схема передачи и распределения электрической энергии показана на рис. 1.

В зависимости от энергии, необходимой той или иной группе потребителей или отдельному потребителю, строят трансформаторы на различные мощности и напряжения. Современные трансформаторы имеют мощность от нескольких вольт-ампер до сотен

тысяч киловольт-ампер, а мощность всех установленных трансформаторов практически в 7—8 раз превышает мощность генераторов, вырабатывающих электрическую энергию.

§ 2. Электродвижущие силы. Первичная и вторичная обмотки. Коэффициент трансформации

Действие трансформатора заключается в следующем. Если взять две катушки *I* и *II* из изолированного провода с числами витков W_1 и W_2 и расположить их соосно, т. е. так, чтобы их оси совпадали, то мы получим простейший трансформатор, схематично изображенный на рис. 2, действие которого заключается в следующем. Если к катушке *I*, называемой первичной, подвести переменное напряжение с действующим значением U_1 , то в катушке возникнет электрический ток I_0 , который в свою очередь создаст переменный магнитный поток Φ . Индукционные линии этого потока будут пронизывать также и вторичную катушку *II*. Поэтому в последней, согласно явлению взаимной индукции, наведется *электродвижущая сила* (эдс) E_2 , которая при холостом ходе будет равна вторичному напряжению U_2 .

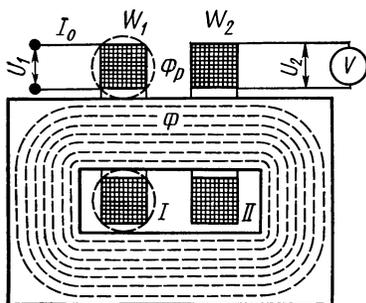


Рис. 2. Схема простейшего трансформатора (без стального сердечника — магнитопровода)

Чтобы усилить магнитную связь между первичной и вторичной катушками, или, как их принято называть, обмотками, и уменьшить так называемый поток рассеяния Φ_p , обмотки располагают на замкнутом стальном магнитопроводе (магнитной системе).

Если пренебречь потоком рассеяния Φ_p , считая что обе обмотки пронизываются одним и тем же потоком Φ , то в каждом витке обеих обмоток будет индуцироваться электродвижущая сила e_w , называемая *эдс витка*. Так как каждая обмотка состоит из определенного числа витков, соединенных последовательно, то эдс первичной обмотки $E_1 = W_1 e_w$, а вторичной обмотки — $E_2 = W_2 e_w$.

Если не учитывать падение напряжения в первичной обмотке, которое при холостом ходе трансформатора достаточно мало, то первичное и вторичное напряжения U_1 и U_2 могут быть приравнены соответственно к E_1 и E_2 .

Отношение напряжений, равное отношению чисел витков, а также и отношению индуцируемых в первичной и вторичной обмотках эдс, называется *коэффициентом трансформации* k :

$$k = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1 e_w}{W_2 e_w} = \frac{W_1}{W_2}.$$

§ 3. Режим холостого хода трансформатора

Режим холостого хода трансформатора — это такой режим, когда его первичная обмотка включена в сеть переменного тока, а вторичная обмотка разомкнута. При холостом ходе по первичной обмотке течет ток холостого хода $I_{x.x}$, который создает в магнитной системе изменяющийся магнитный поток, сцепленный с обеими обмотками. Вследствие этого в каждой из них возникает эдс: в первичной — эдс самоиндукции E_1 , во вторичной — эдс взаимной индукции E_2 , равная U_2 .

Режим холостого хода используется, в частности, при испытании готового трансформатора. При так называемом «опыте холостого хода» определяются некоторые из его эксплуатационных характеристик, а именно: коэффициент трансформации k ; потери холостого хода $P_{x.x}$; ток холостого хода i_0 .

Потери и ток холостого хода силовых трансформаторов нормированы соответствующими ГОСТами.

Потери холостого хода трансформатора возникают в стали магнитопровода. Эти потери состоят из потерь от вихревых токов и гистерезиса.

Потери от вихревых токов возникают вследствие наведения эдс в сечении стержня магнитопровода. Для уменьшения этих потерь магнитопровод делают не сплошным, а собирают из отдельных тонких (0,28—0,5 мм) пластин специальной электротехнической стали с повышенным удельным сопротивлением.

Потери от гистерезиса — это потери на перемагничивание стали вследствие изменения величины и направления переменного тока.

При холостом ходе трансформатора в его первичной обмотке протекает ток холостого хода, выражаемый в процентах номинального тока. Ток холостого хода состоит из активной составляющей, компенсирующей потери холостого хода, и реактивной составляющей (намагничивающий ток).

Величина намагничивающего тока, создающего магнитный поток, зависит от магнитного сопротивления пути, по которому он проходит. Чем оно будет больше, тем будет больше и намагничивающий ток.

Для уменьшения намагничивающего тока применяют сталь, возможно, более высокой проницаемости. Уменьшение магнитного сопротивления зависит также и от качества сборки магнитопровода, обеспечивающей минимальные воздушные (немагнитные) промежутки в стыках пластин, из которых собирается магнитопровод.

§ 4. Режим нагрузки трансформатора

Нагрузкой трансформатора может быть сопротивление любого вида: активное, индуктивное, емкостное или смешанное, включенное на зажимы его вторичной обмотки.

Физические процессы, возникающие в трансформаторе при включении нагрузки, могут быть представлены следующим образом. В замкнутой вторичной цепи появится нагрузочный ток I_2 , который создаст намагничивающую силу $I_2\omega_2$. Эта сила должна быть (согласно правилу Ленца) уравновешена намагничивающей силой $I'_1\omega_1$ первичной цепи, равной $I_2\omega_2$. Таким образом, при появлении нагрузочного тока I_2 появляется первичный нагрузочный ток I'_1 .

$$I'_1 = I_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} = I_2 \frac{U_2}{U_1},$$

откуда $U_1 I'_1 = U_2 I_2$, т. е. первичная мощность равна вторичной, что соответствует закону сохранения энергии.

Трансформатор, потребляя электрическую энергию одного напряжения U_1 , отдает эту энергию (за вычетом потерь) во вторичную цепь, но при другом напряжении U_2 .

Так как в первичной обмотке имеется также и ток холостого хода $I_{х.х.}$, то общий первичный ток I_1 при нагрузке трансформатора будет равен геометрической сумме $I_1 = I'_1 + I_{х.х.}$

§ 5. Опыт короткого замыкания.

Напряжение и потери короткого замыкания

В условиях эксплуатации короткое замыкание на зажимах вторичной обмотки является аварийным состоянием, при котором возникающие большие токи могут при неисправной защите перегреть и разрушить трансформатор.

На приемо-сдаточных испытаниях при выпуске с завода трансформаторов искусственно создаются аварийные режимы — *опыт короткого замыкания*. Задача опыта короткого замыкания — оценить потери в обмотках и конструкции, а также потоки рассеяния в трансформаторе.

Опыт короткого замыкания заключается в том, что вторичную обмотку замыкают накоротко ($U_2 = 0$), а к первичной подводят напряжение, поднимая его с нуля до тех пор, пока амперметр не покажет значение номинального тока I_1 . Так как намагничивающие силы обеих обмоток взаимно уравновешены, то во вторичной обмотке будет также протекать номинальный ток I_2 .

Напряжение $U_{к.з.}$ (первичное), которое покажет вольтметр при опыте короткого замыкания, и приведенное к расчетной температуре (обычно 75°C), называется *напряжением короткого замыкания*, выражается в процентах номинального и обозначается $u_{к.з.}$. Значение $U_{к.з.}$ составляет от 5,5 до 7,5% для трансформаторов I—II—III габаритов напряжением до 35 кВ.

Номинальные токи I_1 и I_2 , проходя по обмоткам трансформатора, вызывают в них потери (эффект Джоуля), равные $P_{к.з.1} = I_1^2 r_1$ и $P_{к.з.2} = I_2^2 r_2$, где r_1 и r_2 — сопротивления первичной и вто-

ричной обмоток. Сумма этих потерь составляет основную часть *потерь короткого замыкания* трансформатора, т. е.

$$P_{к.з} = P_{к.з1} + P_{к.з2}.$$

Мощность, которую покажет ваттметр, называется *мощностью или потерями короткого замыкания* и определяет потери в обмотках и добавочные потери в элементах конструкции трансформатора. Основной поток Φ при опыте короткого замыкания весьма мал, поэтому потерями в стали можно пренебречь.

§ 6. Коэффициент полезного действия

По значениям потерь холостого хода $P_{х.х}$ и потерь короткого замыкания $P_{к.з}$ определяется коэффициент полезного действия (кпд) трансформатора η :

$$\eta = \left(1 - \frac{P_{х.х} + \beta^2 P_{к.з}}{\beta S \cos \varphi_2 + P_{х.х} + \beta^2 P_{к.з}} \right) 100,$$

где S — номинальная мощность, кВ·А; $\cos \varphi_2$ — коэффициент мощности нагрузки; $P_{х.х}$ — потери холостого хода, кВт; $P_{к.з}$ — потери короткого замыкания, кВт.

Кпд трансформатора имеет наибольшее значение, когда потери короткого замыкания равны потерям холостого хода, т. е. когда $P_{х.х} = \beta^2 P_{к.з}$ или при величине нагрузки $\beta = \sqrt{\frac{P_{х.х}}{P_{к.з}}}$.

Среднее значение β для силового трансформатора при его эксплуатации составляет обычно 0,45—0,55. Поэтому трансформаторы проектируют с таким расчетом, чтобы отношение потерь короткого замыкания к потерям холостого хода составляло приблизительно 3,3—5.

Силовые трансформаторы обладают весьма высоким кпд, значение которого составляет от 95 до 99,5% в зависимости от мощности, причем трансформатор большей мощности имеет более высокий кпд.

§ 7. Однофазный и трехфазный трансформаторы

Трансформирование однофазного тока производится однофазными трансформаторами, а трехфазного — главным образом трехфазными, но возможно также и группой, состоящей из трех однофазных трансформаторов.

В схеме включения в сеть переменного тока однофазного трансформатора первичная обмотка трансформатора включена в питающую сеть переменного тока, а к зажимам вторичной обмотки присоединены приемники электроэнергии, например электрическая лампа.

Обмотки трехфазных силовых трансформаторов соединяются в схемы: звезда (условное обозначение в тексте — Y), треугольник

(Δ) или зигзаг (Z). Если схема имеет выведенную нейтраль, то добавляется индекс «н», например — Y_n .

Для обмоток ВН и СН (высшего и среднего напряжений) применяют схемы соединения Y , Y_n и Δ , а для обмоток НН (низшего напряжения) — Y_n , Δ и Z_n . Схемы соединения обмоток показаны на рис. 3, а—г.

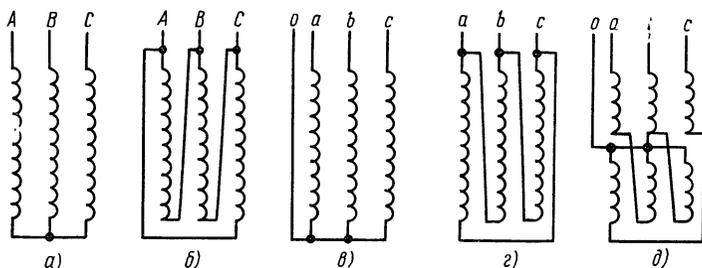


Рис. 3. Схемы соединения обмоток трехфазного трансформатора:

а — схема Y (звезда) обмотки ВН, б — схема Δ (треугольник) обмотки ВН, в — схема Y_n (звезда с выведенной нейтралью) обмотки НН, г — схема Δ (треугольник) обмотки НН, д — схема Z_n (зигзаг с выведенной нейтралью) обмотки НН, А, В, С — выводные концы обмоток ВН, а, б, в — выводные концы обмоток НН

В зависимости от сочетания схем соединения обмоток ВН и НН трехфазные трансформаторы могут иметь различные группы соединения.

Группой соединения называется угловое смещение векторов линейных электродвижущих сил обмоток (сторон) среднего и низшего напряжений по отношению к векторам соответствующих электродвижущих сил обмотки (стороны) высшего напряжения. Условная угловая единица принята равной 30° .

В Советском Союзе для трехфазных двухобмоточных силовых трансформаторов стандартизованы следующие схемы и группы соединения: Y/Y_n-0 ; $Y/\Delta-11$; $Y_n/\Delta-11$; Y/Z_n-11 ; Δ/Y_n-11 ; $\Delta/\Delta-0$.

Принадлежность трансформаторов к той или иной группе соединения определяет одно из условий возможности их параллельной работы между собой. Такая работа возможна только для трансформаторов, имеющих одинаковые группы соединения, например:

Y/Y_n-0 и $\Delta/\Delta-0$; $Y/\Delta-11$ и Δ/Y_n-11 и т. д.

§ 8. Автотрансформаторы

Автотрансформатором называется трансформатор, у которого вторичная обмотка является частью первичной.

Автотрансформатор может быть повышающий или понижающий. Принципиальная схема однофазного понижающего автотрансформатора показана на рис. 4.

Принцип действия и режим холостого хода автотрансформатора не отличаются от таковых у обычного двухобмоточного трансформатора.

В автотрансформаторе различают проходную S и типовую $S_{ат}$ мощности.

Прходной мощностью S автотрансформатора называется номинальная мощность, поступающая к нему из первичной сети и отходящая от него во вторичную сеть. Типовая, или электромагнитная, мощность $S_{ат}$ автотрансформатора эквивалентна мощности, передаваемой автотрансформатором из первичной сети во вторичную посредством электромагнитной индукции.

Соотношение типовой мощности к проходной называется коэффициентом выгоды $k_{ат}$ автотрансформатора

$$k_{ат} = \frac{S_{ат}}{S} = \frac{(U_{вн} - U_{нн})I}{U_{вн}I} = 1 - \frac{1}{k},$$

где $U_{вн}$ и $U_{нн}$ — высшее и низшее напряжения; $k = \frac{U_{вн}}{U_{нн}}$ — коэффициент

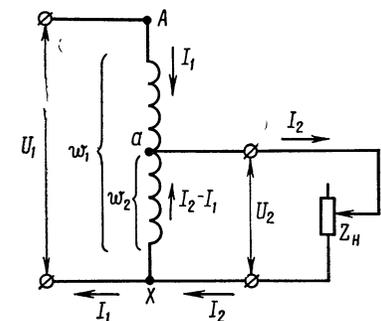


Рис. 4. Принципиальная схема однофазного понижающего автотрансформатора с включенной нагрузкой ($I_2 - I_1$ — ток в общей части обмотки автотрансформатора)

трансформации; I — ток на стороне высшего напряжения.

Из вышеприведенной формулы следует, что автотрансформатор наиболее выгоден при коэффициенте трансформации, близком к 1. Поэтому автотрансформаторы применяют, когда требуется изменять напряжение в небольших пределах, например при регулировании напряжения. При больших значениях k , когда первичное и вторичное напряжения относятся к разным классам, при условии заземления нейтрали автотрансформаторы находят применение в мощных ЛЭП на 750/500, 500/220 кВ и т. д.

Вообще применение автотрансформаторов тем выгоднее, чем меньше коэффициент трансформации. При больших значениях коэффициента трансформации использование автотрансформаторов становится менее неэкономичным.

§ 9. Регулирование напряжения трансформаторов

В условиях эксплуатации возникает необходимость регулирования напряжения трансформатора, т. е. изменение коэффициента трансформации. Для силовых трансформаторов это вытекает из требования обеспечить постоянное значение напряжения у абонентов — потребителей энергии, находящихся на различных расстояниях от электростанций и распределительных подстанций.

Применяют два способа регулирования: а) регулирование переключением без возбуждения ПБВ; б) регулирование под нагрузкой РПН.

Регулирование ПБВ требует полного отключения трансформатора от сети, и таким образом на время переключения прерывается подача энергии.

Для крупных трансформаторов и при напряжении 110 кВ и выше чаще применяется способ РПН, при котором регулирование происходит автоматически, без отключения трансформатора от сети.

В схемах ПБВ пределы регулирования для силовых трансформаторов установлены $\pm 2 \times 2,5\%$, т. е. кроме номинальной имеются ступени $+5$; $+2,5$; $-2,5$ и -5% — всего 5 ступеней. В схемах РПН число ступеней и диапазон регулирования больше, например $\pm 6 \times 1,67\%$ (диапазон $\pm 10\%$), $\pm 8 \times 1,5\%$ (диапазон $\pm 12\%$) и др.

При регулировании ПБВ применяются две основные схемы обмоток — прямая и обратная, показанные на рис. 5.

Как видно на рисунке, регулировочные витки обмоток помещают в середине ее высоты (у многослойных обмоток — в ее последних слоях). Это делается с целью уменьшения дополнительного рассеяния и осевых механических усилий, возникающих при выключении части обмотки.

Схемы РПН основаны на принципе сдвоенного переключателя.

Кроме схем РПН с реакторами получают все большее распространение быстродействующие схемы с токоограничивающими резисторами, позволяющими значительно уменьшить габаритные размеры трансформатора в целом.

§ 10. Нагрев и охлаждение трансформаторов

Потери электрической энергии, возникающие при работе трансформатора, в магнитопроводе, обмотках и деталях конструкции, превращаются в тепловую энергию и вызывают нагревание отдельных частей трансформатора. При этом температура нагрева может превысить допустимую температуру. Поэтому для отдельных частей трансформатора стандартизованы нормы не абсолютных значений температур, а превышения температуры нагрева над температурой окружающего воздуха — «перегрев» (табл. 1).

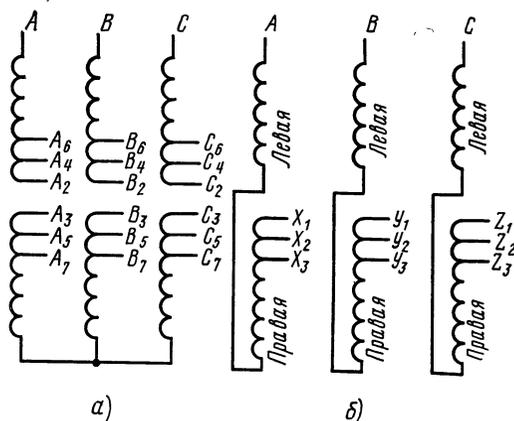


Рис. 5. Схемы регулирования напряжения ПБВ: а — прямая, б — обратная, с регулировочными ответвлениями близ нейтральной точки (верхняя и нижняя части обмотки при оборотной схеме должны иметь разное направление намотки). А, В, С — выводные концы обмоток, А₆, В₆, С₆, X₁, Y₁ и т. д. — ответвления ст обмоток

Таблица 1. Нормы превышения температур нагрева частей трансформатора

Части трансформатора	Превышение температуры, °С	Метод измерения
Обмотки масляных трансформаторов	65	По изменению сопротивления
Поверхности магнитопроводов и конструктивных деталей	75	По термометру
Масло в верхних слоях:		
при герметичном исполнении	60	То же
в остальных случаях	55	»
Обмотки сухих трансформаторов:		
класс изоляции А	60	По изменению сопротивления
» » В	80	То же
» » Н	125	»

Эти нормы установлены, исходя из принятой для Советского Союза условной наибольшей температуры окружающего воздуха в условиях естественного сезонного и суточного его изменения, равной $+40^{\circ}\text{C}$.

Тепловая энергия, выделяющаяся в обмотках и магнитопроводе трансформатора, рассеивается в окружающую среду. В масляном трансформаторе путь теплового потока может быть разделен на два основных участка, характеризующихся значением перепада температур — переход тепла от обмотки (или магнитопровода) к маслу и от масла через стенки бака (и охлаждающего устройства) в окружающий воздух.

Отведение тепла от обмотки (или магнитопровода) к маслу происходит путем конвекции масла. Масло, нагреваясь, расширяется и поэтому как более легкое поднимается вверх, а на его место снизу поступает более холодное масло. Соприкасаясь со стенками бака, масло охлаждается и опускается вниз. Происходит непрерывная циркуляция масла.

От стенок бака и охлаждающих устройств теплоотдача в окружающий воздух происходит двумя способами — конвекцией (аналогично циркуляции масла) и тепловым излучением.

Для масляных трансформаторов мощностью до $40\text{ кВ}\cdot\text{А}$ для отвода тепла достаточно иметь стенки баков гладкими. Для больших мощностей поверхности баков приходится дополнительно увеличивать. Для трансформаторов мощностью до $10\,000\text{ кВ}\cdot\text{А}$ это достигается либо путем применения трубчатых баков, либо баков с навешенными на них охладителями (радиаторами). Трубчатые баки имеют трубы, вваренные в стенки в один, два, три, реже в четыре ряда, в зависимости от мощности трансформатора. Охладители также изготовляют из круглых или овальных труб.

При мощности $10\,000\text{ кВ}\cdot\text{А}$ и выше охлаждение при естественной циркуляции воздуха ввиду трудности размещения охладителей по периметру бака становится недостаточным. Поэтому для

мощных трансформаторов применяют разного вида форсированное охлаждение — дутьевое (при котором охладители обдуваются струями воздуха), циркуляционное (с принудительной циркуляцией масла), масляно-водяное (с охлаждением водой, пропускаемой через охладитель) и др.

§ 11. Измерительные трансформаторы тока и напряжения

Большие токи и высокое напряжение в линиях не позволяют использовать измерительные приборы (амперметры и вольтметры), включенные непосредственно в линию. Применение в таких случаях приборов было бы недопустимо по правилам техники безопасности и, кроме того, изготовление приборов для этой цели и их монтаж осуществить практически невозможно. Поэтому амперметры (и токовые обмотки ваттметров, счетчиков и других приборов) включают через промежуточные трансформаторы, называемые *трансформаторами тока*, а вольтметры (и обмотки напряжения других приборов) — через *трансформаторы напряжения*. Благодаря этому измерительные приборы оказываются изолированными от сети, что делает возможным применение стандартных приборов (с переградуированием их шкал) и тем самым расширяет пределы измеряемых ими токов и напряжений.

Хотя измерительные приборы потребляют весьма малую энергию, все же она создает в трансформаторе тока и напряжения известное падение напряжения, т. е. вносит в измерение некоторую дополнительную погрешность. В связи с этим к измерительным трансформаторам предъявляются требования в отношении гарантированного класса точности.

Согласно ГОСТ 1983—77 *класс точности* — это обозначение (характеристика) трансформатора, погрешности которого при заданных условиях остаются в определенных пределах. Класс точности обозначается числом, которое равно предельно допустимой погрешности тока или напряжения в процентах номинального. Для классов точности стандартами установлены следующие значения: 0,2; 0,5; 1 и 3.

Кроме допустимой погрешности по току и напряжению измерительные трансформаторы должны удовлетворять также нормам угловой погрешности. *Угловой погрешностью* называется угол между вектором первичного тока (напряжения) и повернутым на 180° вектором вторичного тока (напряжения), выраженный в минутах.

Контрольные вопросы

1. Для чего служит трансформатор?
2. Что называется коэффициентом трансформации?
3. Что называется режимом холостого хода трансформатора?
4. Какие эксплуатационные характеристики трансформатора определяются при опыте холостого хода?
5. Что называется режимом нагрузки трансформатора?

6. Что такое «опыт короткого замыкания»?
7. Какую величину кпд имеют силовые трансформаторы?
8. Чем отличается автотрансформатор от трансформатора?
9. Что такое проходная и типовая мощности автотрансформатора?
10. Для чего требуется регулирование напряжения?
11. Для чего необходимо охлаждение трансформатора?

Глава вторая

Основные элементы конструкции трансформаторов

§ 12. Условные обозначения трансформаторов

Силовые трансформаторы общего назначения в зависимости от мощности и напряжения условно подразделяются на габариты (группы) согласно табл. 2*.

Габариты	Мощность, кВ·А	Напряжение (ВН), кВ
I	До 100	} До 35
II	Свыше 100 до 1000	
III	» 1000 до 6300	
IV	» 6300 до 32 000	
V	Свыше 32 000	
		} Свыше 35 до 110

трансформатора, например: Э — электропечной, А — автотрансформатор и т. д. На втором месте ставятся буквы, означающие систему охлаждения, например: М — естественная циркуляция воздуха и масла; Д — при-

нудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла; ДЦ — принудительная циркуляция воздуха и масла; Ц — принудительная циркуляция воды и масла; С — естественное воздушное охлаждение при открытом исполнении; СЗ — то же, при защищенном исполнении. На третьем месте ставится буква, обозначающая особенность трансформатора, например: Н — регулирование под нагрузкой.

Цифровая часть обозначения состоит из дроби, где числитель означает номинальную мощность трансформатора в киловольт-амперах, а знаменатель — класс напряжения обмотки ВН в киловольтах.

У трансформаторов последних выпусков (начиная с 1975 г.) к указанному выше основному обозначению типа добавляется год разработки (две последние цифры) и обозначение климатического исполнения и категории размещения.

* В пределах трансформаторов, рассматриваемых в данной книге.

§ 13. Общие сведения о конструкции трансформаторов

Трансформатор представляет собой сложное устройство, состоящее из большого числа различных конструктивных элементов. Основные из них — магнитопровод (магнитная система) и обмотки.

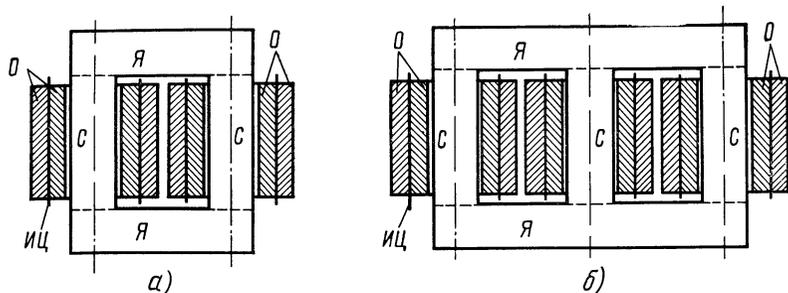


Рис. 6. Схема однофазного (а) и трехфазного (б) стержневого магнитопровода с обмотками:

С — С — стержни, Я — Я — яра, О — О — обмотки, ИЦ — изоляционный цилиндр

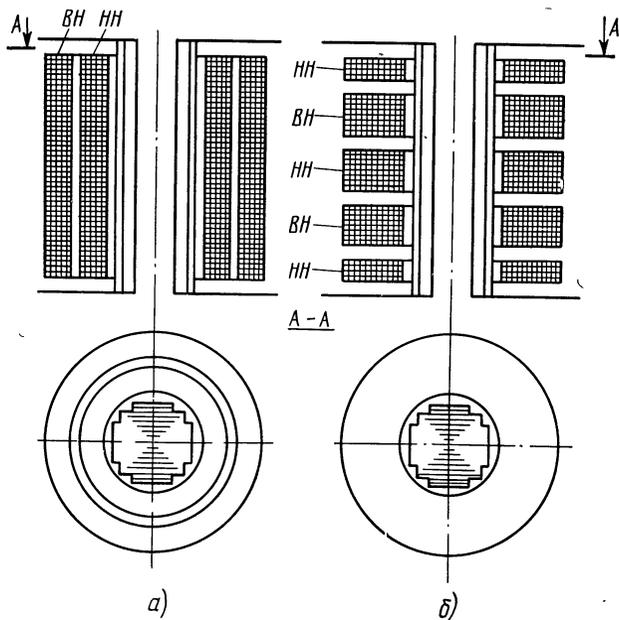


Рис. 7. Расположения обмоток ВН и НН на стержне магнитопровода:

а — концентрическое, б — чередующееся

Магнитопровод вместе с насаженными на него обмотками называют *активной частью* трансформатора, а остальные элементы — неактивными, *вспомогательными частями*.

Для отечественных силовых трансформаторов применяют преимущественно магнитопроводы стержневого типа. Однофазные трансформаторы имеют магнитопроводы с двумя стержнями, несущими обмотки, трехфазные — с тремя стержнями. Стержни соединены верхними и нижними ярмами.

Одно- и трехфазный трансформаторы со стержневыми магнитопроводами схематично показаны на рис. 6.

Обмотки трансформатора, включаемые в сеть, предназначены для получения (при соответствующем отношении количества их витков) желаемой трансформации, т. е. изменения напряжения.

Обмотки трансформатора представляют собой часть электрической цепи (первичной или вторичной) и состоят из проводникового материала — обмоточных проводов (медные или алюминиевые) и изоляционных деталей.

Расположение обмоток ВН и НН на стержне у силовых трансформаторов применяется преимущественно концентрическое, т. е. когда одна обмотка одета (или намотана) на другую, как показано на рис. 7, а. Ближе к стержню обычно расположена обмотка НН. Между обмотками помещают изоляционные цилиндры ИЦ (см. рис. 6).

У некоторых трансформаторов специального назначения, например у электропечных, применяется также чередующееся

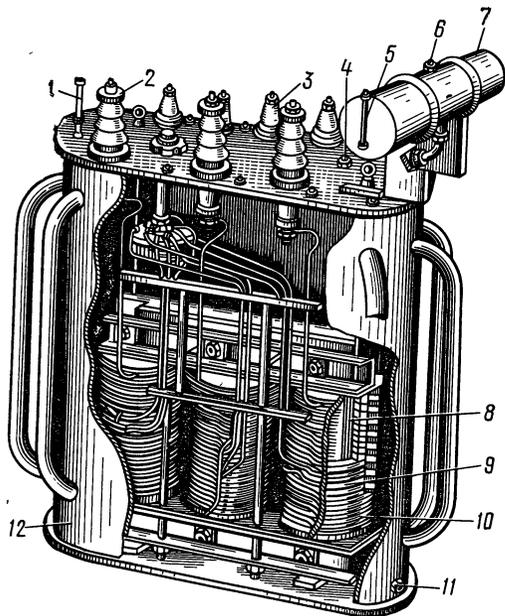


Рис. 8. Общий вид силового масляного трехфазного трансформатора II габарита на 6 кВ с трубчатым баком:

1 — термометр, 2 — ввод обмотки ВН, 3 — ввод обмотки НН, 4 — пробка для заливки масла, 5 — указатель уровня масла, 6 — пробка для заливки масла в расширитель, 7 — маслорасширитель, 8 — магнитопровод, 9 — обмотка НН, 10 — обмотка ВН, 11 — пробка для взятия пробы и спуска масла, 12 — бак

расположение обмоток, показанное на рис. 7, б. При таком расположении катушки ВН и НН насаживают на стержни поочередно, причем со стороны ярм крайними располагают катушки НН как требующие меньших изоляционных расстояний от ярма.

Активная часть силового трансформатора II габарита, помещенная в бак, изображена на рис. 8.

§ 14. Магнитопровод (магнитная система)

Магнитопровод трансформатора собирают из пластин электротехнической стали. В настоящее время наибольшее применение получила электротехническая холоднокатаная сталь марок 3414, 3415 и других толщиной 0,28—0,35—0,5 мм. Эта сталь обладает высокой магнитной проницаемостью, повышенным удельным электрическим сопротивлением и относительно малыми потерями на перемагничивание. Для уменьшения потерь от вихревых токов пластины изолируют нанесением защитных пленок.

Сборку пластин магнитопровода производят способом шихтовки. При этом образующиеся стыки пластин одного слоя перекрываются пластинами соседнего слоя. Такой способ преследует две цели: во-первых, уменьшается намагничивающий ток трансформатора и, во-вторых, увеличивается механическая прочность собранного магнитопровода. Сборку стержней и ярм встык применяют только для так называемых пространственных магнитопроводов и для магнитопроводов реакторов.

Сечению стержней магнитопровода, на которые насаживаются обмотки, придают ступенчатую форму, близкую к кругу (вписанную в окружность). Ядро магнитопровода обычно имеет в сечении также ступенчатую форму. Однако у трансформаторов меньшей мощности, с целью некоторого упрощения конструкции, сечение ярма делается двух- или трехступенчатым.

Пластины электротехнической стали, составляющие магнитопровод, для придания всей конструкции прочности и монолитности должны быть хорошо сжаты (стянуты) между собой. Плотная стяжка пластин необходима также для уменьшения вибрации магнитопровода во время работы трансформатора. В ранее разработанных конструкциях силовых трансформаторов стяжка магнитопроводов осуществлялась при помощи шпилек, пропущенных через отверстия, проштампованные в пластинах. Во вновь разработанных конструкциях применяют так называемую бесшпильчную прессовку. Стержни магнитопровода стягиваются бандажами из стеклоленты, а ярма — стальными полубандажами, охватывающими ярмо и прессующие ярмовые балки.

Магнитопровод с прессующими балками и деталями крепления составляет так называемый остов трансформатора, который является механической основой активной части трансформатора. На остова устанавливают обмотки, укрепляют отводы, переключатели, а у большинства трансформаторов I, II и III габаритов также и крышку бака с вводами и прочей арматурой.

§ 15. Обмотки силовых трансформаторов. Основные типы обмоток

Общие сведения. Обмотка трансформатора является его наиболее ответственным конструктивным узлом. От того, насколько правильно и качественно выполнена обмотка, в значительной степени зависит надежная и долговечная работа трансформатора.

Правильно сконструированная и выполненная обмотка трансформатора должна удовлетворять определенным эксплуатационным и производственным требованиям.

Основными эксплуатационными требованиями являются электрическая и механическая прочность и нагревостойкость обмоток.

Изоляция обмоток должна выдерживать без повреждений как рабочее напряжение, так и атмосферные и коммутационные перенапряжения.

Механическая прочность обмоток должна исключать возможность их деформации при воздействии токов короткого замыкания и при транспортировке трансформаторов.

Нагревостойкость обмоток должна быть обеспечена необходимой поверхностью соприкосновения обмотки с охлаждающей средой и соответствующим расположением и размерами каналов для охлаждения обмоток.

Элементом обмотки является виток обмоточного провода, охватывающий стержень магнитопровода. Сечение витка выбирается в зависимости от номинального нагрузочного тока. При малом токе применяется провод круглого сечения, при больших токах (более 20—30 А) — прямоугольного сечения в один или несколько параллельных проводов.

Число витков определяется по расчету исходя из величины напряжения. Отдельные витки обмотки группируют в катушки. *Катушкой* называется группа последовательно соединенных витков, конструктивно объединенная и отделенная от других таких групп или обмоток. Каждая обмотка может состоять из одной или нескольких соединенных между собой катушек.

При намотке катушек на станке каждый следующий виток может быть уложен либо рядом с предыдущим (по винтовой линии), либо (при прямоугольном проводе) поверх его (по спирали). В зависимости от способа намотки будут получаться разные типы обмоток. В первом случае будет получаться цилиндрическая слоевая обмотка, а во втором случае — плоская катушка в виде диска. Обмотка, составленная из таких катушек, называется дисковой. Описанные ниже типы обмоток являются разновидностью или сочетанием двух основных типов обмоток.

Направление намотки катушек. При изготовлении обмоток должно быть обязательно соблюдено направление намотки катушек, указанное в чертежах. Возможны два направления намотки — левое и правое.

Направление намотки однослойной катушки принято считать левым, если намотка ее витков по винтовой линии совпадает с левой нарезкой болта, и правым, если совпадает с правой нарезкой. При левой намотке слоевой катушки, если смотреть с ее торца, провод от начала намотки проходит по катушке против часовой стрелки. Аналогичным образом в правой катушке провод от ее начала проходит по часовой стрелке. Это правило справедливо и для многослойной катушки, которая будет называться левой или правой в зависимости от направления намотки ее первого слоя.

При намотке слоевых катушек на обмоточном станке намотка слоя будет получаться левой, если начинать наматывание слоя с левой стороны шаблона, и наоборот, направление слоя будет правым, если начинать намотку справа (при этом предполагается, что рабочее место обмотчика находится со стороны, противоположной барабану с обмоточным проводом, как, например, при намотке катушек трансформаторов I и II габаритов).

Намотка левых и правых катушек схематически показана на рис. 9.

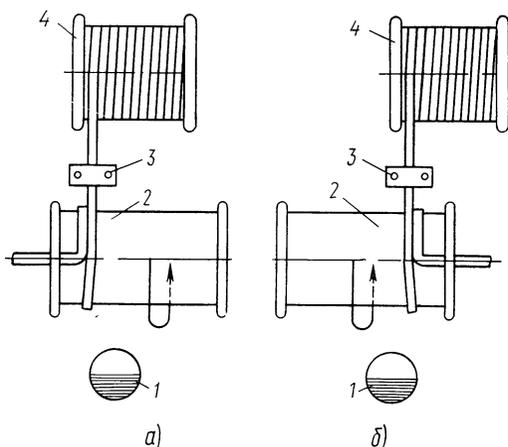


Рис. 9. Схема намотки цилиндрических слоевых катушек:

а — левая, *б* — правая; 1 — место рабочего-намотчика, 2 — шаблон, 3 — плашка для натяжения провода, 4 — барабан с проводом

Цилиндрическая слоевая обмотка. Эта обмотка является наиболее простой как по конструкции, так и по технологии ее изготовления.

Слоевые обмотки из прямоугольного провода наматывают на шаблонах (оправках). Такие обмотки чаще изготовляют двухслойными, что позволяет проще закреплять их выводные концы. Между слоями прокладывается изоляция из электрокартона или (в зависимости от условий охлаждения) устраивается канал для циркуляции масла. Рейки, образующие канал, изготовляют клееными из электрокартона.

По концам обмотки винтовая поверхность крайнего витка в каждом слое выравнивается либо полосами из электрокартона (клиновидной формы), либо кольцами, изготовленными из бумажно-бакелитового цилиндра. Двухслойная цилиндрическая обмотка показана на рис. 10, *а*.

Двухслойные цилиндрические обмотки применяют в качестве обмотки НН на напряжение до 690 В в трансформаторах мощностью до 750 кВ·А.

Многослойная цилиндрическая обмотка (рис. 10, б) наматывается на бумажно-бакелитовый цилиндр. В качестве междуслойной изоляции применяют кабельную бумагу толщиной 0,12 мм. Для обмоток ВН трансформаторов I и II габаритов толщина между-

дуслойной изоляции берется при напряжении 6 кВ — $2 \times 0,12$ мм и при напряжении 10 кВ — $3 \times 0,12$ мм. Крайние витки крепят при помощи бортиков. Бортик представляет собой полоску из электрокартона, наклеенную на более широкую полосу телефонной бумаги. Выступающая часть бумаги прижимается крайними витками, удерживая бортик от сползания. Для напряжения до 12 кВ ширина бортика берется 12 мм.

Для увеличения поверхности охлаждения внутри обмотки при помощи реек устраивают продольный канал (после на-

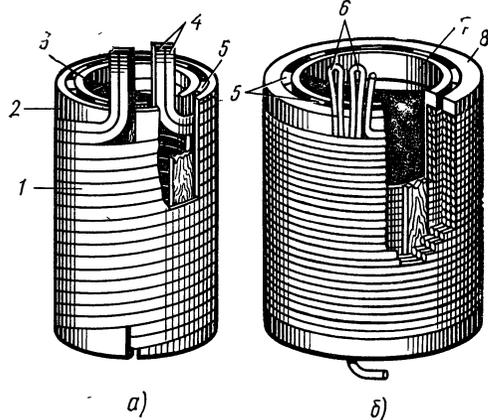


Рис. 10. Цилиндрическая слоевая обмотка:

а — двухслойная из прямоугольного провода, б — многослойная из круглого провода; 1 — обмоточный провод, 2 — выравнивающее разрезное кольцо, 3 — вывод конца обмотки, 4 — выводной конец первого слоя (начала) обмотки, 5 — рейки, 6 — регулировочные ответвления в виде петель провода, 7 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 8 — концевая изоляция в виде «бортика»

мотки примерно $\frac{1}{3}$ общего числа слоев).

Многослойные цилиндрические обмотки из круглого провода применяют в качестве обмоток ВН на напряжение 3—35 кВ в трансформаторах мощностью до 250—400 кВ·А.

Положительными качествами цилиндрической слоевой обмотки кроме простоты ее изготовления являются хорошие условия охлаждения (при наличии осевых каналов) и, что особенно важно при напряжениях 6 кВ и выше, практически равномерное распределение импульсных перенапряжений по слоям обмотки. Установка экранов делает слоевую обмотку практически нерезонирующей.

К недостаткам многослойной цилиндрической обмотки следует отнести большое напряжение между двумя слоями, требующее большой толщины междуслойной изоляции. Поэтому при высоких напряжениях приходится отказываться от таких обмоток и применять катушечные или непрерывные обмотки.

Винтовая обмотка. Винтовая обмотка является однослойной многопараллельной обмоткой, у которой в отличие от слоевой обмотки параллельные провода положены друг на друга в радиальном положении. В зависимости от расположения проводов обмотка бывает одно-, двух- или четырехходовой. Между витками проводов ставят прокладки из электрокартона для создания каналов. Винтовую обмотку наматывают на рейки из электрокар-

тона, укладываемые на бумажно-бакелитовый цилиндр или специальную оправку, благодаря чему по общей конструкции она сходна с непрерывной обмоткой.

В винтовой обмотке необходимо делать транспозицию, т. е. перекладку проводов в сечении витка. Это требуется для выравнивания сопротивлений каждого из параллельных проводов между собой. При отсутствии транспозиции провода, имея разную длину (из-за разных диаметров), имели бы и разные сопротивления, что привело бы к неравномерному распределению по ним тока и повышенному нагреву нижних по сечению витка проводов.

В одноходовой винтовой обмотке, у которой параллельные провода составляют одну группу, транспозиции делаются в трех местах, на расстоянии одной четверти витков одна от другой (что видно на рис. 11). В середине обмотки делается общая транспозиция, при которой расположение всех проводов меняется на обратное, а в двух других местах взаимно меняются своим расположением группы проводов, т. е. делают групповые транспозиции.

В двухходовой винтовой обмотке (с двумя группами проводов) выполняется равномерно распределенная транспозиция. В этом случае производится перемещение проводов из одной группы в другую через равные промежутки по всей длине обмотки. Число перемещений должно быть равно числу параллельных проводов.

Винтовая обмотка отличается большей механической прочностью в осевом направлении (допускает прессовку).

Дисковая обмотка. Дисковая обмотка состоит из дисковых катушек, соединенных между собой последовательно или параллельно. Дисковые катушки наматывают прямоугольным проводом и большей частью группируют в двойные катушки, исходя из удобства соединения их внутренних концов (переходов). Двойная дисковая катушка изображена на рис. 12.

Непрерывная обмотка. Дисковая обмотка при последовательном соединении катушек может быть намотана непрерывно, т. е. без обрыва провода при переходе от одной двойной катушки к другой. Такая обмотка получила название непрерывной. В такой обмотке половина катушек (чаще нечетные) — перекладные. Перекладную катушку сначала наматывают, как обычную дисковую

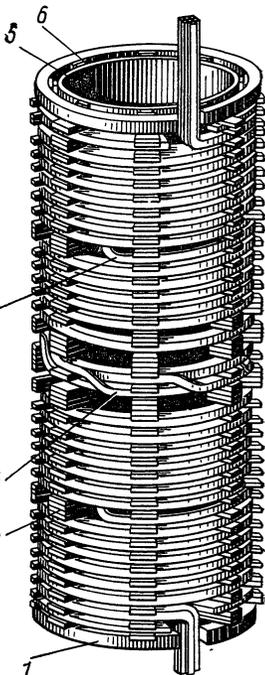


Рис. 11. Одноходовая винтовая обмотка с тремя транспозициями:

- 1 — концевая изоляция, 2 — междувитковые прокладки.
- 3 — общая транспозиция, 4 — групповая транспозиция, 5 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 6 — рейка

катушку, начиная от цилиндра, а затем, после ослабления натяжения провода, ее витки переключают в обратном порядке и провод снова натягивают. При этом конец катушки уже находится со стороны цилиндра и следующая катушка наматывается

обычной, т. е. непереключенной. Следующая катушка будет опять переключенной и т. д.

Непрерывную обмотку I—III и частично IV габаритов наматывают на рейки из электрокартона, накладываемые на бумажно-бакелитовый цилиндр, а обмотку большой мощности — на технологический (временный) стальной цилиндр (шаблон).

Между катушками ставят прокладки из электрокартона, создающие каналы для охлаждения обмотки.

Непрерывная обмотка может быть намотана несколькими параллельными проводами. В таких случаях для выравнивания сопротивления параллельных проводов при переходе (внутреннем и наружном) из катушки в катушку провода меняют местами, т. е. делают транспозицию, подобную общей транспозиции в винтовой обмотке. При выполнении транспозиции переключка каждого провода, как правило, занимает один промежуток между прокладками, и таким образом количество промежутков по окружности обмотки, занятых переходами, равно количеству параллельных проводов.

Ответвления для регулирования напряжения делают обычно от наружных витков (переходов) таким образом, чтобы число витков между соседними ответвлениями соответствовало одной ступени регулирования.

Для непрерывных обмоток трансформаторов I—II габаритов применяют преимущественно алюминиевый провод АПБ, для больших мощностей — медный провод ПБ. Непрерывные обмотки для напряжений до 35 кВ наматывают проводом с нормальной изоляцией толщиной 0,4—0,55 мм на две стороны. Для напряжения 110 кВ применяют провод с усиленной изоляцией — 1,2—1,35 мм. Кроме того, обмотки на напряжение 110 кВ для большей электрической прочности имеют по две концевые катушки, намотанные проводом с усиленной изоляцией 1,68—1,92 мм на две стороны.

Обмотки ВН (наружные) на напряжение 110 кВ и выше имеют также частичную емкостную защиту (от перенапряжений, воз-

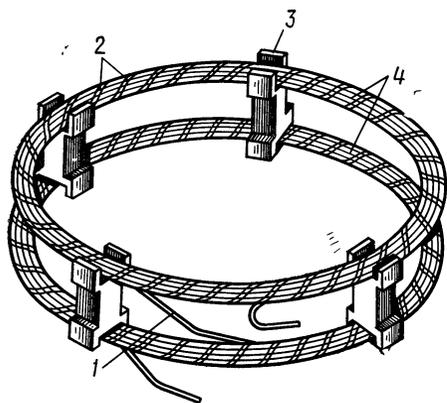


Рис. 12. Двойная дисковая катушка:

1 — место внутреннего соединения (перехода), 2 — бандаж из киперной ленты, 3 — временные подставки для наложения бандажа, 4 — одинарные катушки

никающих в линии электропередачи) в виде экранирующих витков и емкостных колец, выравнивающих электрическое поле во входных катушках обмотки. Экранирующие витки из провода с усиленной изоляцией накладываются непосредственно на входные катушки обмотки, а емкостные кольца устанавливаются отдельно по торцам обмотки. Емкостное кольцо представляет собой прессованное кольцо (шайбу) из электрокартона, обернутое металлической фольгой (с некоторым разрывом во избежание короткозамкнутого витка) и изолированное кабельной бумагой. Выводные концы от экранирующих витков и емкостного кольца спаиваются вместе и припаиваются к начальному витку обмотки.

Обмотки СН (внутренние) выполняют без экранирующих витков и снабжают только емкостными кольцами.

Непрерывные обмотки получили широкое применение в трансформаторах разных мощностей и напряжений.

Преимуществом этих обмоток является их большая стойкость к осевым усилиям, возникающим при коротких замыканиях. Непрерывная обмотка имеет верхнюю торцовую опорную поверхность и допускает подпрессовку в осевом направлении при ее ослаблении в процессе эксплуатации. Внешний вид непрерывной обмотки показан на рис. 13.

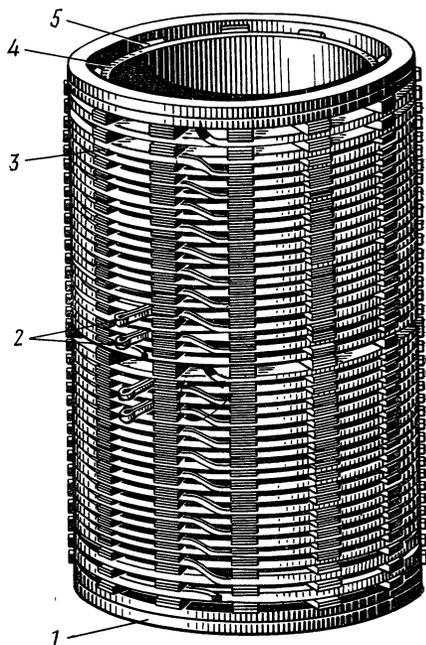


Рис. 13. Непрерывная обмотка:

1 — концевая изоляция, 2 — регулировочные ответвления в виде петель из провода, 3 — междукатушечные прокладки, 4 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 5 — рейка

§ 16. Переключающие устройства для регулирования напряжения

Регулирование по способу ПБВ осуществляется при помощи переключающих устройств. При прямой схеме регулирования (см. рис. 5, а) применяются переключатели ответвлений, одна из конструкций которых изображена на рис. 14. Три переключателя (по одному на фазу), расположенные на одной оси, приводятся в действие одновременно от общего ручного привода, находящегося на крышке бака. При оборотной схеме (см. рис. 5, б) применяются переключатели ответвлений: на три ступени (рис. 15) и реечный встроенный на пять ступеней. В комплект переключающего устройства РПН с токоограничивающим реактором входят сле-

дующие основные узлы: контактор, избиратель, реактор и приводной механизм. Избиратель и реактор помещают в бак трансформатора, контактор — в отдельный бак, чтобы иметь возможность осмотра контактов и замены масла, не сливая его из основного бака трансформатора. Приводной механизм устанавли-

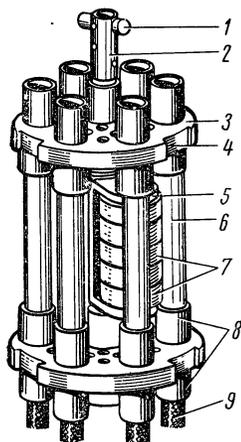


Рис. 14. Однофазный переключатель ответвлений:

1 — стальной штифт, 2 — стальная втулка, 3 — гетинаксовый диск, 4 — вырез в диске, 5 — коленчатый вал, 6 — контактный стержень, 7 — контактные кольца, 8 — бумажно-бакелитовая втулка, 9 — кабель

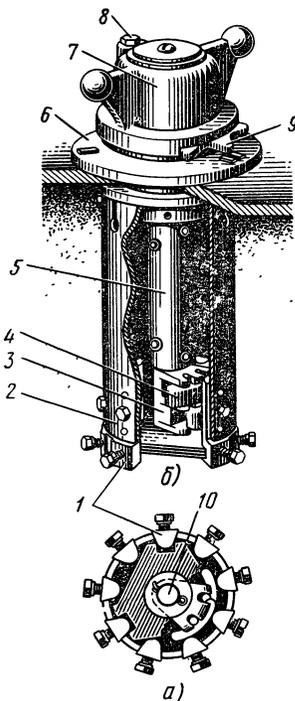


Рис. 15. Трехфазный переключатель ответвлений:

а — вид снизу, б — общий вид; 1 — неподвижные контакты, 2 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 3 — коленчатый вал, 4 — подвижные контакты в виде сегментов, 5 — приводной вал, 6 — фланец, 7 — колпак, 8 — стопорный болт, 9 — стрелка, 10 — ось

вают рядом с трансформатором. Переключающее устройство с координируемыми резисторами помещается в бак трансформатора.

§ 17. Отводы

Провода, соединяющие выводные концы и регулировочные ответвления обмоток с вводами и переключателями и составляющие электрическую схему трансформатора, называются *отводами*.

Отводы выполняют неизолированными или изолированными медными или алюминиевыми проводами круглого или прямоугольного сечения. Их обычно крепят при помощи деревянных планок, привернутых к пластинам или угольникам, приваренным к верхним ярмовым балкам остова. Пример выполнения отводов ВН трансформатора III габарита на 35 кВ показан на рис. 16.

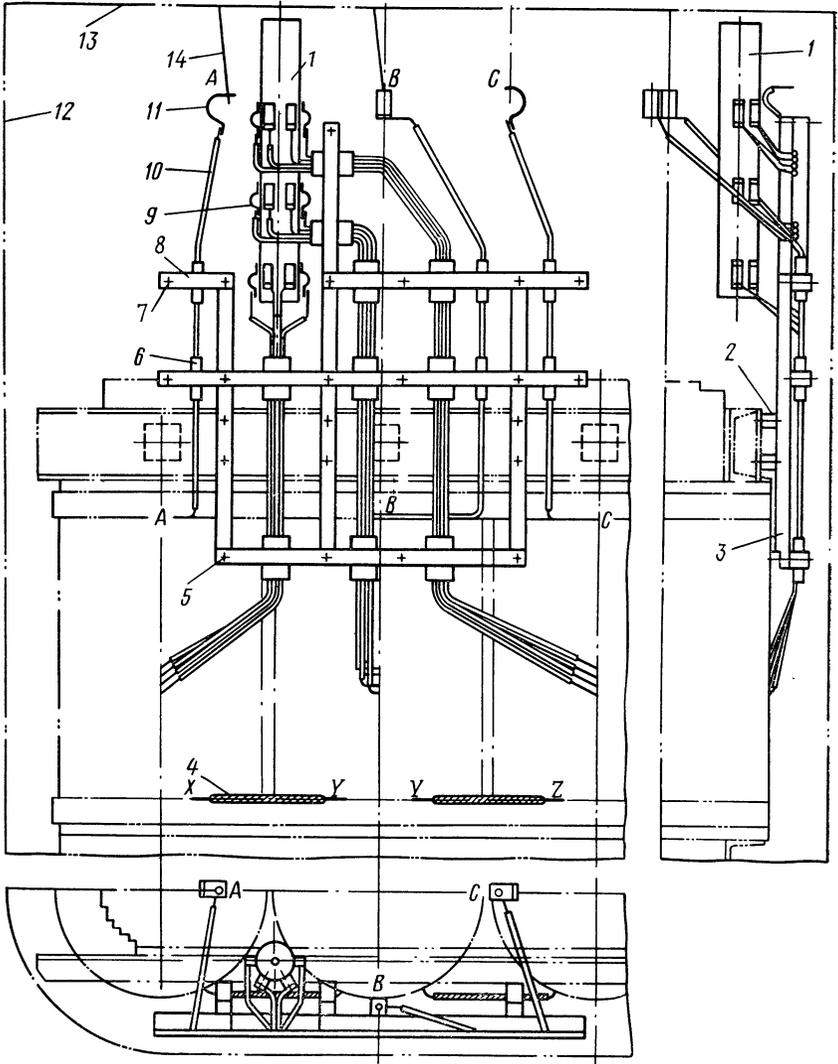


Рис. 16. Отводы ВН трансформатора III габарита на 35 кВ:

1 — встроенный переключатель, 2 — брусок, 3 — деревянная стойка; 4 — междофазное соединение, 5 — деревянная шпилька, 6 — изоляционная трубка, 7 — стальной болт, 8 — прижимные планки, 9 и 11 — компенсаторы (демпферы), 10 — провод, 12 — линия стенки бака, 13 — линия крышки, 14 — ось ввода ВН

Конструкция отводов и их крепление не должны допускать перемещения отводов и чрезмерного их изгиба от тряски и толчков при транспортировке трансформатора.

Соединение медных отводов производят электропайкой медно-фосфористым припоем, алюминиевых — электросваркой в среде аргона.

Присоединение отводов к нижним концам шпилек вводов выполняют при помощи гаек. К отводу предварительно припаивается гибкий компенсатор (демпфер), собранный из тонких медных полос толщиной 0,3 мм. Он необходим для компенсации допуска на длину отвода при установке активной части в бак и не допускает смещения или поломки отвода при транспортировке трансформатора.

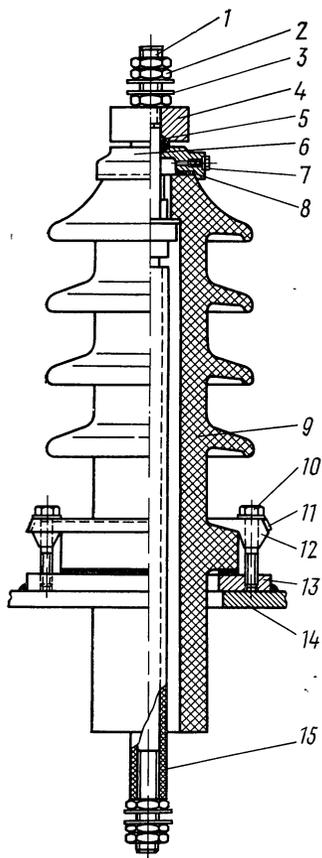


Рис. 17. Съемный ввод на 35 кВ 600 А:

1 — медная шпилька, 2 — латунная гайка, 3 — медная шайба, 4 — латунная втулка, 5 — резиновое кольцо, 6 — латунный колпак, 7 — винт для выпуска воздуха, 8 — резиновая шайба, 9 — фарфоровый изолятор, 10 — стальной болт, 11 — стальной штампованный фланец, 12 — алюминиевый прижимной кулачок, 13 — установочный фланец, приваренный к крышке, 14 — крышка бака, 15 — бумажно-бакелитовая трубка

§ 18. Вводы

Вводы служат для вывода концов обмоток наружу и присоединения масляных трансформаторов к внешней электрической сети. Вводы выполняют на различные классы напряжений. Они различаются по роду установки трансформатора — для внутренней (до 35 кВ) и наружной (свыше 35 кВ).

Ввод состоит из токоведущей части в виде металлического стержня, шины или кабеля, к которым присоединяются отводы, и фарфорового проходного изолятора цилиндрической формы, устанавливаемого в отверстие крышки или стенки бака и изолирующего токоведущую часть.

Фарфоровый изолятор для внутренней установки имеет гладкую поверхность, а для наружной — верхнюю (наружную) часть ребристую с целью увеличения пути поверхностного разряда в случае дождя.

Для силовых трансформаторов ранее применялись армированные фарфоровые вводы, у которых изолятор при помощи специальной замазки (магнезиальной массы) армировался в чугунный или (при больших токах) латунный фланец. Однако для удобства замены поврежденного фарфора ста-

ли применять составные и съемные вводы. В качестве примера на рис. 17 изображен съемный ввод на 35 кВ.

При больших токах (1000 А и более) создаваемое ими сильное магнитное поле может вызвать чрезмерный нагрев от вихревых токов вблизи отверстия в крышке для проходного изолятора. Во избежание этого диаметр отверстия делают возможно большим или все вводы от одной из обмоток (обычно НН) размещают в общей обойме, изготовленной из немагнитного материала (латунь, бронза и т. п.).

В трансформаторах, у которых ток обмотки НН достигает нескольких десятков тысяч ампер (например, для питания электропечей), применяют шинные вводы. Они состоят из медных шин, укрепленных в гетинаксовой доске, которая устанавливается в прямоугольном вырезе крышки. Так как шинные вводы расположены плоскими сторонами друг к другу, токи в них наилучшим образом компенсируются, не увеличивая намного реактивное падение напряжения в отводах. Вводы имеют обозначения, указанные на крышке бака (табл. 3).

Таблица 3. Обозначения вводов

Обмотка	Трансформатор	
	однофазный	трехфазный
ВН	$A-X$	$O-A-B-C$
СН	A_m-X_m	$O_m-A_m-B_m-C_m$
НН	$a-x$	$o-a-b-c$

§ 19. Бак. Охлаждающие устройства. Расширитель

Бак трансформатора с масляным охлаждением представляет собой резервуар с маслом, в котором находится активная часть трансформатора. Нагретое при работе трансформатора масло охлаждается через стенки бака и охлаждающие устройства.

Форма баков чаще всего выбирается овальной (рис. 18), так как эта форма ближе к форме активной части и при этом является наиболее простой и механически более прочной.

Баки изготавливают из листовой стали при помощи электросварки. В нижней части стенка бака приварена встык к дну. Сверху приварена рама из полосовой стали. В раме имеются отверстия для болтов крепления крышки. В верхней части бака, под рамой приварены четыре крюка 4 для

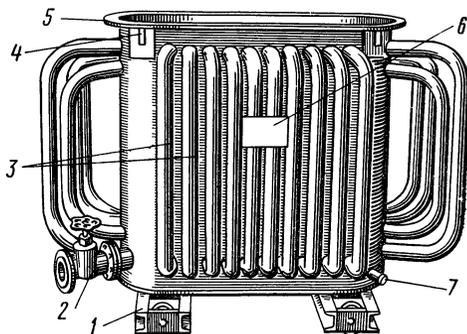


Рис. 18. Трубчатый бак трансформатора
II габарита:

1 — тележка для передвижения трансформатора, 2 — кран для спуска масла, 3 — стальные трубы, 4 — подъемный крюк, 5 — верхняя рама, 6 — пластина для крепления заводской таблички, 7 — пробка для взятия пробы масла

подъема бака, и всего трансформатора. Трансформаторы мощностью 160 кВ·А и более установлены на тележку 1 для возможности их передвижения. В нижней части бака приварены кран 2 для спуска масла и пробка 7 для взятия пробы масла. Внизу бака к его стенке приварена гайка для привертывания болта заземления, обозначенного стандартным знаком заземления красной или белой краской. К баку со стороны вводов НН приварена пластина 6 для крепления заводской таблички с техническими данными трансформатора.

Вместо труб, вваренных в стенку, применяют также трубчатые или пластинчатые охладители, присоединяемые к патрубкам на стенках бака. У трансформаторов мощностью 10 000 кВ·А и выше, как было сказано в § 10, применяют разного вида искусственное (форсированное) охлаждение.

Масляные трансформаторы имеют расширители, устанавливаемые над крышкой бака. Назначение расширителя двоякое, во-первых, необходимо компенсировать колебание уровня масла от изменения его температуры и, во-вторых, уменьшить поверхность соприкосновения нагретого масла с воздухом.

Общее изменение объема масла, учитывая колебания температуры окружающего воздуха и нагрев масла при полной нагрузке, составляет 8,7%. Исходя из этого, объем расширителя должен быть равен 11—12% объема масла в баке.

Конструктивно расширитель изготавливают в виде бака цилиндрической формы, установленного горизонтально над баком трансформатора и соединенного с ним трубой. Расширитель имеет указатель уровня масла с тремя отметками уровня, соответствующими температуре масла —45, +15 и +40°С в неработающем трансформаторе.

§ 20. Вспомогательные устройства

Силовой масляный трансформатор должен быть снабжен рядом вспомогательных устройств, обеспечивающих его нормальную эксплуатацию, предупреждающих возможные аварии и облегчающие его обслуживание.

Трансформаторы мощностью 1000 кВ·А и более, а также мощностью 400 и 630 кВ·А, устанавливаемые внутри помещений, должны иметь газовые реле. Эти реле встраивают в соединительную трубу между баком и расширителем. Они срабатывают при внутренних повреждениях в трансформаторе, сопровождающихся выделением газов, при утечке масла и при попадании воздуха в бак.

При резком повышении давления внутри бака во избежание его разрыва вблизи расширителя устанавливают выхлопную трубу с мембраной, которая разрывается при повышенном давлении, и через трубу выбрасываются избыточные массы газов и масла. Выхлопные трубы должны иметь трансформаторы мощностью 1000 кВ·А и более.

Трансформаторы с напряжением обмотки НН 690 В и ниже должны снабжаться пробивными предохранителями. Этот предохранитель представляет собой искровой промежуток, включенный между вводом НН и заземленным баком.

Для контроля температуры верхних слоев масла на трансформаторах мощностью до 630 кВ·А включительно устанавливают ртутные термометры, а на трансформаторах большей мощности — термометрические сигнализаторы, позволяющие видеть их показания сбоку трансформатора, а также работающие на сигнал и отключение.

На трансформаторах мощностью 160 кВ·А и выше устанавливают термосифонные фильтры, предназначенные для непрерывной автоматической регенерации и очистки масла. Это необходимо для удлинения срока службы масла, так как маслорасширитель не полностью защищает масло от старения вследствие его окисления. Фильтр состоит из стального цилиндра, заполненного адсорбентом (силикагелем) и присоединенного к стенке бака при помощи двух патрубков. Масло, совершая естественную циркуляцию, проходит через фильтр сверху вниз, продукты старения при этом поглощаются силикагелем.

§ 21. Особенности конструкции сухих трансформаторов

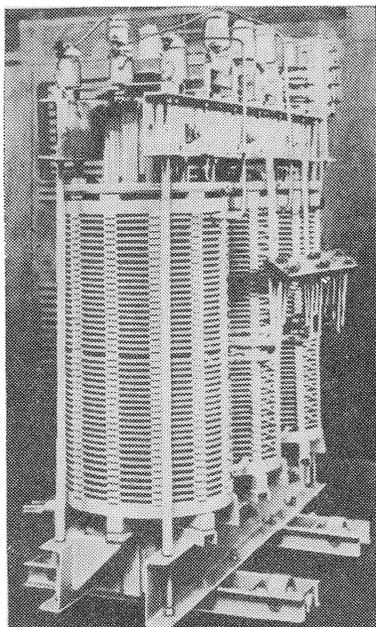
Сухие трансформаторы, т. е. трансформаторы с воздушным охлаждением, по конструкции менее сложны, чем масляные. Они изготавливаются либо открытыми, либо имеют лишь защитные кожуха вместо баков. Однако их применение ограничивается, с одной стороны, худшими условиями охлаждения и, с другой стороны, меньшей прочностью изоляции. Поэтому до недавнего времени сухие трансформаторы строились на низкое (до 690 В) напряжение обмотки ВН и при мощности, не превышающей 320 кВ·А.

В последнее время, в связи с внедрением различных видов теплостойкой изоляции, допускающей повышение температуры обмоток до 180° С, расширился предел применения воздушного (безмасляного) охлаждения. Стало возможным выполнение сухих трансформаторов мощностью до 2500 кВ·А и при напряжении до 15 кВ.

Конструктивное отличие активной части сухих трансформаторов от масляных заключается в обеспечении лучшего доступа воздуха для охлаждения магнитопровода и обмоток, для чего в магнитопроводе устанавливают дополнительные каналы, а у обмоток каналы делают более широкими.

Изоляционные детали для лучшей влагостойкости подвергаются специальной обработке, применяются гетинакс и текстолит влагостойких марок, стеклотекстолит, а также фарфоровые подкладки.

Выводные концы обмоток ВН обычно закрепляют на опорных изоляторах. Регулировочные ответвления выводят на доски зажимов. Отводы обмотки НН, выполняемые медными или алюминиевыми шинами, одновременно являются и вводами для присоединения к линии.



Сухие трансформаторы находят все большее применение, так как они почти не требуют ухода в эксплуатации и более доступны для осмотра. Они составляют основную часть комплектной трансформаторной подстанции (КТП), их возможно устанавливать внутри цехов, жилых зданий и в других местах, где установка масляных трансформаторов недопустима по условиям пожарной безопасности (рис. 19).

Рис. 19. Общий вид трехфазного сухого трансформатора II габарита со снятым кожухом

Контрольные вопросы

1. Из чего состоит обозначение типа трансформатора?
2. Каковы основные элементы трансформатора?
3. Как располагаются обмотки ВН и НН на магнитопроводе?
4. Как определяется направление намотки обмоток?
5. Каково назначение вводов и из чего они состоят?
6. Каковы преимущества съемных вводов?
7. Как выбирается форма баков?
8. Для чего нужен расширитель?
9. Какие вспомогательные устройства устанавливаются на баке и крышке трансформатора и каковы их назначения?

Глава третья

Материалы, применяемые при изготовлении и ремонте обмоток трансформаторов

При изготовлении и ремонте трансформаторов применяют специальные электротехнические материалы, обладающие особыми свойствами по отношению к электрическому и магнитному полям. Они делятся на проводниковые, электроизоляционные и вспомогательные.

Правильный выбор и применение материалов в значительной степени определяют качество и надежность отремонтированных трансформаторов.

§ 22. Проводниковые материалы

Проводниковые материалы обладают способностью хорошо проводить электрический ток, т. е. имеют высокую электропроводность.

При изготовлении и ремонте обмоток трансформаторов наибольшее применение находят медь и алюминий.

Медь обладает высокой электропроводностью, большой эластичностью, достаточной механической прочностью и стойкостью по отношению к коррозии. Электрическое сопротивление меди постоянному току при 20° С составляет 0,01724 Ом·мм²/м, плотность 8,9 г/см³, температура плавления 1083° С. Медь хорошо поддается механической обработке, а также ковке, сварке и пайке.

Алюминий по электропроводности несколько уступает меди. Электрическое сопротивление алюминия постоянному току при 20° С составляет 0,029 Ом·мм²/м, плотность 2,71 г/см³, температура плавления 658,7° С. Алюминий хорошо поддается обработке прокаткой, протяжкой и ковкой. Он устойчив к атмосферной коррозии.

Алюминиевые провода уступают медным по механической прочности и электрической проводимости. Технология изготовления и ремонта обмоток с использованием алюминиевых проводов значительно сложнее, чем медных.

Обмоточные провода выполняют с волокнистой, эмалевой и комбинированной изоляцией.

Волокнистыми электроизоляционными материалами являются: бумага (кабельная или телефонная); хлопчатобумажная пряжа, натуральный и искусственный (капрон, лавсан) шелк, асбестовые и стеклянные волокна (табл. 4).

Таблица 4. Провода с волокнистой изоляцией

Марка провода	Класс изоляции	Характеристика провода
ПБ	А	Медный, изолирован несколькими слоями кабельной или телефонной бумаги
АПБ	А	Алюминиевый, изоляция аналогична проводу ПБ
ПБД	А	Медный, изолирован двумя слоями хлопчатобумажной пряжи
ПСД	В	Медный, изолирован двумя слоями безщелочного стекловолокна, с подклейкой и пропиткой нагревостойким лаком
АПСД	В	Алюминиевый, изоляция аналогична проводу ПСД
ПСДК	Н	Медный, изолирован двумя слоями безщелочного стекловолокна, с подклейкой и пропиткой кремнийорганическим лаком

Основными материалами для эмалевой изоляции являются: эмаль на поливинилацеталевой основе (винифлекс), эмаль на лаке металвин, эмаль на основе полиэфиров трефталевой кислоты (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Круглые провода с эмалевой изоляцией

Марка провода	Класс изоляции	Характеристика провода
ПЭЛ	А	Медный, изолирован лаковой эмалью
ПЭВ-1	А	Медный, изолирован одним слоем эмали винифлекс
ПЭВ-2	А	То же, но изолирован двумя слоями эмали винифлекс
ПЭМ-1	А	Медный, изолирован эмалью из лака металвин
ПЦМ-2	А	То же, но изолирован усиленным слоем эмали
ПЭТВ	В	Медный, изолирован эмалью на основе полиэфиров трефталевой кислоты
ПЭВА-1	А	Алюминиевый, изоляция аналогична проводу ПЭВ-1
ПЭВА-2	А	То же, изоляция аналогична проводу ПЭВ-2

Марки применяемых круглых проводов с комбинированной изоляцией и указание их нагревостойкости приведены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6. Круглые провода с комбинированной изоляцией

Марка провода	Класс изоляции	Характеристика провода
ПЭЛШО	А	Медный, изолирован лаковой эмалью и одним слоем натурального шелка
ПЭЛЛО	А	То же, но изолирован одним слоем лавсана

§ 23. Электроизоляционные материалы

Основное назначение электроизоляционных материалов — надежно изолировать токоведущие части трансформатора друг от друга и от заземленных частей. Применяемые электроизоляционные материалы должны обладать определенными свойствами, наиболее важными из которых являются электрическая прочность, диэлектрические потери, диэлектрическая проницаемость, электропроводимость, гигроскопичность, механическая прочность и нагревостойкость.

Согласно ГОСТ 8865—70 все электроизоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, трансформаторах и аппаратах, разделяются по нагревостойкости на семь классов.

Большинство изоляционных материалов, используемых в трансформаторах, относятся к классу А, предельная длительно допустимая температура которого 105°С.

В качестве основной твердой изоляции при изготовлении и ремонте трансформаторов применяют волокнистые материалы орга-

нического и неорганического происхождения. К ним относятся картоны, бумаги, хлопчатобумажные и шелковые ткани, лакоткани, ленты, древесина, гетинакс, текстолит и т. д.

В качестве жидкой изоляции применяют трансформаторное масло и лаки.

Электроизоляционный картон для аппаратов с масляным заполнением вырабатывают из сульфатной целлюлозы. Листовой картон выпускают каландрированным, ролевый — машинной гладкости с ровными и чистыми обрезными кромками. Поверхность картона должна быть ровной, чистой, с выраженной маркировкой сетки, без сдиров поверхностного слоя и включений инородных материалов. Картон не должен расслаиваться при штамповке и резке на ножницах гильотинного типа.

Электроизоляционный картон ЭВ. Электроизоляционный картон ЭВ вырабатывается из сульфатной целлюлозы цвета натурального волокна. Применяется для работы в воздушной среде. Поверхность картона должна быть гладкой, чистой, без коробления, без сдиров элементарного слоя и вмятин, без видимых невооруженным глазом отверстий и без токопроводящих включений. Картон при штамповке и резке на ножницах гильотинного типа не должен расслаиваться.

Изоляционные бумаги изготовляют из сульфатной целлюлозы натурального цвета. Наибольшее применение получили кабельная, телефонная и крепированная бумаги, обладающие сравнительно высокими механическими качествами и воздухопроницаемостью, но малой нагревостойкостью.

Кабельная бумага применяется в качестве изоляции обмоточных проводов, между слоями обмоток, концов обмоток и отводов.

Телефонную бумагу применяют как дополнительную изоляцию между слоями обмоток, а также для изоляции обмоточных проводов.

Крепированная бумага обладает хорошей эластичностью и служит для изолирования концов обмоток и отводов.

Пропитка бумаг маслом, лаком значительно повышает их электрическую прочность и нагревостойкость.

Лакоткани — гибкий электроизоляционный материал, изготовленный из ткани, пропитанной лаком или составом, образующим на ее поверхности эластичную пленку, равномерную по толщине, прочно сцепленную с тканью.

В качестве основы применяют хлопчатобумажную и шелковую ткани (из натурального и искусственного шелка), а также стеклоткань из безцелочного волокна. Для пропитки служат масляные, масляно-битумные и специальные нагревостойкие лаки на основе модифицированных глифталевых смол, кремнийорганические лаки и др.

Вид и толщину ткани, а также вид пропитывающего лака или состава определяют электроизоляционные и механические свойства лакоткани, ее нагревостойкость, маслостойкость и влагостойкость.

Хлопчатобумажные и шелковые лакоткани по нагревостойкости относятся к классу А. Стеклоткани в зависимости от вида пропитывающего лака относятся к классам от А до Н.

Лакоткань должна иметь ровную гладкую поверхность без натеков лаковой основы, не должна иметь видимых пор, посторонних включений и повреждений.

Изолирование лакотканью производят лентами шириной 20—40 мм, нарезанными по диагонали (под углом 45°); такая резка дает максимальное удлинение ленты и обеспечивает выполнение плотной изолировки.

Хлопчатобумажная лента, применяемая при изготовлении и ремонте обмоток, вырабатывается из хлопчатобумажной пряжи. Она может иметь саржевое (киперная) и полотняное (тафтяная) переплетения. Ленту обычно применяют шириной 10—50 мм, толщиной 0,45 мм (киперную) и 0,25 мм (тафтяную) для механической защиты изоляции обмоток и отводов трансформаторов и как крепежный материал во время сборки активной части трансформатора.

Стекланная электроизоляционная лента ЛЭС вырабатывается из крученых стеклянных нитей малощелочного состава и имеет полотняное переплетение. Лента применяется толщиной 0,1—0,2 мм, шириной 20—25 мм для изолирования концов обмоток и отводов трансформаторов нагревостойкого исполнения.

Бук — дерево лиственной породы, обладает высокой механической прочностью и хорошо обрабатывается. Плотность бука 0,65—0,7 г/см³. Бук меньше всех других пород дерева повышает кислотность трансформаторного масла. Влажность поставляемого бука должна быть не более 22%, ее доводят до 10% сушкой в сушильных камерах.

Электрические свойства бука улучшают пропиткой буковых деталей в трансформаторном масле (для масляных трансформаторов), лаке МЛ-92 и БТ-987 или эмали ГФ-92 ГС (для сухих трансформаторов). В трансформаторостроении бук применяют в качестве конструкционного материала при монтаже обмоток и креплении отводов масляных трансформаторов.

Электротехнический листовой гетинакс — слоистый прессованный материал, состоящий из двух или более слоев бумаги, пропитанной термореактивной смолой.

Гетинакс отличается высокой механической и электрической прочностью; его плотность 1,28—1,45 г/см³. При механической обработке гетинакса не образуются трещины и сколы.

В трансформаторостроении применяют пять марок гетинакса (I—V) для изготовления изоляционных деталей, крепления обмоток трансформаторов, работающих в трансформаторном масле или на воздухе.

Электротехнический листовой текстолит — слоистый прессованный материал, состоящий из двух и более слоев хлопчатобумажной ткани или ткани из синтетического волокна,

пропитанной терморезактивной смолой. Допускает механическую обработку. Имеет бóльшую удельную ударную вязкость, чем гетинакс, поэтому его используют для изготовления изоляционных деталей, несущих механическую нагрузку. Плотность текстолита 1,3—1,45 г/см³. Применяют текстолит толщиной до 50 мм марок А и Б для изготовления изоляционных деталей крепления обмоток и отводов сухих трансформаторов.

Электрический листовой стеклотекстолит представляет собой слоистый прессованный материал, состоящий из двух или более слоев ткани из стеклянного волокна, пропитанной терморезактивной смолой. Стеклотекстолит всех марок допускает механическую обработку: обточку, фрезерование (распиловку) и сверление, без образования трещин и сколов. Применяется для изготовления изоляционных деталей крепления обмоток и отводов специальных сухих трансформаторов.

Изоляционные лаки и эмали в зависимости от назначения разделяются на пропиточные, покровные и клеящие.

Широкое применение при изготовлении и ремонте обмоток трансформаторов имеют следующие основные группы лаков и эмалей:

1. Масляно-битумные по нагревостойкости относятся к классу А. Пленка гибка, влагостойка, но не противостоит трансформаторному маслу.

2. Глифталевые и масляно-глифталевые по нагревостойкости относятся к классу В. Пленка масляно-глифталевых лаков гибка и эластична, стойка к нагретому трансформаторному маслу.

3. Кремнийорганические по нагревостойкости относятся к классу Н. Отличаются хорошими диэлектрическими качествами, высокой влаго-, химической и коррозийстойкостью.

Лак БТ-987 — электроизоляционный пропиточный масляно-битумный лак, черного цвета, печной сушки (при температуре 105° С в течение 6 ч). Пленка лака противостоит действию влаги. Лак применяют для пропитки обмоток сухих трансформаторов, а также в качестве покровного лака для изоляционных и деревянных деталей сухих трансформаторов. Электрическая прочность пленки лака при 20° С — 55 кВ/мм.

Лак МЛ-92 — электроизоляционный лак, представляет собой раствор смеси глифталевого лака и меламинаформальдегидной смолы К421-02 в органических растворителях. Лак печной сушки. После высыхания лак образует твердую глянцевую однородную пленку светлокоричневого цвета. Пленка лака обладает высокой маслостойкостью, длительно сохраняет свою эластичность в процессе теплового старения. Электрическая прочность пленки лака при 20° С — 65 кВ/мм. Лак МЛ-92 предназначен для пропитки изоляционных деталей и обмоток трансформаторов. Обмотки, пропитанные лаком, подвергают интенсивной горячей сушке при доступе воздуха в течение 8—10 ч при температуре 105° С, чем обеспечивается высокая механическая прочность пропитанных обмоток.

Эмаль ГФ-92 ГС серого цвета, горячей сушки. Представляет собой суспензию в глифталеовом лаке с добавлением сиккатива и растворителей.

Пленка эмали глянцевая, гладкая, без морщин; обладает маслостойкостью, водостойкостью, механической прочностью и защищает основную изоляцию от кратковременного воздействия электрической дуги и поверхностных разрядов. Электрическая прочность пленки 30 кВ/мм. Эмаль высыхает при температуре 105—110° С в течение 3 ч. Применяется для пропитки обмоток сухих трансформаторов, работающих в помещениях с повышенной влажностью.

Эмаль ГФ-92 ХС серого цвета, холодной сушки. Представляет собой суспензию пигментов в глифталеовом лаке с добавлением сиккатива и растворителей. Пленка эмали ГФ-92 ХС — глянцевая, гладкая, без морщин, обладает маслостойкостью, водостойкостью, механической прочностью, менее теплостойка, чем эмаль ГФ-92ГС, электрическая прочность пленки 30 кВ/мм. Эмаль высыхает при температуре 18—22° С в течение 24 ч.

Применяется для отделки обмоток сухих трансформаторов, работающих в помещениях с повышенной влажностью, покрытия деревянных деталей сухих трансформаторов и покрытия отводов и частей собранных трансформаторов.

Лак КО-916К — электроизоляционный кремнийорганический лак класса нагревостойкости *F* и *H*. Представляет собой раствор полиорганосилоксановой смолы, модифицированной полиэфиром. Лак предназначен для пропитки обмоток сухих трансформаторов кремнийорганического исполнения класса нагревостойкости *F* и *H*. Электрическая прочность лаковой пленки при температуре 15—35° С — 70 кВ/мм. Обмотки, пропитанные лаком, подвергают печной сушке при температуре 100—120° С в течение 4 ч и далее при температуре 180—200° С в течение 3 ч.

Эмаль КО-935 розового цвета, электроизоляционная покровная. Представляет собой красочные суспензии пигментов в различных кремнийорганических лаках. Пленка лака обладает высокой нагревостойкостью, маслостойкостью и повышенной твердостью. Электрическая прочность пленки при температуре 20° С — 40 кВ/мм.

Эмаль применяется для защитного покрытия обмоток и частей собранных трансформаторов нагревостойкого исполнения. Обмотки трансформаторов, покрытые эмалью, подвергают печной сушке при температуре 100—120° С — 4 ч и далее при температуре 180—200° С — 12 ч.

Бакелитовый лак ЛБС-1 представляет собой растворы фенолформальдегидных смол резольного типа в этиловом спирте. Раствор бакелитового лака прозрачный, от красноватого до красно-бурого цвета, не содержит взвешенных частиц. В производстве трансформаторов применяют для склейки электрокартонных деталей.

Клей из водорастворимой метилцеллюлозы. Для приготовления клея применяют водорастворимую метилцеллюлозу марок МЦВ

и МЦ 16. В 0,3—0,5 кг водорастворимой метилцеллюлозы заливают 4—5 л дистиллированной воды, нагретой до 50—80°С (для набухания и смачивания), и тщательно перемешивают. После выдержки в течение 15—30 мин доливают холодной дистиллированной водой до общего объема 10 л и тщательно перемешивают. Клей применяют для скрепления витков дисковых обмоток вместо пропитки лаком МЛ-92, а также склейки изоляционных деталей из картона и бумаги вместо бакелитового лака. Клей хранят в закрытой эмалированной посуде.

Трансформаторное масло — это жидкий электроизоляционный материал, получаемый путем ступенчатой перегонки нефти. Масло, заливаемое в бак масляного трансформатора, является одновременно электроизоляционным материалом и средой, отводящей тепло от нагретых частей трансформатора (обмоток, магнитопровода). Масло должно обладать высокой электрической прочностью, в нем не должно быть влаги и механических примесей; оно должно циркулировать от нагретых частей трансформатора к холодным, т. е. иметь малую вязкость, которая строго нормируется. Температура вспышки паров масла — не ниже +135°С; температура застывания масла — не выше —45°С; тангенс угла диэлектрических потерь при 20°С — не более 0,2%.

Трансформаторное масло, поступающее на завод, тщательно сушат в специальных установках и многократно фильтруют. Пробивное напряжение масла после сушки должно быть не менее 50 кВ при расстоянии 2,5 мм между двумя электродами в стандартном пробойнике.

§ 24. Вспомогательные материалы {припой и флюсы}

При изготовлении и ремонте обмоток трансформаторов для соединения между собой различных металлических частей и деталей применяют припой.

Припоями называют специальные сплавы, используемые для пайки, в присутствии которых нагревают соединяемые металлические части. Расплавленный припой заполняет пространство между металлическими частями, которые сами при этом не плавятся. Различают две группы припоев: мягкие и твердые.

Мягкий припой имеет температуру плавления не выше 255°С. В качестве мягких припоев используют оловянно-свинцовые припои.

Припой ПОССУ-30-0,5 — сплав, состоящий из 30% олова, 0,8% сурьмы, остальное — свинец. Его применяют для лужения медной ленты и других деталей.

Припой ПОС-40 — сплав, состоящий из 40% олова, 0,1% примесей (медь и сурьма), остальное — свинец. Применяют для пайки медных обмоточных проводов диаметром до 0,51 мм, для пайки емкостных колец и др.

В качестве твердых припоев используют серебряные и медно-фосфористые припои. Пайка этими припоями обеспечивает высокую механическую прочность и нагревостойкость соединений.

Припой МФ-1 — сплав, состоящий из 92,5% меди и 7,5% фосфора. Плавится при температуре 725—850° С, применяется при пайке медной ленты и отводов трансформаторов. При увеличении процента содержания фосфора повышается хрупкость и температура плавления припоя.

Припой ПСР-15 — сплав, состоящий из 80% меди, 15% серебра и 5% фосфора. Плавится при температуре 810° С. Отличается высоким качеством спаев и большой механической прочностью. Применяется для пайки медных обмоточных проводов при намотке обмоток.

Флюсами называют химические вещества, обладающие способностью защитить соединения от окисления в процессе пайки мягким припоем и повышения жидкотекучести припоя.

Канифоль представляет собой хрупкую стекловидную массу. Получают ее из смолы хвойных деревьев. Температура размягчения не менее 68° С. Растворяется в спирте.

Бура — белый кристаллический порошок, плавится при температуре 941° С. Используется в чистом виде или в смеси с борной кислотой.

Контрольные вопросы

1. Назовите проводниковые и электроизоляционные материалы, применяемые при изготовлении и ремонте обмоток трансформаторов.
2. Расскажите об основных свойствах электроизоляционных материалов.
3. На какие классы нагревостойкости разделяют электроизоляционные материалы, используемые в обмотках трансформаторов?
4. Перечислите марки электрокартона и расскажите, какие предъявляются к нему требования?
5. Какие лаки и эмали применяют для пропитки обмоток?
6. Какие припои применяют при изготовлении и ремонте обмоток?

Глава четвертая

Общие вопросы ремонта обмоток и изоляции

§ 25. Общие сведения

Обмотки и внутренняя изоляция являются основной и наиболее подверженной дефектам частью трансформаторов. От их качества в значительной степени зависят сроки эксплуатации трансформаторов. На состояние изоляции обмоток и деталей внутренней изоляции влияют в основном следующие факторы: качество изготовления обмоток, общие и местные перегревы, динамические воздействия, импульсные перенапряжения, количество, кратность и продолжительность перегрузок, величина увлажненности и кислотности масла.

Т а б л и ц а 7. Состояние изоляции обмоток

Класс состояния изоляции	Данные эксплуатации трансформатора	Механические свойства			Цвет изоляции провода	Заключение о состоянии изоляции
		электрокартона	хлопчатобумажной ленты	бумажной изоляции		
0	Новый или отремонтированный с заменой обмоток и изоляции	Не хрупкий, при изгибе до угла 180° (но без сдвигания места изгиба) не ломается и не дает трещин	Прочная, эластичная, при натяжке не рвется	Прочная, не хрупкая, эластичная, лаком, при царапании ногтем не разрушается; с провода снимается трудно; снятая с провода при изгибе до угла 180° не ломается	Светлый	Отличная, пригодная к эксплуатации
I	Работал несколько лет при нормальных условиях эксплуатации	Не хрупкий, при изгибе до угла 90° не ломается и не дает трещин; при изгибе до 180° не ломается, но дает мелкие трещины	То же	То же	То же	Хорошая, пригодная к дальнейшей эксплуатации
II	Работал длительно при нормальных условиях эксплуатации	Не хрупкий, при изгибе до угла 90° не ломается, но дает мелкие трещины, при изгибе до угла 180° ломается	→	Прочная, твердая, эластичная, покрытая лаком, при царапании ногтем не разрушается; с провода снимается легко; снятая с провода при изгибе не ломается	Потемневший	Удовлетворительная, пригодная к дальнейшей эксплуатации
III	Работал с частыми перегрузками в тяжелых несимметричных режимах или при нарушении правил эксплуатации	Хрупкий, при изгибе до угла 90° ломается	Ветхая, при натяжке распадается и рвется	Прочная, эластичная, покрытая лаком, при царапании ногтем не разрушается; с провода снимается трудно; снятая с провода, при изгибе не ломается, но дает мелкие трещины	То же	Удовлетворительная, требуется замена электрокартона и хлопчатобумажных лент
IV	Близок к концу срока службы или работал в недопустимо тяжелых условиях	То же	То же	Ветхая, при царапании ногтем разрушается; с провода снимается легко; снятая с провода, при изгибе ломается	Темный	Плохая, к дальнейшей эксплуатации непригодна

Со временем даже при благоприятных условиях эксплуатации характеристики всех видов внутренней изоляции трансформаторов ухудшаются — изоляция «стареет». При периодических ремонтах трансформаторов (ревизиях) одной из главных задач является выявление возможных дефектов и общего состояния изоляции, т. е. определение физико-механических свойств: эластичности, прочности, цвета и т. п. (табл. 7).

В тех случаях, когда состояние электроизоляционных материалов подпадает под определения IV класса, обмотки и изоляция подлежат замене.

Если состояние изоляции можно отнести к классу III, то возможность дальнейшей (кратковременной) эксплуатации трансформаторов определяется с учетом всестороннего рассмотрения (категории объекта питания, режима нагрузок, наличия резерва и других условий).

Обмотки, имеющие заметную остаточную деформацию отдельных витков или катушек, также подлежат замене или перемотке. Вопрос о частичной (ремонте) или полной перемотке обмоток решается при испытании и более тщательном обследовании.

Значительный объем работ по перемотке обмоток в настоящее время связан также с переводом распределительных трансформаторов, изготовленных по ГОСТ 401—41, на новые параметры, в частности на новые напряжения — с 6 и 31,5 кВ на 10,5 и 35 кВ соответственно.

§ 26. Виды повреждений и ремонтов

Наряду с перечисленными в предыдущем параграфе факторами существуют и другие причины, преждевременно приводящие к старению изоляции или даже к аварии. Их можно разделить на две группы — перегревы и пробои.

К перегревам приводят микротрещины в проволоке проводов, некачественная пайка, неплотная (рыхлая) изоляция концов обмоток, перекрытие каналов охлаждения, уменьшение технологических и конструкционных зазоров между изолированными токоведущими элементами и деталями изоляции и тому подобные причины.

Сами по себе перегревы не создают аварийных ситуаций, но они сокращают сроки эксплуатации и опасны последствиями, приводящими к замыканию, чаще всего витковому (около 40% всех аварий).

Другой вид повреждения изоляции — п р о б о и, немедленно приводящие к аварии и выходу трансформатора из строя.

Пробои между витками могут возникнуть из-за наличия заусенцев как на проволоке провода, так и на недостаточно хорошо оплеченных пайках, из-за дефектов изоляции и при импульсных перенапряжениях.

В зависимости от размеров повреждения обмоток и изоляции ремонты можно разбить на следующие категории:

полная перемотка обмоток с сохранением параметров (восстановление);

полная перемотка обмоток с изменением параметров (модернизация, реконструкция);

частичная перемотка обмоток с сохранением параметров;

ремонт обмоток с частичной заменой или перепайкой катушек в условиях специализированной мастерской;

то же, в условиях ремплощадки по месту ремонта трансформатора;

небольшой по объему ремонт обмоток с заменой нескольких витков или катушек наружных обмоток без разборки активной части трансформатора;

полная замена всей внутренней изоляции с сохранением конструкции (восстановление);

полная замена всей внутренней изоляции с изменением конструкции (реконструкция);

частичная замена изоляции;

ремонт деталей изоляции;

переизолировка отводов изоляции.

Рассмотрим некоторые характерные случаи повреждений и приемы их устранения по типам обмоток.

Двухслойные цилиндрические обмотки. 1. Замыкание в зоне вывода конца и развитие дефекта на несколько витков — ремонт заключается в частичной перемотке.

2. Замыкание в зоне перехода между слоями — полная перемотка.

3. Сброс витков в результате действия усилия короткого замыкания — после оценки общего состояния обмотки и витковой изоляции обмотку направляют в полную перемотку или для выполнения ремонта.

Многослойные цилиндрические обмотки. Частичной перемотке могут подлежать обмотки, имеющие повреждения в нескольких наружных слоях: в месте вывода конца или регулировочных отпаек. Остальные повреждения приводят практически к полной перемотке обмоток.

Дисковые и непрерывные обмотки. Обмотки подлежат ремонту с заменой дефектных катушек или витков при локальных витковых замыканиях без широких последствий, замыканиях между параллельными проводниками и в зоне вывода регулировочных отпаек и т. п.

В некоторых случаях возможно выполнение ремонта и при более значительных повреждениях. Например, витковое замыкание с выбросом проводов и развитием дефекта до четверти или трети обмотки, но если оставшаяся часть совершенно не пострадала и остался неповрежденным цилиндр. Такой ремонт выполняют, как исключение, в аварийных ситуациях эксплуатации и особой конструкции обмоток, при отсутствии достаточного количества проводов

соответствующего сечения или других обстоятельствах, не позволяющих выполнить полную перемотку.

Винтовые обмотки. Витковые замыкания в винтовых обмотках происходят довольно редко при больших очагах повреждения, так как условием виткового замыкания является перекрытие канала охлаждения (виток представляет собой катушку).

В обмотках этого типа характерным повреждением является замыкание между элементарными проводниками (параллелями) витка, преимущественно в местах вывода конца и переходов транспозиций. Этот дефект может развиться и захватить несколько витков. Для устранения подобных повреждений обмотки подлежат, как правило, полной перемотке.

К тяжелым последствиям приводят замыкания параллелей, в результате которых образуются контуры со значительным циркулирующим током, приводящим к недопустимому перегреву проводов с обугливанием (или сгоранием) изоляции. В большинстве подобных случаев требуется полная перемотка.

Винтовые обмотки с повреждением конца в результате пробоя на заземленные элементы трансформатора (нарушение изоляции, уменьшение изоляционного расстояния) подлежат ремонту с заменой обгоревших проводов.

Выгорание витков (параллелей) сопровождается расплавлением металла проводов. В ряде случаев медленных процессов на внутренних витках (параллелях) металл плавится спокойно и стекает на ниже расположенные катушки (витки) с небольшим разбрызгиванием. При таких повреждениях обмотки достаточно легко очищаются от частиц расплавленного металла и могут быть восстановлены без полной перемотки.

В авариях, связанных с пробоем или витковым замыканием в наружных витках, процессы протекают бурно, с активным разбрызгиванием расплавленного металла и разномом его по другим обмоткам потоками масла. Такие аварии чаще всего приводят к полной перемотке обмоток, так как очистить обмотки от мелких частиц практически невозможно.

При подготовке к ремонту обмоток заготавливают изоляционные детали и обмоточный провод в соответствии с исходными данными и технической документацией.

В некоторых случаях допускается замена на провод с близким или равным сечением при несопадающих ширине и толщине (диаметре), при условии вписывания домотанных катушек (витков или слоев) в существующие осевые и радиальные размеры обмоток.

Независимо от типа ремонтируемых обмоток на рабочем месте обмотчика должны находиться изоляционные текстильные ленты, ленты из телефонной и кабельной бумаги, электрокартонные полоски различных размеров и другие материалы, используемые при намотке обмоток.

Объем и условия выполнения ремонта определяются конкретными условиями, технической и экономической целесообразностью.

Технологический цикл перемотки и ремонта обмоток включает ряд основных операций: размотку обмоток, восстановление обмоточного провода, заготовку изоляционных деталей обмоток, намотку обмоток, обработку обмоток, контроль и измерение.

§ 27. Техническая документация

Снятие исходных данных. Объем снятия исходных данных определяется видом ремонта обмоток и изоляции. При снятии исходных данных с обмоток измеряют осевые размеры — высоту намотанной части «по меди» и установочную высоту, т. е. высоту с опорными кольцами, измеряют наружный и внутренний диаметры «по меди», радиальные размеры каналов охлаждения цилиндрических обмоток и канала между обмоткой и цилиндром или толщину опорных реек.

При снятии осевых размеров (осевое строение) подробно отмечают каналы между катушками дисковых и непрерывных обмоток и витками винтовых обмоток.

Размеры обмоточных проводов в изоляции и без нее определяют с помощью микрометра.

Витки в зависимости от конструкции обмотки подсчитывают без размотки, с размоткой или с уточнением при размотке. Витки одно- или двухслойных цилиндрических, винтовых и простых непрерывных обмоток НН подсчитать просто. Гораздо сложнее подсчитать количество витков непрерывных обмоток ВН, непрерывных обмоток НН с дробным числом витков в катушках, цилиндрических многослойных обмоток, намотанных круглым проводом, а также дисковых обмоток.

В тех случаях, когда имеется достаточная техническая документация, снимать полные исходные данные не требуется; при этом вне зависимости от типа ремонта рекомендуется проверить соответствие обмотки чертежу и расчетной записке.

При измерении диаметров (радиального строения) отмечают количество опорных реек и относительное расположение концов обмоток и регулировочных ответвлений.

Если будет производиться частичная перемотка или замена нескольких катушек (слоев), то следует руководствоваться исходными данными, даже при наличии полной технической документации, так как в отдельных частях (зонах) обмотки возможны отклонения от чертежа при совпадении с чертежом в целом.

При снятии исходных данных необходимо проводить несколько измерений с обязательной проверкой сходимости размерных цепочек или количества витков.

При снятии исходных данных с деталей изоляции особое внимание следует обращать на уравнительную и расклиновочную изоляцию. Довольно часто именно эти детали обладают индивидуальными, отличными от типового чертежа, размерами.

Ярмовая и опорная изоляция, цилиндры и другие детали при восстановительном ремонте эскизируются полностью. Если транс-

форматор подлежит модернизации, реконструкции или заменяются отдельные детали, то снимают только установочные и габаритные размеры.

Подготовка технической документации. Объем и содержание технической документации тесно связаны с типом производимого ремонта (восстановление, частичная перемотка, модернизация или реконструкция обмоток и изоляции).

При восстановлении трансформатора полностью идентичным пользуются или заводской документацией, или обработанными исходными данными; технический расчет выполнять в этом случае не обязательно.

Иногда задача восстановления усложняется, а именно предстоит изготовить обмотку на прежние параметры, но отличной конструкции. Например, вместо катушечной обмотки из круглого провода наматывают непрерывную из провода прямоугольного сечения. В этом случае необходимо выполнять технический расчет с обмоточными листами и чертежами обмоток.

При частичной перемотке или замене нескольких катушек подготавливают обмоточный лист и чертеж доработки обмотки.

При изготовлении обмоток на новые параметры выпускают расчетную записку, обмоточные листы или чертежи обмоток и чертежи изоляционных деталей.

§ 28. Технология паячных работ

В процессе намотки обмоток трансформаторов часто необходимо соединять обмоточные провода, а также отдельные части и элементы обмотки. Эти соединения должны быть прочными, обеспечивать надежный контакт и хорошо пропускать электрический ток (не вызывать местного перегрева проводов).

Применяют следующие типы соединений обмоточных проводов: пайка мягким припоем ПОС-40, пайка твердым припоем ПСР-15, пайка твердым припоем МФ-1; холодная стыковая сварка.

Пайка мягким припоем ПОС-40. Мягким припоем ПОС-40 производят пайку круглых медных проводов диаметром до 0,51 мм между собой, пайку этих проводов к проводам диаметром 0,64—1,2 мм, пайку выводов из гибкого многожильного провода (кабеля) сечением до 10 мм², а также медной ленты толщиной до 0,5 мм к проводам диаметром 0,64 мм.

Качество пайки в значительной степени зависит от подготовки спаиваемых поверхностей. Концы проводов очищают от изоляции наждачной бумагой № 5—16, скручивают на длине 10—20 мм, навивая 3—6 витков провода меньшего диаметра на провод большего диаметра. Скрутку (место пайки) обезжиривают в ванночке с 30%-ным спиртово-канифольным раствором и погружают на несколько секунд в ванночку с расплавленным оловянно-свинцовым припоем ПОС-40. После выемки снимают излишки припоя и зачищают место пайки. Пайку можно производить электрическим паяльником. Нагрев продолжают до тех пор, пока припой не расплавится на месте пайки.

Лучшему смачиванию припоем обмоточного провода способствует флюс, очищающий место пайки от грязи и жиров.

Пайка проводов оловянно-свинцовым припоем имеет существенные недостатки: низкую механическую прочность пайки, малую теплостойкость, большое электрическое сопротивление места пайки, требует применения флюсов, дорог и дефицитен. Поэтому пайка мягкими оловянистыми припоями имеет ограниченное применение и используется только там, где нельзя паять твердым припоем.

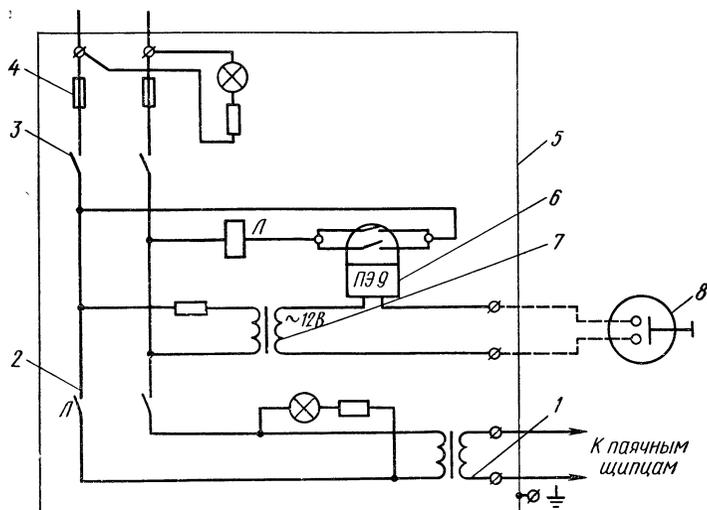


Рис. 20. Схема электропаячного аппарата:

1 — однофазный паячный трансформатор, 2 — контактор, 3 — разведнитель, 4 — предохранители, 5 — корпус, 6 — промреле, 7 — понижающий трансформатор, 8 — педальный выключатель

Пайка твердым припоем ПСР-15. Твердым припоем ПСР-15 производят пайку круглых обмоточных проводов диаметром более 0,51 мм и проводов прямоугольного сечения при намотке обмоток, а также внутренних недоступных осмотру паек.

Твердый припой обладает более высокой механической прочностью и хорошей электропроводностью.

Пайку круглых обмоточных проводов производят встык. Спаиваемые провода зачищают от изоляции, соединяют встык и плотно зажимают в тиски. Место спая нагревают в нейтральной части пламени газовой горелки до красного свечения меди. К месту спая подводят пластину припоя ПСР-15 и держат ее до тех пор, пока припой целиком не заполнит место спая. Нагрев прекращают и дают остыть в тисках пока припой не затвердеет. Соединение аккуратно зачищают или опиливают, не уменьшая сечения провода.

Пайку медных проводов прямоугольного сечения выполняют внахлест. Длина нахлеста должна быть не менее одной и не более двух ширин провода. Пайку производят на передвижном электро-

паячном аппарате, состоящем из однофазного трансформатора мощностью от 10 до 40 кВ·А, паячных щипцов и педального выключателя.

Электропаячный аппарат (рис. 20) работает от сети переменного тока 380 В.

Концы проводов, подлежащих пайке, сжимают угольными электродами паячных щипцов (рис. 21) до плотного контакта. Прерывистыми включениями трансформатора нагревают место пайки до красного свечения проводов и подают припой ПСР-15, который, расплавляясь и протекая между проводами, образует спай. Напльвы лишнего припоя удаляют в момент пайки.

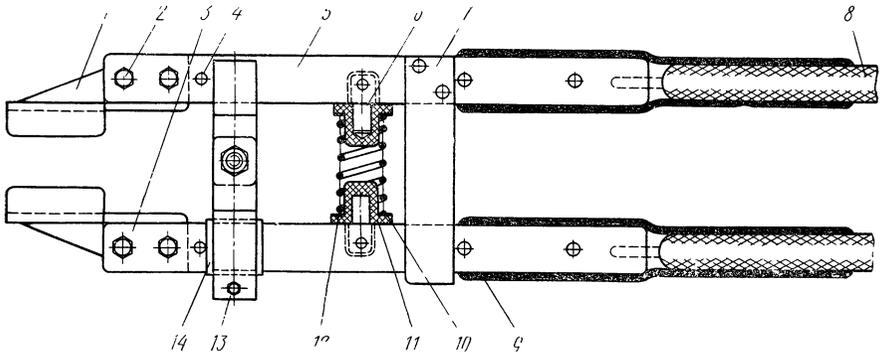


Рис. 21. Щипцы для электропайки:

1 — угледержатели, 2 и 13 — болты, 3 — нижний рычаг, 4 — медная заклепка, 5 — верхний рычаг, 6 — стальной палец, 7 — стеклотекстолитовая пластина, 8 — медный кабель, 9 — асбест, 10 — шайба, 11 — втулка, 12 — пружина, 14 — изолирующая прокладка

Закончив пайку, щипцы не снимают до тех пор, пока не затвердеет припой. Хорошо выполненная пайка имеет коричневатый цвет и поверхность без прожогов, кратеров и окалины. Место спая рихтуют и обрабатывают напильником и наждачной бумагой.

Пайка твердым припоем МФ-1. Пайку соединения обмоток и отводов производят медно-фосфористым припоем МФ-1 так же, как и припоем ПСР-15. Медно-фосфористый припой значительно дешевле серебряного, спаянные соединения обладают высокой прочностью и хорошей электропроводностью. Но соединения, пропаянные медно-фосфористым припоем, не обладают достаточной пластичностью из-за хрупкости.

Холодная стыковая сварка проводов. Для изготовления обмоток трансформаторов находят все большее применение алюминиевые провода круглого и прямоугольного сечений, а для изготовления отводов — алюминиевые прутки, провода и шины. Однако полная замена меди алюминием в отводах трансформаторов не всегда возможна. Алюминиевые отводы, присоединяемые непосредственно к обычным разъемным зажимам (соединение на болт под гайку), быстро окисляется, в результате чего контакт обгорает, выходит из строя и может вызвать аварию трансформатора. Для обеспечения надежности контакта отказываются от болтовых соединений

алюминий — алюминий или медь — алюминий и применяют в алюминиевых отводах только контакты медь — медь. Это делают путем приварки холодной стыковой сваркой к алюминиевым проводам медных переходников.

Холодной сваркой называют способ неразъемного соединения металлов, основанный на использовании диффузии и позволяющий осуществлять без нагрева соединение меди, алюминия и меди с алюминием. Она обеспечивает высокую механическую прочность соединения, низкое электрическое сопротивление места стыка и высокую коррозионную стойкость.

Концы проводов диаметром до 3,05 мм откусывают специальными кусачками, которые тщательно обезжиривают бензином Б-70 и ацетоном. На настольном сварочном станке СНС-3 изготовляют переходники для соединения алюминиевого провода сечением до 10 мм² с медным сечением до 6 мм². Во время намотки алюминиевой обмотки медные переходники приваривают к первому и последнему виткам обмотки ручными сварочными клещами КС-6.

Медно-алюминиевый переходник приваривают к концам алюминиевой обмотки за одну осадку, сжимая ручки клещей до упора. При этом формируется сварной стык и отсекается грат.

Медно-алюминиевые переходники сечением до 50 мм² изготовляют на пневматической сварочной машине МСХС-8 (рис. 22). Осадочное усилие через систему рычагов 6 передается на сварочную головку. Провода зажимают вручную при помощи эксцентриков 3. Для облегчения перемещения машину устанавливают на устойчивом передвижном столе. Провода отрезают на специальном приспособлении или ножницами, причем плоскость среза должна быть перпендикулярна оси провода и профиль сечения не должен искажаться. После этого конец провода обезжиривают промывкой в бензине или ацетоне. Концы медных и алюминиевых проводов перед сваркой зачищают драчевым напильником, предварительно промытым бензином или ацетоном, причем каждую сторону напильника применяют только для одного металла. На зачищенные торцы проводов не должны попадать грязь, влага, масло, поэтому их нельзя касаться даже чистыми руками.

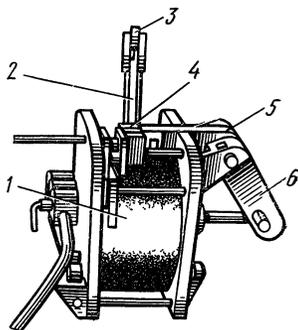


Рис. 22. Сварочная машина МСХС-8:

1 — цилиндр, 2 — замок, 3 — эксцентрик, 4 — плашка, 5 — стенка, 6 — рычаг

Контрольные вопросы

1. Какие причины приводят к повреждениям обмоток трансформаторов?
2. К каким последствиям приводит старение изоляции?
3. Какие классы состояния изоляционных материалов вам известны?
4. Какую роль играет снятие исходных данных при ремонте обмоток и деталей изоляции?

5. Какие характерные повреждения обмоток вам известны?
6. Каковы приемы пайки мягкими припоями?
7. Каковы приемы пайки твердыми припоями?
8. Расскажите о холодной стыковой сварке проводов.

Глава пятая

Изготовление и ремонт изоляций

§ 29. Оборудование изоляционного участка

Изоляционные изделия требуют большого количества полос, прокладок, шайб, коробочек и др., изготавливаемых на специальном оборудовании.

Важное условие изготовления — раскрой изоляционных деталей из сухого электрокартона. Следует учитывать, что электрокартон имеет усадку по ширине листа в пределах 1—1,5%, а по длине листа 0,7—1,2%, поэтому при изготовлении из листов электрокартона изоляционных деталей прямоугольной формы размечают их так, чтобы наибольшие размеры совпадали с длиной листа. Направление волокон отмечают мелом на листах электрокартона еще до заготовки из них деталей.

Многие изоляционные детали имеют толщину более 3 мм, их изготавливают из прессованного (клееного) электрокартона. Склеивание производят бакелитовым лаком, наносимым на поверхность склеиваемых заготовок. Подготовленные заготовки прессуют на гидравлическом прессе этажерочного типа при соответствующем давлении и температуре плит 135° С.

Электрокартон допускает механическую обработку: резку на ножницах, штамповку, гибку, а также сверление, фрезерование, резку пилами и шлифование. Рассмотрим основное оборудование изоляционного участка.

Гильотинные ножницы. Для раскроя листового электрокартона и резки пластин шириной до 30 мм (по упору) поперек направления волокон применяют гильотинные ножницы. Станина ножниц представляет собой сборную конструкцию из двух боковых стоек и горизонтального стола, к кромке которого крепится нижний неподвижный нож. По одной из двух пар направляющих, закрепленных на боковых стойках, перемещается подвижный нож (гильотина), по второй паре — прижимная траверса. Прижим листа происходит перед началом реза. Управление ножом осуществляется электродвигателем, укрепленным на одной из боковых стоек станины, через коленчатый вал и шатуны. Прижимная траверса приводится в движение с помощью кулачкового механизма, укрепленного на конце коленчатого вала. Ножницы включают ножной педалью через кулачковую муфту, имеющую тормоз для остановки гильотины в верхнем положении.

Дисковые ножницы. Резку листового электрокартона на полосы шириной свыше 30 мм производят на многодисковых нож-

ницах (рис. 23). На станине 1 закреплены валы 2 с подшипниками. Дисковые ножи 3 крепят на валах посредством шпонок и стопорных болтов. Зазор между ножами регулируют винтами 4. Листы электрокартона укладывают на столе.

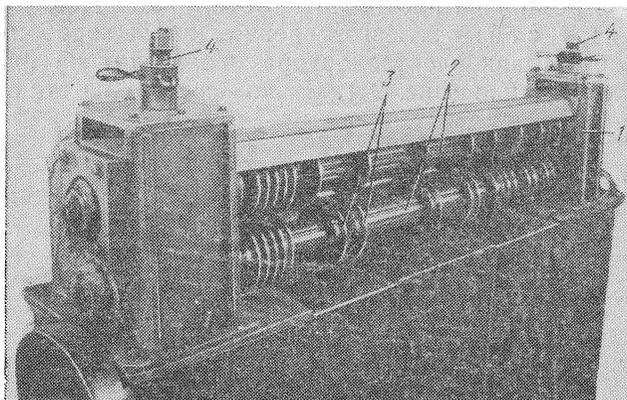


Рис. 23. Дисковые ножницы:

1 — станина, 2 — ножевые валы с подшипниками, 3 — дисковые ножи с крепящими болтами, 4 — винты для регулирования зазора

Круговые дисковые ножницы. Вырезку шайб и колец из листового электрокартона толщиной до 3 мм производят на круговых дисковых ножницах с одной парой ножей. На станине ножниц установлена подвижная каретка и электропривод вращения дисковых ножей. Движением подвижной каретки устанавливают наружный размер шайбы. Включают электропривод. Установив заготовку под прижимной центр, повертывают рукоятку пневматического цилиндра, прижимной центр опускается и закрепляет заготовку. Последующим движением рукоятки пневматического цилиндра опускается верхний дисковый нож и вырезает диск по наружному размеру шайбы. Внутренний контур шайбы вырезают аналогично.

Вибрационные ножницы. Вырезку листов и деталей фанной конфигурации из электрокартона выполняют на вибрационных ножницах по разметке. На станине установлен электропривод с редуктором. Эксцентриковый вал, вращаясь, заставляет пластину с закрепленным на ней подвижным ножом совершать возвратно-поступательные движения. Нож, перемещаясь относительно неподвижного ножа, режет электрокартон.

Бумагорезальная машина. Бумагорезальная машина предназначена для разрезания рулонов кабельной, телефонной и крепированной бумаги на рулоны различной ширины. В станине, представляющей две плоские плиты, смонтированы натяжные, подающие и выравнивающие валы и оси. Разрезаемый рулон бумаги устанавливают в центрах. Полотно бумаги пропускают между си-

стемой валов и закрепляют на разжимной оправке. Перед оправкой установлены два вала с закрепленными на них дисковыми ножами, которые при прохождении между ними бумаги режут ее на ленты заданной ширины. Разжимная оправка облегчает сьем нарезанной бумаги. Специальные механизмы обеспечивают постоянную скорость резания и плотность намотки рулончиков бумаги.

Гибочный станок. Изготовление гнутых коробок и других деталей из заготовок электрокартона производят на пневматическом гибочном станке (рис. 24). Станок состоит из станины 1, ги-

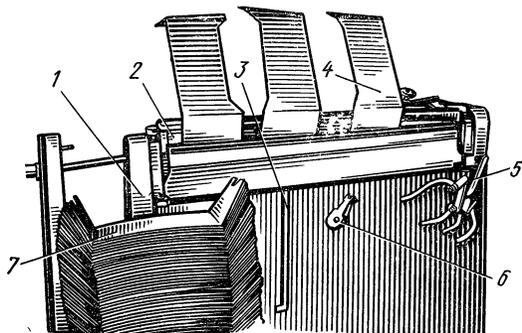


Рис. 24. Гибочный станок:

1 — станина, 2 — гибочный кронштейн, 3 — размерная линейка внутренних упоров, 4 — заготовка барьера, 5 — трехходовой пневматический кран, 6 — рукоятка установки внутренних упоров, 7 — детали после гибки

бочного кронштейна 2, размерной линейки внутренних упоров 3, трехходового пневматического крана 5, рукоятки установки внутренних упоров 6. Устройство внутренних упоров обеспечивает точную гибку изделий. Управление станком осуществляют одним трехходовым пневматическим краном 5. Место гибки изоляционных деталей за 30—40 мин до гибки увлажняют горячей водой.

Лакировальная машина. В лакировальной машине (рис. 25), которая состоит из ванны 6, трех приводных валов 3, 4 и 5, расположенных друг над другом, лакируют листы электрокартона шириной до 2000 мм и нарезанные заготовки фигурной изоляции или опорных колец.

В ванну 6 наливают бакелитовый лак; нижний вал 5 частично погружен в лак и при вращении передает ровный слой лака на средний вал 4, а через него и на верхний вал 3. Пропуская электрокартон между валами 3 и 4, производят его лакировку. Лакированные заготовки фигурной изоляции и шайбы в специальном приспособлении, а листы электрокартона на передвижной тележке проходят воздушную сушику не менее 2—3 ч до исчезновения отлипа.

Лакировальная машина оборудована вытяжной вентиляцией.

Гидравлический этажерочный пресс. Многие изоляционные детали имеют толщину более 3 мм. Их изготавливают из

заготовок электрокартона, склеенных бакелитовым лаком и спрессованных на гидравлическом прессе.

Прессование и запекание клееной изоляции производят на гидравлическом прессе этажерочного типа (рис. 26). Верхняя 2 и ниж-

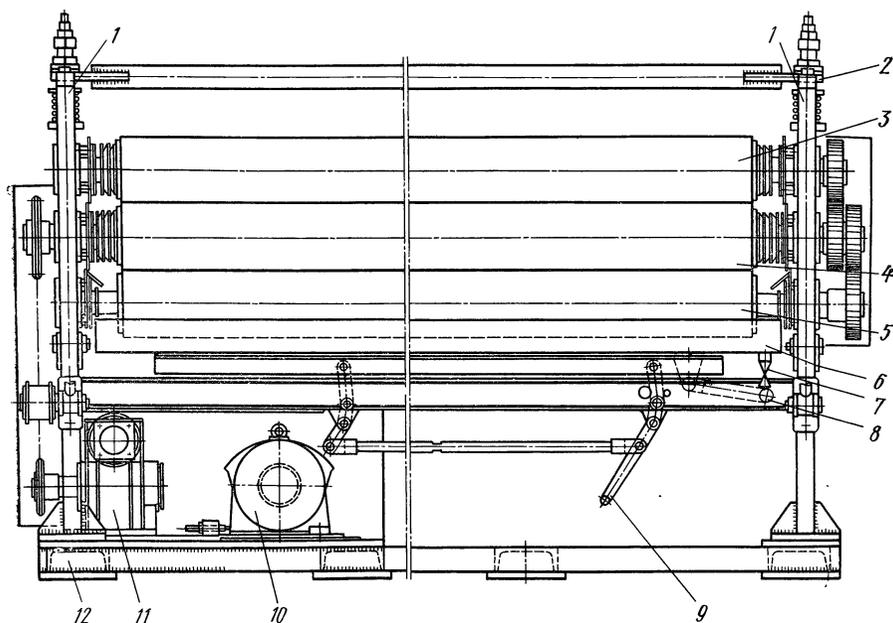


Рис. 25. Лакировальная машина:

1 — стойки, 2 — траверса, 3 — верхний вал, 4 — средний вал, 5 — нижний вал, 6 — ванна, 7 — кран, 8 — механизм подъема нижнего вала, 9 — механизм подъема и опускания ванны, 10 — электродвигатель, 11 — редуктор, 12 — сварная рама

няя траверсы стянуты четырьмя колоннами прессы 5. В нижнюю траверсу вмонтированы четыре рабочих гидроцилиндра, на плунжеры которых опирается нижний стол. Между столом и верхней траверсой расположены пять прессующих плит 1, обогреваемых паром по шарнирному паропроводу 4.

Детали (заготовки) одинаковой толщины с зазорами между ними укладывают равномерно по всей площади на плиты прессы, нагретые до температуры 135° . Сомкнув плиты прессы до соприкосновения с деталями (заготовками), включают насос и поднимают давление до заданной величины. Удельное давление на прессуемых деталях (заготовках) при полностью загруженных плитах должно быть не менее 400 Н (40 кгс/см^2). Время выдержки давления зависит от толщины уложенных деталей (заготовок) и может быть от 1 до 3 ч. При таком режиме бакелитовый лак хорошо проникает в наружные слои электрокартона и обеспечивает качественное склеивание отдельных заготовок или деталей. По истечении указанного времени снимают давление, разводят плиты и выгружают детали (заготовки).

Круглопильный станок. Резку заготовок и деталей из клееного электрокартона производят на круглопильном станке (рис. 27). Вал дисковой пилы не перемещается, а подача осуществляется продвижением заготовки. Вал шпинделя установлен в подшипниках под рабочим столом 4. В столе имеется прорез, через которую проходит часть диска пилы 2. Салазки 3 укреплены на столе и по ним передвигается плита 7 с закрепленным на ней кронштейном 1. На кронштейне установлен пневмоцилиндр 9, в который по гибким шлангам подается сжатый воздух. Шток 6 с нажимной пятой имеет прорез для прохода пилы 2. Отрезаемая заготовка кладется на стол по упору и зажимается пневматическим цилиндром. Для съема и установки заготовки плита 7 отводится из зоны резания

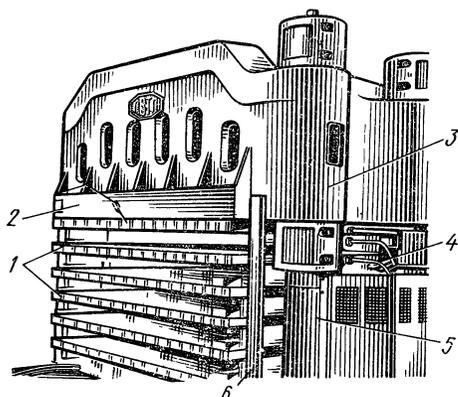


Рис. 26. Гидравлический этажерочный пресс: 1 — передвижные прессующие плиты с паровым обогревом, 2 — верхняя траверса, 3 — упоры для плит, 4 — паропровод, 5 — колонны пресса, 6 — стойка

рукояткой 8. Щиток 10 из оргстекла надежно защищает лицо рабочего.

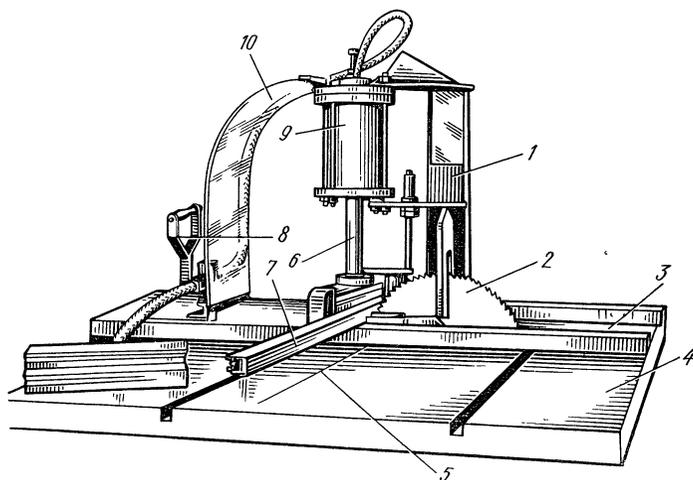


Рис. 27. Круглопильный станок:

1 — кронштейн, 2 — дисковая пила, 3 — направляющие салазки, 4 — рабочий стол, 5 — линейка с упором, 6 — прижимной шток с прорезью для пилы, 7 — подвижная плита, 8 — рукоятка перемещения приспособления, 9 — пневмоцилиндр, 10 — защитный щиток

Фрезерный станок. На специальном фрезерном станке производят обработку опорных электрокартонных колец по наружному и внутреннему контурам. Под столом станка расположена фрезерная головка, на шпинделе которой закрепляют фрезу. В столе имеется паз, в котором фреза может передвигаться в радиальном направлении относительно обрабатываемого опорного кольца. Два ведущих ролика вращаются с постоянной скоростью механизмом, расположенным также под столом. Пневматические цилиндры через прижимные ролики прижимают обрабатываемое кольцо ведущим роликом, чем обеспечивают круговую подачу. Фрезу подводят к обрабатываемому торцу кольца.

Ленточная пила. На ленточной пиле производят продольное, поперечное и фигурное распиливание электроизоляционных заготовок и деталей. Ленточная пила состоит из станины, ведущего и ведомого шкивов, пильной ленты, направляющего устройства и ограждения. Режущим инструментом является бесконечная гибкая зубчатая пила толщиной 1 мм и шириной 25 мм.

Ленточно-шлифовальный станок. Ленточно-шлифовальный станок (рис. 28) применяют для зачистки заусенцев на изоляционных деталях. Он состоит из приводного шкива 1, станины 2, стола станины 3, натяжного шкива 4, стеклянной шлифующей шкурки 5, соединенной в бесконечную ленту, надетую на шкивы 1 и 4. Верхняя ветвь ленты при вращении шкивов скользит по гладкой поверхности стола станины. Изоляционные детали прижимают острыми кромками к полотну стеклянной шлифующей шкурки и удаляют заусенцы.

Ленточно-шлифовальный станок оборудован эффективной вытяжной вентиляцией 6.

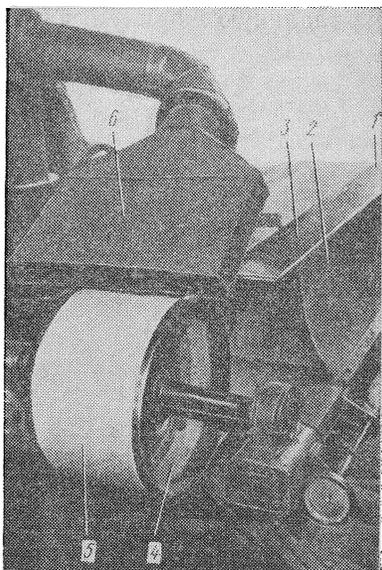


Рис. 28. Ленточно-шлифовальный станок:

1 — приводной шкив, 2 — станина, 3 — стол станины, 4 — натяжной шкив, 5 — стеклянная шкурка, 6 — вытяжная вентиляция

§ 30. Изготовление деталей изоляции

Изготовление концевой изоляции («бортика»). Концевую изоляцию («бортик») изготавливают в виде электрокартонной полосы, наклеенной на телефонную бумагу, на станке, изображенном на рис. 29. На барабан 1 устанавливают и закрепляют рулон телефонной бумаги заданной ширины. Конец телефонной бу-

маги через нижние направляющие ролики 7 заправляют в приемный барабан 3 и закрепляют приспособлением 4, одновременно устанавливают технологическую электрокартонную пластину 5.

В ванну 13 наливают клей из водорастворимой метилцеллюлозы. Алюминиевый ролик 12 частично погружен в клей и при вращении наносит ровный слой клея на ролик 9. Двигатель станка включают кнопкой 15, направляющую линейку 10 устанавливают на заданную ширину и через нее подают электрокартонные полосы

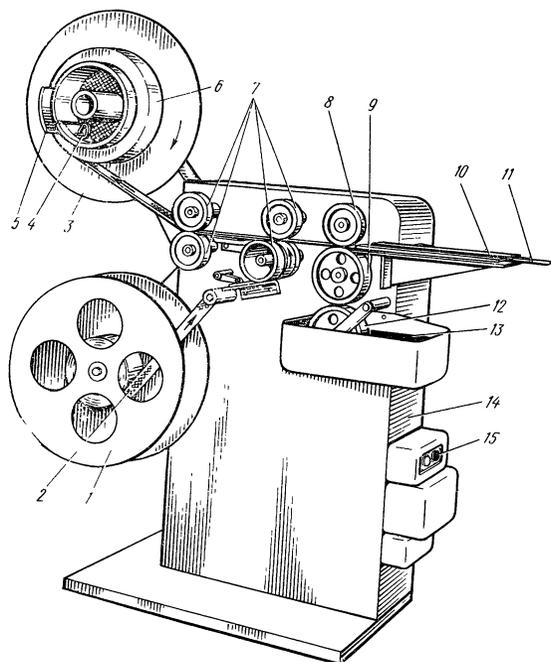


Рис. 29. Станок для изготовления концевой изоляции («бортика»):

1 — барабан для установки телефонной бумаги, 2 — рулон телефонной бумаги, 3 — приемный барабан, 4 — приспособление для закрепления бумаги, 5 — технологическая электрокартонная пластина, 6 — рулон готовой концевой изоляции, 7 — направляющие ролики, 8 — прижимной ролик, 9 — резиновый ролик, 10 — направляющая линейка, 11 — электрокартонная полоса, 12 — алюминиевый ролик для подачи клея, 13 — ванна с клеем, 14 — станина, 15 — кнопка включения

11, которые прижимным роликом 8 прижимаются к ролику 9 и покрываются с одной стороны клеем. Направляющие ролики 7 прижимают полосы и приклеивают их к телефонной бумаге и концевую изоляцию направляют к барабану 3. Концевую изоляцию наматывают в рулон диаметром до 400 мм, останавливают двигатель станка, конец изоляции приклеивают к рулону изоляции, вынимают технологическую пластину 5 и концевую изоляцию снимают с оправки барабана 3.

Изготовление электрокартонных коробочек. Электрокартонные коробочки П-образного сечения разных размеров для изолирования проводов в местах изгиба и транспозиции обмоточных проводов изготавливают (формуют) из электрокартона толщиной 0,5 мм на станке для формовки коробочек. Станок формует коробочки тринадцати размеров от 4 до 16 мм. Для изготовления коробочек нарезают заготовки длиной до 1 м и шириной по заданному размеру коробочки, включают электродвигатель, электрокартон подается в формующие валы. Полосы готовых коробочек режут пакетами на ленточной пиле по упору на заданную длину. При отсутствии станка в условиях ремонтной мастерской можно изготовить ручное приспособление для формовки коробочек.

Изготовление дистанцирующих прокладок. Дистанцирующую прокладку штампуют из заготовки твердого электрокартона на вырубных штампах.

Дистанцирующие прокладки, применяемые в небольших количествах или при ремонте обмоток трансформаторов, изготавливают на универсальных штампах. Ширину пуансона и матрицы универсального штампа выполняют в соответствии с нормализованной шириной прокладки. Регулирование длины прокладки производят изменением ширины полосы заготовки.

Большое количество дистанцирующих прокладок штампуют на однокривошипном прессе. При этом они автоматически нанизываются на стальную ленту, закрепляемую снизу каждого штампа (штамп-пакет); с ленты прокладки периодически снимают и набирают на электрокартонную рейку. Толщину отдельных прокладок подбирают так, чтобы соединенные вместе по нескольку штук они образовывали заданный размер канала между катушками обмотки.

Штамп-пакет предназначен для вырубки дистанцирующих прокладок обмоток и отличается от обычных вырубных штампов тем, что на одной опорной плите можно устанавливать практически весь парк сменных комплектов матриц со съемниками. Пуансоны устанавливаются посредством хвостовика. Смена матриц и съемников, закрепляемых зажимами, производится непосредственно на прессе на несколько минут. Применение штамп-пакетов позволяет облегчить складирование в условиях цеха (мастерской), снизить затраты на изготовление штампов, а также сэкономить на изготовлении опорных плит до 10 кг металла на один штамп.

Изготовление прессованных деталей изоляции, склеенных бакелитовым лаком. Изоляционные детали, имеющие толщину более 3 мм (рис. 30, а—г), изготавливают из прессованного электрокартона, склеенного бакелитовым лаком. Листы электрокартона, из которых будут нарезаться заготовки реек, прокладок или готовые заготовки опорных колец (шайбы), покрывают бакелитовым лаком на лакировальной машине. Слой бакелитового лака наносят на поверхность половины соединяемых заготовок. Нарезанные заготовки (пластины) собирают в пакеты заданной толщины рейки или прокладки плюс технологический припуск

на усадку в процессе дальнейшей технологической обработки. Сборку в пакет лакированных пластин чередуют с нелакированными; крайние пластины устанавливают нелакированными. Аналогично собирают и опорные кольца.

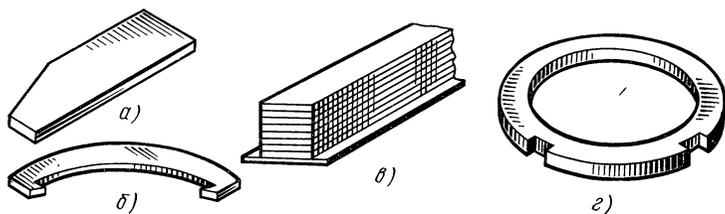


Рис. 30. Детали изоляции из прессованного (склеенного бакелитовым лаком) электрокартона:

а — прямоугольная со скосом, б — фигурная, в — рейка, г — опорное кольцо с пазами

Во избежание смещения отдельных пластин и шайб во время прессования, собранное кольцо и собранный пакет по всей длине увязывают лентой из крепированной бумаги в разгон. Прессование деталей (заготовок) производят на гидравлическом прессе этажерочного типа. После прессования с деталей снимают ленту из крепированной бумаги. Детали разрезают на заданные размеры на циркулярной пиле, опорные кольца обрабатывают на фрезерном станке. Напльвы лака и заусенцы удаляют на ленточно-шлифовальном станке.

Изготовление прессованных деталей изоляции, склеенных метилцеллюлозным клеем. В ремонтных мастерских не всегда имеется этажерочный гидропресс, на котором прессуют изоляционные детали, клеенные бакелитовым лаком. Электрокартонные рейки и прокладки можно изготовить с применением клея из водорастворимой метилцеллюлозы на специальном приспособлении, изображенном на рис. 31. Приспособление разбирают и устанавливают на рабочее место заготовщика изоляции, на котором будет производиться сборка деталей.

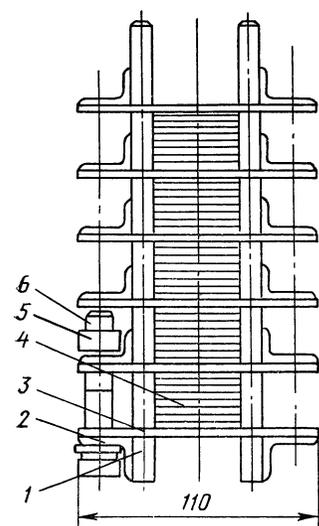


Рис. 31. Приспособление для прессовки реек, склеенных клеем из метилцеллюлозы:

1 — стальной палец, 2 — угольник, 3 — прижимная стальная планка, 4 — пакет электрокартонных реек, 5 — гайка, 6 — болт

Нарезанные заготовки электрокартонных реек или прокладок укладывают на рабочее место в пакеты заданной толщины, каждую

полосу заготовки предварительно промазывают кистью метилцеллюлозным клеем. Собранный пакет укладывают в приспособление, устанавливают прижимную планку 3 и затягивают при помощи угольника 2, болтов 6 и гаек 5. Аналогично собирают еще четыре пакета, чередуя их с укладкой прижимных планок и креплением (приспособление изготовлено для пяти пакетов реек или прокладок).

Собранные изоляционные детали проходят в приспособлении воздушную сушку в течение 24 ч. После этого изоляционные детали вынимают из приспособления и хранят в мешках, изготовленных из лакоткани.

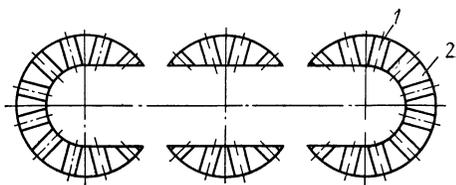


Рис. 32. Уравнительная изоляция трансформатора III габарита:

1 — прокладка, 2 — фасонная пластина

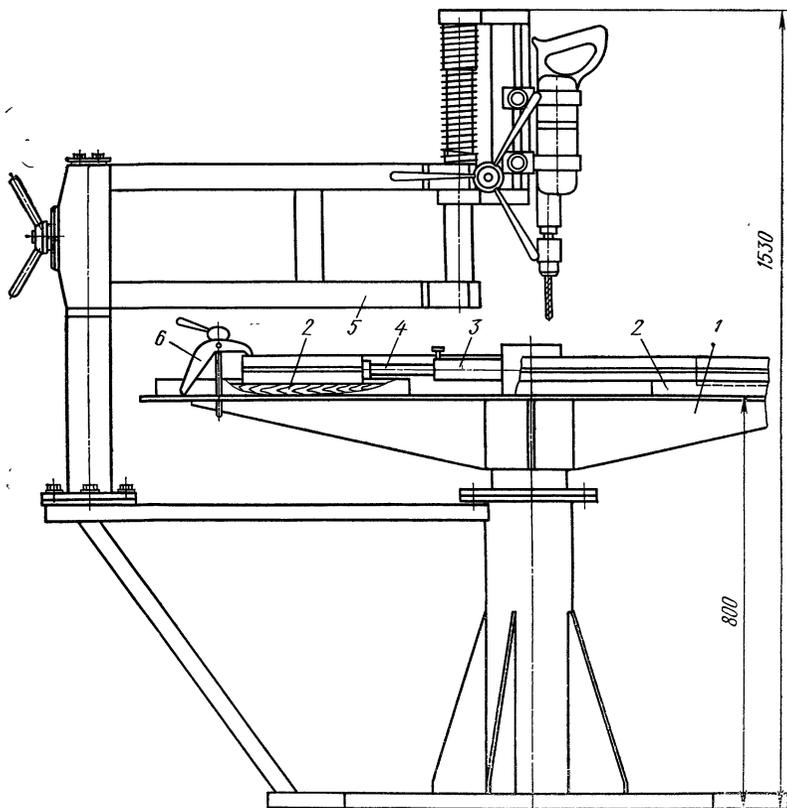


Рис. 33. Устройство для сборки изоляции:

1 — разметочный стол, 2 — гнезда с деревянными вкладышами, 3 — головка, 4 — выдвигной упор, 5 — кронштейн, 6 — зажим

Сборка ярмовой и уравнильной изоляции. Сборка ярмовой и уравнильной (рис. 32) изоляции из электрокартонных деталей заключается в том, что к шайбам ярмовой или уравнильной изоляции электрокартонными заклепками приклепывают прессованные прокладки. Шайбы, прокладки и заклепки подготавливают заранее по заданным чертежам и описанной выше технологии.

Сборку изоляции небольших габаритов производят в шаблонах, устанавливаемых на столе сверлильного станка, сборку изоляции больших габаритов производят на специальных приспособлениях с вращающимися столами. Одно из таких приспособлений представлено на рис. 33.

Разметочный стол 1 предназначен для размещения и установки 6, 8, 10, 12 и т. д. подкладок в гнездах 2, положение которых фиксируется штырями в отверстиях разметочного стола. Центровка шайб производится головкой 3 с выдвижными упорами 4, снабженными мерными линейками. Подкладки перед сверловкой закрепляют зажимом 6. Кронштейн 5 крепления электродрели и разметочный стол выполняются поворотными для обслуживания всей рабочей зоны стола.

Для клепки изоляции трансформаторов I и II габаритов напряжением 35 кВ включительно допускается применение деревянных заклепок. Для повышения качества собранную ярмовую изоляцию прессуют на гидропрессе и зачищают на ленточно-шлифовальном станке.

§ 31. Ремонт изоляции

В течение длительной эксплуатации поверхность изоляции загрязняется, электрокартонные и деревянные (буковые) детали со временем пропитываются кислотами, образующимися в результате окисления и разложения трансформаторного масла. К сожалению, простых и надежных способов устранения подобного рода дефектов не имеется.

При авариях с выгоранием витков поверхность изоляции, как правило, покрывается слоем копоти, которая отмывается с большим трудом или вовсе не отмывается.

Если электрокартон был сильно увлажнен до изготовления деталей изоляции или увлажнение происходило во время работы трансформатора, то свободные (не зажатые) элементы изоляции коробятся. Это приводит к изменению конструктивных и изоляционных промежутков и размеров. Дефектные детали подлежат замене.

В ряде случаев при ремонте ярмовой и уравнильной изоляции заменяют только шайбы. Подкладки после промывки в бензине и ацетоне (или нитрорастворителе) и чистки на шлифовочном станке или вручную шкуркой используют вновь.

Для разметки и обработки отверстий под заклепки в изоляции трансформаторов I и II габарита на предприятиях промышленного ремонта целесообразно применять кондукторы или шаблоны.

На предприятиях индивидуального ремонта (ремонт единичных трансформаторов с большой номенклатурой типов и габаритов) применяют универсальные станки (приспособления).

Конструкцию и размеры деталей изоляции при восстановительном ремонте, как правило, сохраняют. Изготавливают изоляцию по чертежам или эскизам, подготовленным на основе исходных данных, снятых при разборке активной части трансформатора или с образцов старых деталей. В ряде случаев при полной перемотке обмоток деревянные детали изоляции, например уравнильные бруски, заменяют на электрокартонные, при этом изменяют и конструкцию.

При модернизации (реконструкции) трансформаторов изоляцию изготавливают по индивидуальным или типовым чертежам, являющимся частью проекта модернизации.

Следует отметить, что иногда изоляцию полностью не изготавливают, а подготавливают заготовки, из которых на месте ремонта (когда ремонт трансформатора производят не на ремонтном предприятии) изготавливают отдельные детали по образцам для идентичной замены.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды механической обработки электрокартона.
2. Назовите технологическое оборудование, применяемое в производстве изоляции трансформаторов.
3. Расскажите о технологическом процессе прессования деталей, склеенных бакелитовым лаком на гидравлическом этажерочном прессе.
4. Каково назначение ленточно-шлифовального станка при изготовлении изоляции?
5. Какие вам известны особенности изготовления изоляционных прокладок на прорубных и универсальных штампах?
6. Каков технологический процесс изготовления и сборки ярмовой и уравнильной изоляции?
7. Какие вам известны преимущества и недостатки изготовления прессованных деталей изоляции, склеенных метилцеллюлозным клеем?
8. Какие вам известны неустраняемые дефекты изоляции?

Глава шестая

Перемотка обмоток

§ 32. Размотка обмоток

Типы обмоток и их габаритные размеры определяют приемы размотки.

Цилиндрические и катушечные обмотки диаметром до 400 мм разматывают в горизонтальном положении; катушечные обмотки диаметром более 400 мм (размер указан ориентировочно) удобнее разматывать в вертикальном положении.

Винтовые обмотки разматывают в горизонтальном положении. Этот тип обмоток наиболее трудоемок при размотке и требует или сложной оснастки, или достаточного количества людей, так как

число параллельных проводов обмоток (трансформаторов рассматриваемых мощностей) колеблется от 8 до 14. Простой и удобный способ состоит в том, что обмотку на раздвижном шаблоне устанавливают в намоточный станок, а на стойку перед станком — пустые барабаны для провода. У каждых двух барабанов становится один человек. Обмотчик снимает бандаж крепления крайних витков и начинает разматывать обмотку, переключив вращение

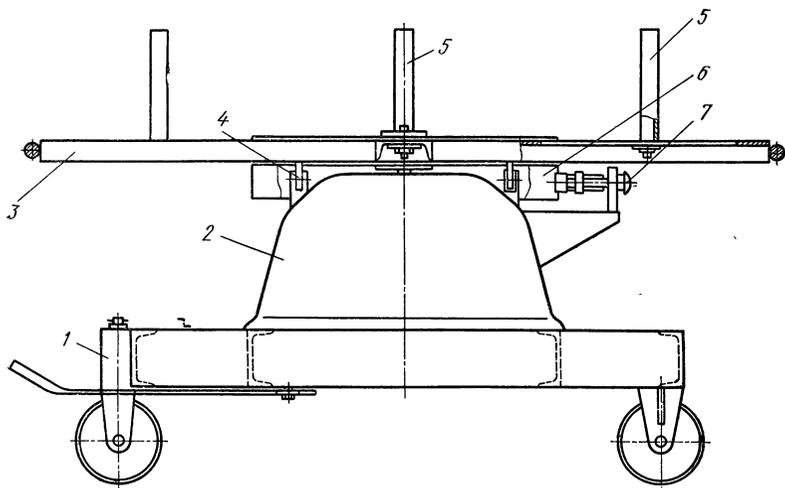


Рис. 34. Устройство для разматки обмоток:

1 — тележка, 2 — корпус, 3 — вращающаяся рама, 4 — опорные подшипники, 5 — прижим для крепления обмотки по внутреннему диаметру, 6 — тормозной барабан, 7 — колодочный тормоз

шпинделя в нужном направлении. Первые витки оттягивают до стойки, распускают и распределяют провода по барабанам в определенном порядке так, чтобы после транспозиции провода не перепутались и отпала необходимость перестановки барабанов. Обмотчик распускает обмотку, а стоящие у барабанов сматывают провода.

Аналогичным способом разматывают и другие обмотки, намотанные в два и более параллельных провода.

При разматке непрерывных обмоток, намотанных в два, три или четыре параллельных провода, можно применить механизированные стойки с электроприводом вращения барабанов.

С большим числом параллельных проводов обмотки встречаются относительно редко, и такая работа в практике ремонтных предприятий разовая.

Непрерывные обмотки, намотанные в один провод, удобнее разматывать в вертикальном положении. Размотку можно производить с помощью любого станка с приемным устройством для укладки провода: непосредственно на барабан, в бухту, через механическое очистное устройство в бухту, через электротермическое устройство в бухту и т. д. Обмотку разделяют на несколько частей

по высоте, отделенную часть устанавливают на раму 3 устройства для размотки (рис. 34), укрепляют прижимами 5 и регулируют тормозом 7.

Прием смотки зависит от принятой на предприятии технологии.

Размер бухты по количеству слоев смотанного провода (провода) * зависит от мощности и типа печи (камеры) отжига. Обычно наматывают бухты не более 50—60 кг.

При размотке слоевых цилиндрических обмоток необходимо осторожно обращаться с опорными кольцами, так как они могут быть использованы при намотке или при снятии подробных исходных данных (эскизов).

Выполняя размотку обмотки при отсутствии заводской технической документации, подсчитывают витки в катушках или слоях, эскизируют особенности выполнения регулировочных ответвлений, разгонки катушек или слоев и другие особенности конструкции.

§ 33. Восстановление обмоточного провода

Чистка и отжиг старого обмоточного провода. Чистка провода состоит в снятии старой витковой изоляции. Провода обмоток, бывших в эксплуатации менее 10 лет, чистить механическим способом трудно. Провода непропитанных обмоток и пропитанных, но выработавших расчетный ресурс времени (20 лет и более), механическим способом очищаются достаточно легко и производительно. Один из станков механической очистки старой изоляции схематически изображен на рис. 35.

Станок состоит из сборно-сварной станины 1, на которой установлены рихтующее устройство 2, узел резки изоляции 3, узел очистки изоляции 4, привод 5 с тянущим барабаном 6 приемного устройства 8 с механическим укладчиком 7. Для волочения проволоки на станину устанавливают фильеродержатель 9 с автоматическим подпором густой смазки ЦИАТИМ-20, а на барабан 6 привода — коническую планшайбу; уклон подбирается таким образом, чтобы происходил постоянный сдвиг проволоки по образующей конуса.

Изоляцию провода на длине, необходимой для заправки в станок, снимают вручную. Провод, проходя последовательно устройства и узлы станка, рихтуется, очищается от изоляции и наматывается на барабан приемного устройства. Изоляция разрезается дисковыми ножами и счищается (удаляется) цилиндрическими вращающимися скребками, совершающими возвратно-поступательное движение вдоль оси вращения. Удаленная изоляция собирается в бункере, размещенном под узлом чистки провода. После чистки и волочения провод отжигают.

* В кабельном производстве токоведущую жилу провода называют проволокой (неизолированный провод), изолированную проволоку — проводом. В обмоточном производстве и изолированную и неизолированную проволоку называют проводом.

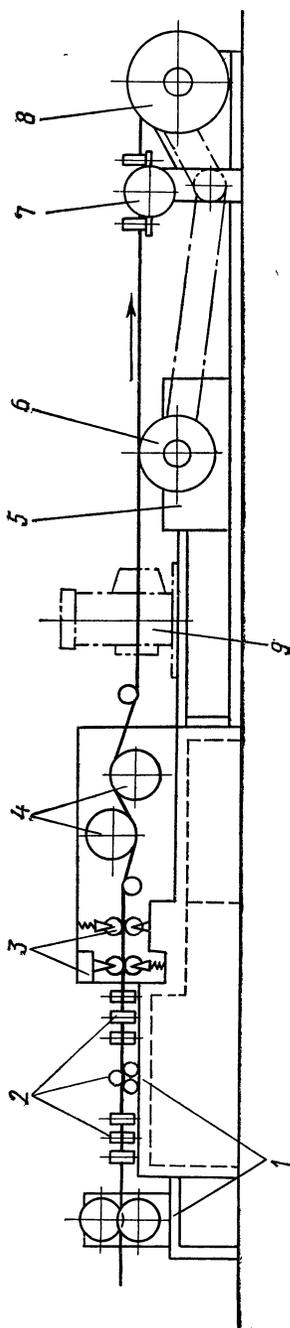


Рис. 35. Схема станка чистки и волочения провода.

1 — станна, 2 — устройство рихтовки провода, 3 — узел резки изоляции, 4 — узел очистки изоляции, 5 — привод, 6 — тянущий барабан, 7 — водоукладчик со ступенчатой подачей каретки, 8 — приемное устройство, 9 — фильеродержатель

Медь при неоднократных механических воздействиях (в данном случае незначительных изгибах при размотке и смотке) нагартовывается, поверхностные слои проволоки становятся более твердыми и хрупкими. Если нагартованную проволоку не отжечь, т. е. не снять внутренние напряжения в металле, то могут появиться микротрещины, которые не всегда можно своевременно выявить. С нагартованным жестким проводом тяжело работать.

На некоторых ремонтных предприятиях применяют устройства, позволяющие совмещать процессы чистки провода и отжига проволоки. В этих устройствах чистка изоляции заменяется ее обжигом.

Устройство представляет собой шахтную двухъярусную камеру, схема которой изображена на рис. 36.

Неочищенный провод, смотанный в бухту, помещают на оправке в верхнюю камерную печь отжига 5 с герметизирующей заслонкой 3 (герметизация необходима для предотвращения активного окисления меди проволоки, нагретой до температуры 600—650° С). Оправки 4 изготовляют для избежания деформации из нержавеющей стали. Продукты сгорания изоляции (бумаги, лака и остатков масла) через водяной затвор 9 выпускают в атмосферу. Обжиг изоляции и отжиг проволоки длится 30—40 мин.

Отожженную бухту проволоки опускают в бак с водой 2 для отпуска меди и очистки проволоки от шлама. Для более интенсивной очистки в баке размещают ультразвуковые вибраторы, в частности магнитострикционные*. Качество очистки проволоки можно повысить применением слабого (до 5%) раствора азотной кислоты, при этом обязательная последующая промывка в горячей воде.

* Магнитострикция — свойство магнитомягких материалов изменять объем под воздействием магнитного поля.

Кроме описанных приемов очистки старой изоляции имеются и другие, но менее распространенные, например обжиг изоляции протяжкой провода через раскаленную трубу. Скорость движения проволоки, длину и температуру нагрева трубы подбирают так, чтобы за время прохождения изоляция успела сгореть. Этот способ имеет недостаток, связанный с «вытягиванием» проволоки, т. е. уменьшением сечения, так как протягивается раскаленная проволока.

Отжиг проволоки производят также в обычной камерной печи с электронагревом. Это наиболее простой прием, но за время перемещения до бака с водой отожженной бухты, нагретой до $600\text{--}650^\circ\text{C}$, поверхность проволоки успевает окислиться. При двух- и трехкратном отжиге происходит заметная потеря сечения (до 5% и более).

Волочение проволоки. Волочение — процесс, связанный с пластической деформацией металла проволоки. Чем больше разница между исходным профилем проволоки и размерами окна фильеры, тем большее усилие требуется для протяжки. Это усилие не должно превышать допустимого, при котором не возникает пластических деформаций от растяжения, приводящих к потере сечения.

В практике выработано правило: для нормальных условий волочения размеры исходного профиля проволоки не должны превышать размеров глазка фильеры более чем по одной ступени ширины и толщины прямоугольного сечения или двух ступеней круглого сечения таблицы обмоточных проводов по ГОСТ 16512—72. С увеличением перепадов размеров происходит вытягивание проволоки или обрыв.

Исходя из указанного правила, можно различить два режима волочения. При чистой (калибровочной) протяжке проволоки перепад более двух ступеней не допускается. При грубой (обдирочной) протяжке допускается перепад более двух ступеней.

Кроме того, по характеру протекания пластической деформации выдвигаются ограничения при волочении проволоки прямоугольного сечения: от исходного профиля не рекомендуется производить более одного цикла волочения по ширине проволоки, так как при

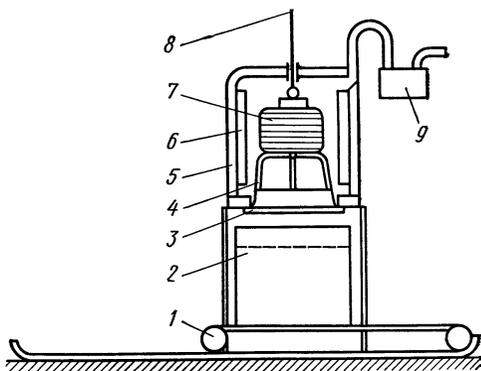


Рис. 36. Схема устройства обжига изоляции и отжига проволоки:

1 — тележка, 2 — бак с водой, 3 — герметизирующая заслонка, 4 — оправка, 5 — печь отжига, 6 — нагреватель, 7 — бухта (проволоки) провода, 8 — подъемное устройство, 9 — гидрозатвор

этом будут возникать микротрещины, образовываться заусенцы, контур сечения становится вогнутым. По толщине допускается многократная протяжка, при этом сечение будет полным.

Качество волочения во многом зависит от смазки и подачи ее в фильеру. При избыточной подаче уменьшается трение, проволока

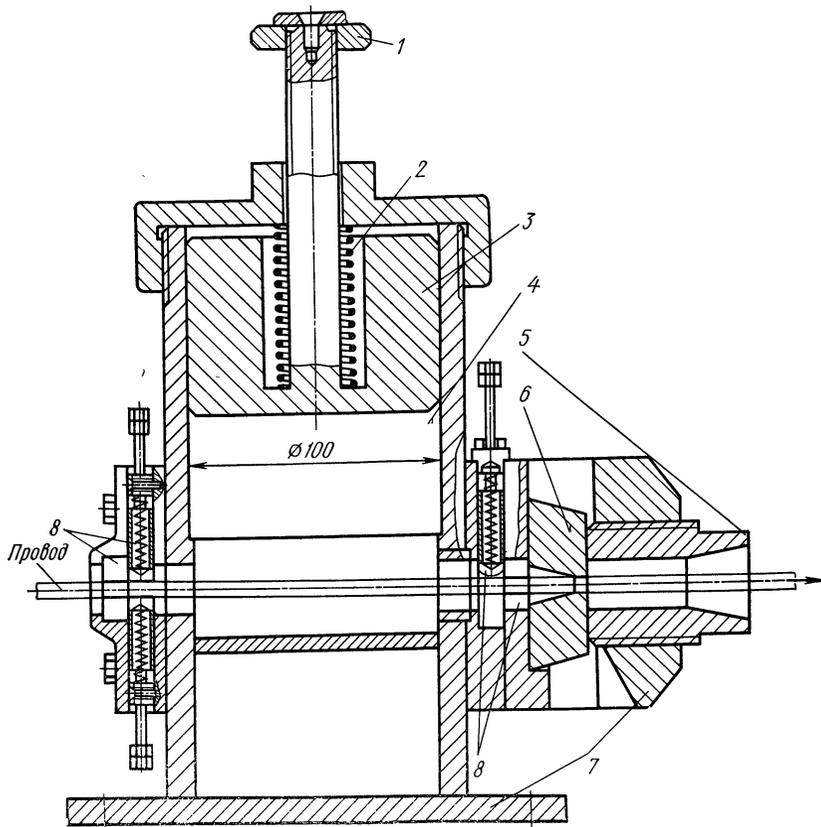


Рис. 37. Фильеродержатель:

1 — регулировочная гайка, 2 — пружина осадки поршня, 3 — поршень, 4 — ванна с густой смазкой, 5 — винтовой прижим, 6 — фильера, 7 — корпус, 8 — заслонки шторно-щелевые

меньше греется, поверхность ровная и блестящая, но при этом остается много смазки на проволоке и ухудшаются условия для создания усилия протяжки. При недостаточной подаче увеличивается трение, проволока сильно греется, поверхность шероховатая, не блестит, могут появиться трещины и задиры.

В качестве примера рассмотрим процесс волочения на станке, схема которого изображена на рис. 35.

Для создания условий оптимальной подачи смазки предназначен фильеродержатель (рис. 37), состоящий из корпуса 7, шторно-

щелевых заслонок 8, гнезда установки фильер 6 с винтовым прижимом 5, ванны для смазки 4, поршня подачи смазки 3, пружины 2 и ограничительной гайки 1, которой регулируют подачу смазки.

При подготовке к волочению конец проволоки исходного профиля на длине 40—50 мм зашлифовывают до размеров, меньших глазка фильеры, и припаивают встык к технологическому отрезку проволоки длиной 8—10 м, свободно проходящей через фильеру. Про-

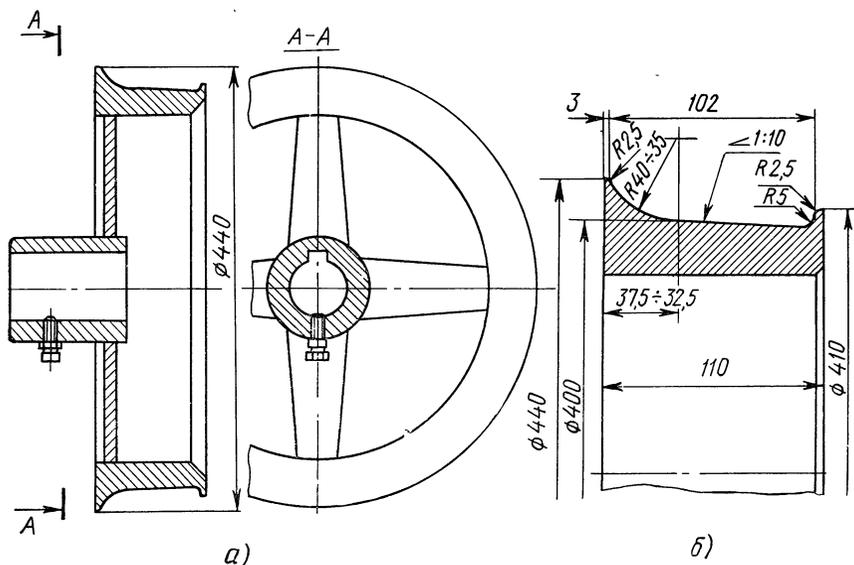


Рис. 38. Тянувший барабан:
а — общий вид, б — рабочий профиль барабана

волоку пропускают через рихтующее устройство, ванну фильеро-держателя и фильеру. На тянущем барабане (рис. 38) укладывают 2—4 витка для обеспечения усилия протяжки и закрепляют в приемном устройстве станка.

Концы проволок разных бухт спаивают встык по ходу движения проволоки — до фильеры, после прохода через фильеру место пайки отмечают для того, чтобы в последующей обработке проволоки и провода не «потерять» место пайки (окончательную пайку выполняет обмотчик при намотке обмоток).

Нагартованную проволоку после волочения отжигают и отпускают. Если для получения требуемого размера производится неоднократное волочение, то проволоку отжигают после завершения цикла.

Наложение изоляции. Наложение изоляции (обмотку проволоки бумажными лентами) производят на бумагооплеточных станках.

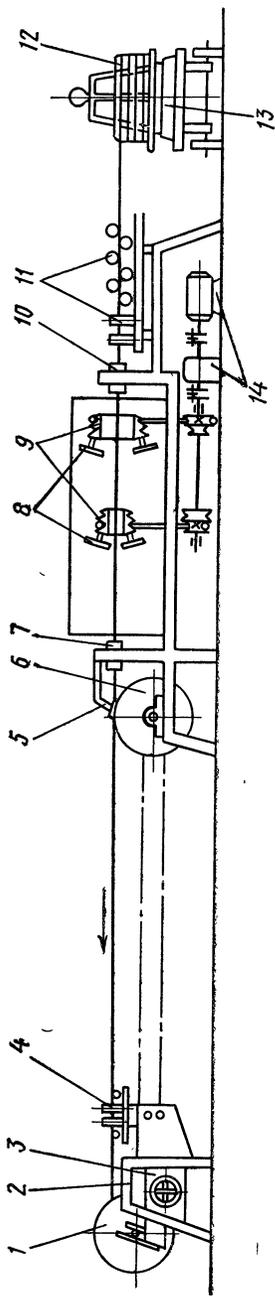


Рис. 39. Бумагообмоточный станок:

1 — приемный барабан, 2 — приемное устройство, 3 — фрикционный привод, 4 — проводоукладчик, 5 — отжимной ролик, 6 — тянущий барабан, 7 — выходная втулка, 8 — бумажные рулончики, 9 — бумагообмоточные узлы, 10 — входная втулка, 11 — рихтующее устройство, 12 — бухта проволоки, 13 — тележка, 14 — привод станка

Станок, схематически изображенный на рис. 39, состоит из рихтующего устройства 11, входной направляющей втулки 10, бумагообмоточных узлов 9, на которых устанавливают рулончики бумаги 8, выходной втулки 7, тянущего барабана 6 с отжимным роликом 5, приемного устройства 2 с фрикционным приводом 3, барабаном 1 и проводоукладчиком 4.

Приемное устройство и тянущий барабан связаны с приводом 14 станка цепными передачами, бумагообмоточки — ременными. На тележку 13 с вертушкой устанавливается бухта проволоки 12.

Подготовка станка к работе состоит в протяжке проволоки через рихтующее устройство, входную направляющую втулку, бумагообмоточки и выходную втулку. Количество витков на тянущем барабане для создания усилия подачи проволоки без проскальзывания определяется сечением проволоки и диаметром барабана. Для тонкого провода достаточно одного витка, для проводов с большим сечением — два или три.

Наложение изоляции состоит в обмотке бумажными лентами проволоки, проходящей сквозь обмоточное устройство. Бумажные рулончики (их также называют дисками) перед установкой на обмотчики увлажняют кратковременным окунанием в воду или под струей воды.

Существует несколько конструкций оплеточных устройств, но принцип работы у всех одинаков — обмотка бумажными лентами (пряжей хлопчатобумажной, шелковой, стеклянной или из химических волокон) поступательно движущейся проволоки. Ленты накладывают под углом 30—45°, нити пряжи — 80—85°.

Наложение бумажных лент производят по определенным схемам.

При изоляции 0,45—0,50 мм на две стороны и кабельной бумаге толщиной 0,08 мм схема укладки следующая:

1-й слой — лента укладывается с некоторым зазором, не более 1 мм;

2-й слой — лента укладывается в полуперекрышку.

В результате получаем толщину изоляции в три слоя на сторону — $0,08 \times 3 = 0,24$ мм, на две стороны — $0,24 \times 2 = 0,48$ мм.

Для наложения лент согласно схемам обмотки на движущуюся с постоянной скоростью проволоку (различных сечений) подбирают определенные режимы: число оборотов обмотчиков, угол укладки и ширину лент.

Поскольку глубокую регулировку оборотов обмотчиков реализовать сложно, подбор режима производится за счет ширины лент в пределах 10—22 мм. Узкую ленту применяют при изолировке проволоки сечения до 10 мм², более широкую — при большем сечении и т. д.

Изолирование проволоки относительно небольшой длины (несколько десятков — сто метров) производят вручную. Приемы наложения изоляции зависят от материала лент (бумага, стекловолокно, лакоткань) и т. д.

При изолировке бумажной лентой рулончиком делают несколько оборотов вокруг проволоки с таким расчетом, чтобы витки ленты ложились свободно с большим перекрытием (до 0,8—0,9 ширины), затем сдвигают свободные витки ленты вдоль проволоки — угол наложения уменьшается и лента затягивается. Выполнение изолировки таким приемом требует определенного навыка.

При изолировке лентами из лакоткани или стекловолокна витки сразу накладывают плотно с требуемым перекрытием. Если толщина изолирования больше 0,5 мм, то накладывают одновременно по две ленты.

Места пайки проводов отдельных бухт не изолируют, чтобы пайка была заметна обмотчику. Окончательно пайку, опиловку и изолирование мест соединения проводов отдельных бухт или барабанов выполняет обмотчик при намотке обмоток.

§ 34. Заготовка изоляционных деталей

Изоляционные детали обмоток изготовляют по чертежам, эскизам или образцам в количестве, указанном на чертежах или определенном при снятии исходных данных.

В общем случае заготавливают следующие детали обмоток трансформаторов общего назначения:

1. Для цилиндрических двухслойных обмоток: опорные уравнивательные кольца (рис. 40) из бумажно-бакелитовых цилиндров или электрокартона; рейки для канала охлаждения между слоями и технологические буковые планки; полосы из электрокартона для изоляции между витками или их разгона в осевом направлении.

2. Для цилиндрических многослойных обмоток: изоляционные цилиндры; концевую изоляцию («бортик»); рейки для канала охлаждения и технологические буковые планки; межслоевую изоляцию из кабельной бумаги или ролевого электрокартона; полосы из электрокартона для разгона или выравнивания витков в осевом направ-

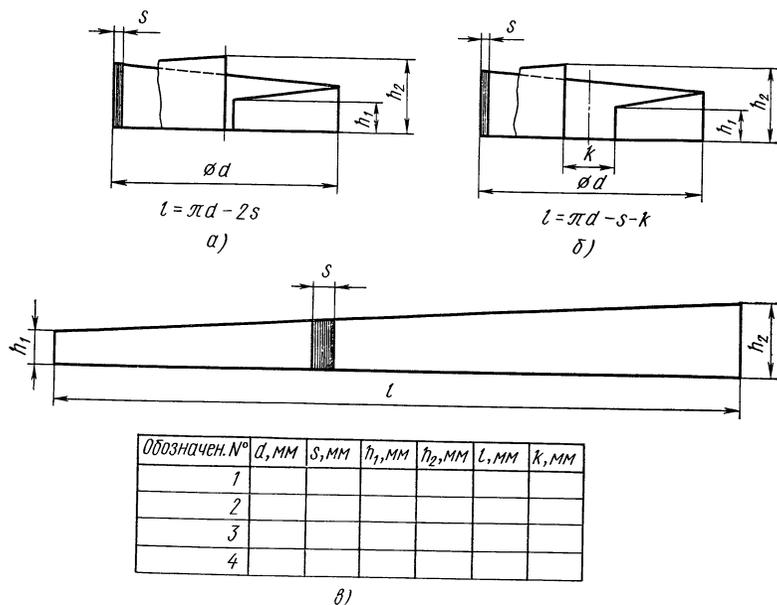


Рис. 40. Опорные уравнивательные кольца:

а — нижнее, б — верхнее (k — вырез для размещения конца обмотки), в — заготовка с таблицей размеров, d, s, h₁, h₂ — конструктивные размеры

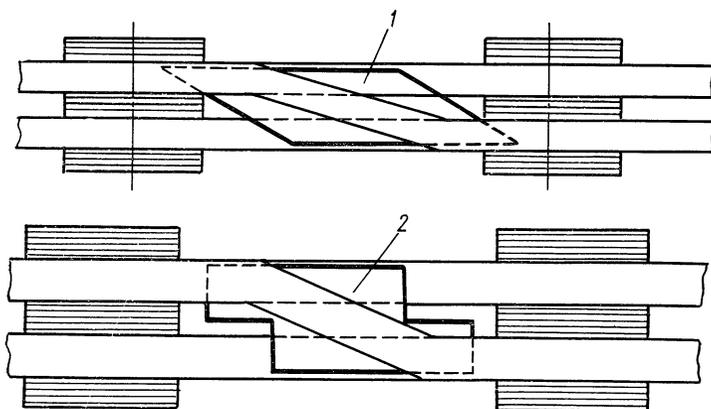


Рис. 41. Изоляция переходов — подкладки под наружные переходы:

1 — косая подкладка, 2 — фигурная подкладка

лени; коробочки и другие детали (подкладки) для изолирования регулировочных ответвлений обмоток ВН.

3. Для дисковых, непрерывных и винтовых обмоток: изоляционные бумажно-бакелитовые цилиндры (если нет в наличии жестких цилиндров обмотку наматывают без цилиндра, а при сборке активной части трансформатора обмотку устанавливают на мягкий

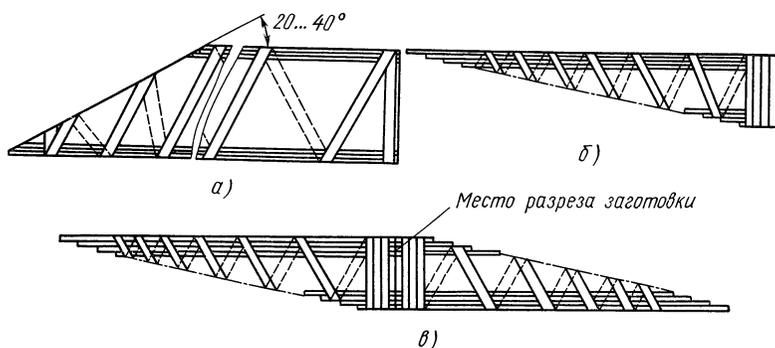


Рис. 42. Сборные опорные клинья:

а — для групповой транспозиции, б — для общей транспозиции, в — заготовка клина для общей транспозиции

цилиндр из электрокартона); опорные рейки с набором дистанцирующих прокладок и прошивные полосы; опорные кольца, комплект или определенное количество взамен дефектных; изоляционные разрезные шайбы; коробочки и подкладки для изолирования переходов (рис. 41, а, б); полосы для разгона или выравнивания радиального размера катушек; клинья для групповых и общей транспозиций (рис. 42, а, б, в).

Контрольные вопросы

1. Расскажите о приемах размотки обмоток разных типов.
2. Перечислите способы чистки старых обмоточных проводов и отметьте принципиальные особенности.
3. Каково назначение волочения и отжига проволоки?
4. Расскажите о приемах наложения изоляции механическим и ручным способами.

Глава седьмая

Намотка и ремонт обмоток

§ 35. Намотка цилиндрических слоевых обмоток

Намотку цилиндрических двухслойных и многослойных обмоток для трансформаторов I и II габаритов производят на намоточном станке без задней бабки модели ТТ-20 (рис. 43). Для намотки слоевых обмоток ВН из круглого обмоточного провода на станке устанавливают и закрепляют раскладочное устройство.

Намотка цилиндрической двухслойной обмотки НН. Цилиндрическую двухслойную обмотку НН наматывают из провода прямоугольного сечения в два слоя с охлаждающим каналом между ними. В каждом слое обмотки витки наматывают по винтовой линии так, чтобы каждый виток слоя укладывался вплотную к предыдущему.

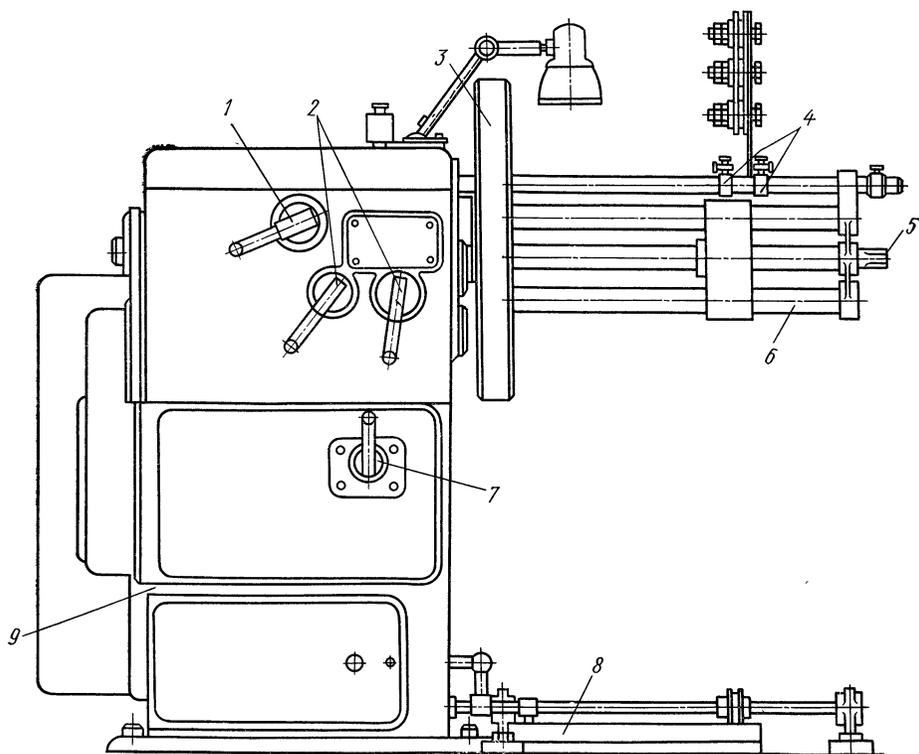


Рис. 43. Намоточный станок ТТ-20:

1 — рукоятка отключения шпинделя, 2 — рукоятки переключения скорости вращения, 3 — планшайба, 4 — упоры для установки на автоматический реверс, 5 — квадрат для ручного перемещения каретки самохода, 6 — каретка и механизм реверса, 7 — рукоятка ручного реверса каретки, 8 — педаль ногого управления фрикционной муфтой, 9 — корпус

В зависимости от исполнения цилиндрические двухслойные обмотки НН отличаются количеством витков и параллельных проводов, сечением обмоточного провода, осевыми размерами, внутренним и наружным диаметрами, размерами охлаждающего канала, количеством реек между слоями и направлением намотки.

Для намотки обмотки барабаны с обмоточным проводом устанавливают в тормозные стойки мостовым краном или кран-балкой. При отсутствии подъемных приспособлений барабан с обмоточным проводом устанавливают в тормозную стойку с штурвальным винтом (рис. 44).

На шпиндель намоточного станка устанавливают и закрепляют между двумя гетинаксовыми дисками разъемный деревянный шаблон, разрезанный на две части от одного торца к другому под некоторым углом к оси. Шаблон обертывают одним слоем электро-

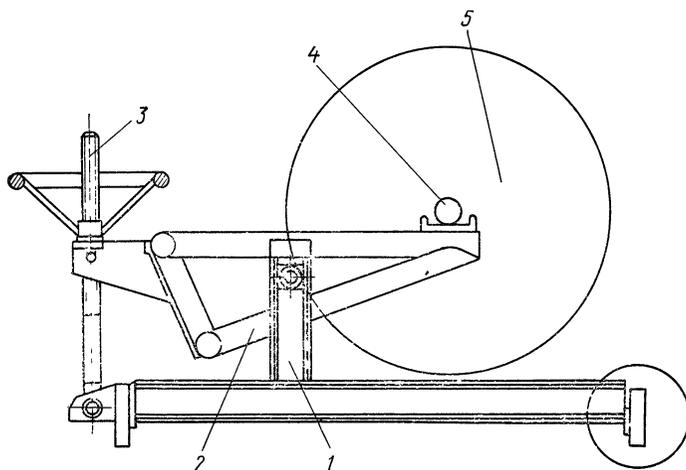


Рис. 44. Тормозная стойка с штурвальным винтом:

1 — рама тормозной стойки, 2 — коромысло, 3 — штурвальный винт для подъема барабана, 4 — стальная ось, 5 — барабан с обмоточным проводом

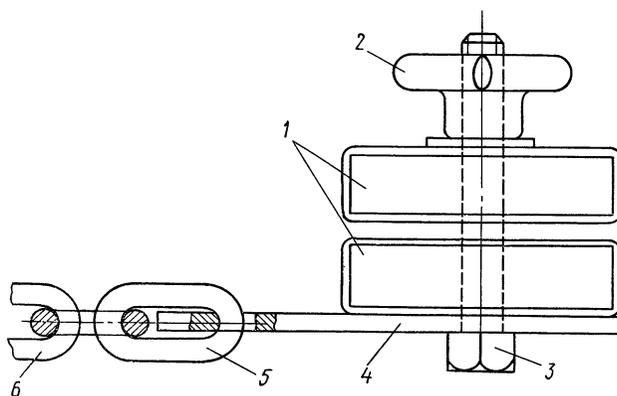


Рис. 45. Натяжное приспособление:

1 — деревянные плашки, 2 — гайка фасонная (звездочка), 3 — болт, 4 — стальная пластина, 5 — соединительное кольцо, 6 — цепь

картона толщиной 0,3 мм, закрепляют его хлопчатобумажной лентой и натирают парафином. Намотку цилиндрической слоевой обмотки производят с применением натяжного приспособления (рис. 45), которое состоит из двух отполированных деревянных плашек 1, между которыми зажимают провод (провода).

логическими буковыми планками, предварительно натертыми парафином. Рейки и планки временно закрепляют киперной лентой.

Технологические планки устанавливают для придания второму слою правильной цилиндрической формы и они должны быть тоньше постоянных на 0,5 мм для облегчения удаления после намотки обмотки. Одновременно с намоткой первого витка второго слоя укладывают и закрепляют уравнительное бумажно-бакелитовое кольцо. В процессе намотки витки второго слоя также подбивают деревянным или фибровым клином (рис. 47). Перед укладкой последнего витка устанавливают уравнительное бумажно-бакелитовое кольцо и закрепляют его бандажом в процессе намотки последнего витка.

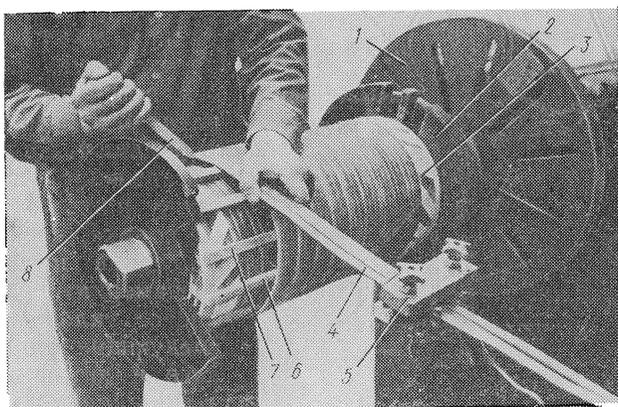


Рис. 47. Намотка цилиндрической обмотки НН:

1 — планшайба станка, 2 — гетинаксовый диск шаблона, 3 — крепление бумажно-бакелитового кольца, 4 — обмоточный провод, 5 — натяжное приспособление, 6 — гетинаксовая рейка, 7 — технологическая планка, 8 — фибровый клин

По окончании намотки отрезают провод специальными ручными ножницами, оставляя конец заданной длины. Концевой вывод изгибают под углом 90° тем же приспособлением, изолируют его по чертежу и укладывают в вырез гетинаксового диска шаблона. Выводной конец обмотки надежно закрепляют бандажом из киперной ленты в 6—8 оборотов в полуперекрышку и, сделав переход, бандажуют верхний слой обмотки в полуперекрышку по всей длине обмотки снимают со станка, выбивают из нее шаблон, связывают по длине равномерно по окружности четырьмя стяжками из киперной ленты и отправляют на дальнейшую технологическую обработку.

Намотка цилиндрической многослойной обмотки ВН. Цилиндрическую многослойную обмотку ВН наматывают проводом ПБ круглого сечения. В зависимости от исполнения цилиндрические многослойные обмотки ВН отличаются количеством витков, сечением обмоточного провода, осевыми размерами, внут-

ренним и наружным диаметрами, размерами охлаждающего канала, количеством реек и направлением намотки.

Рабочее место намотчика обмоток справа от передней бабки станка. Цилиндрическую обмотку наматывают на жесткий бумажно-бакелитовый цилиндр,

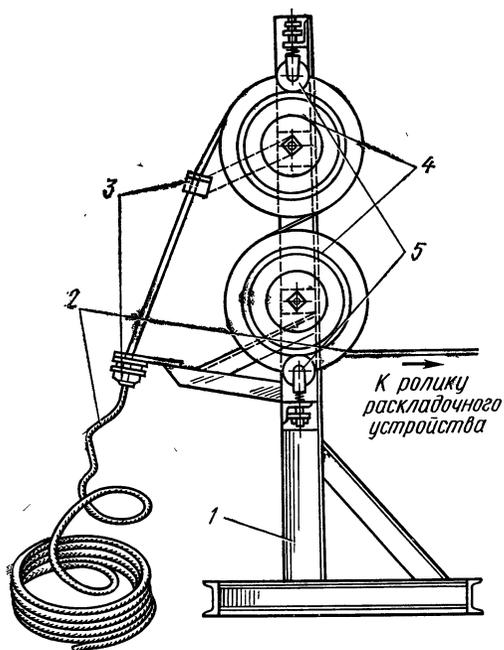


Рис. 48. Тормозная стойка для круглого обмоточного провода:

1 — рама, 2 — обмоточный провод (круглый), 3 — направляющие втулки, 4 — тормозные ролики, 5 — прижимные ролики

который закрепляют на шпинделе станка двумя распорными гетинаксовыми дисками. Для намотки обмотки бухту обмоточного провода укладывают плашмя перед тормозной стойкой (рис. 48). Верхний конец провода с бухты пропускают через направляющую втулку 3 и укладывают в первую канавку верхнего тормозного ролика 4. Далее провод укладывают в первую канавку нижнего тормозного ролика, предварительно сделав петлю в виде «восьмерки». Аналогично провод укладывают в последующие канавки верхнего и нижнего тормозных роликов. Провод закрепляют прижимными роликами 5 и после регулировки натяжения укладывают его в канавку ролика раскладочного устройства намоточного станка.

Намотку многослойной цилиндрической обмотки начинают с изолировки по чертежу начального вывода обмотки, который затем укладывают в вырез гетинаксового диска 2 шаблона (со стороны планшайбы) и закрепляют вокруг шпинделя (рис. 49). Бумажно-бакелитовый цилиндр 1 промазывают бакелитовым лаком, укладывают концевую изоляцию («бортик») 6. На телефонную бумагу концевой изоляции наматывают первый виток, подложив под него две петли хлопчатобумажной ленты 7. Наматывая следующие два-три витка обмотки, затягивают петли из ленты и выводят концы ленты из-под витков; наматывают еще несколько витков обмотки, подтягивают концы петель 7 и пропускают их под следующие витки обмотки. В процессе намотки витков первого слоя следят за плотностью намотки витков в радиальном и осевом направлениях. Не доходя трех-четырёх витков до конца первого слоя обмотки, укладывают концевую изоляцию («бортик») 6 и доматывают первый слой обмотки до конца.

При переходе к намотке второго слоя обмотки укладывают межслоевую изоляцию (кабельную бумагу) и временно ее закрепляют двумя-тремя оборотами хлопчатобумажной ленты. Одновременно с намоткой первого витка второго слоя укладывают вплотную к упорному гетинаксовому диску концевую изоляцию («бортик») и продолжают намотку второго слоя. В процессе намотки витки подбивают вплотную друг к другу фибровым или деревянным клином. Под последние три-четыре витка второго слоя вновь подкладывают концевую изоляцию («бортик»).

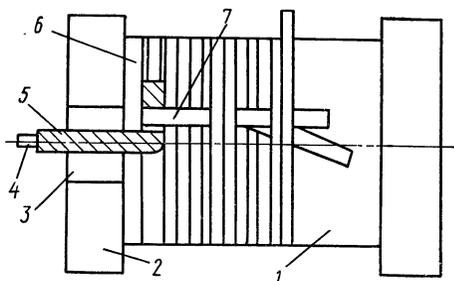


Рис. 49. Крепление концевой изоляции и первых витков цилиндрической обмотки ВН:

1 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 2 — гетинаксовый диск, 3 — вырез в диске, 4 — обмоточный провод, 5 — изоляция выводного конца, 6 — концевая изоляция («бортик»), 7 — петля из хлопчатобумажной ленты

Намотку третьего и последующих слоев (согласно чертежу) продолжают, чередуя укладку межслоевой изоляции после каждого слоя с укладкой концевой изоляции у первых и последних витков каждого слоя до вертикального канала (второй части обмотки). При переходе к намотке второй части обмотки (рис. 50) укладывают равномерно по окружности дистанционные рейки 9, чередуя их с укладкой временных технологических планок 10, рейки и планки временно закрепляют хлопчатобумажной лентой 8.

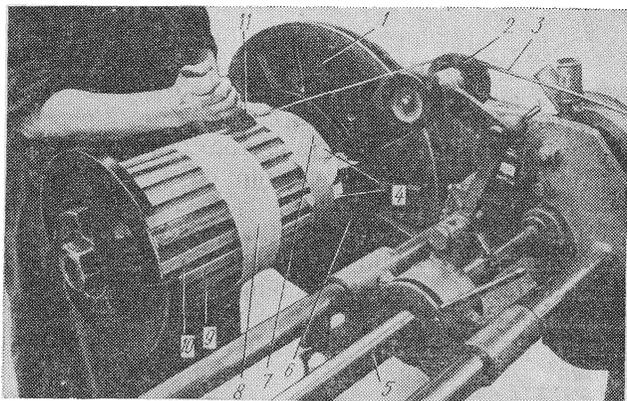


Рис. 50. Намотка цилиндрической многослойной обмотки: 1 — планшайба намоточного станка, 2 — ролик раскладочного устройства, 3 — обмоточный провод, 4 — петли из хлопчатобумажной ленты, 5 — раскладочное устройство, 6 — гетинаксовый диск, 7 — разрезное бумажно-бакелитовое кольцо, 8 — хлопчатобумажная лента, временно закрепляющая рейки и планки, 9 — дистанционные рейки, 10 — технологические планки, 11 — клин (фибровый или деревянный)

Поверхность дистанционных реек промазывают бакелитовым лаком. На рейки (вплотную к гетинаксовому диску 6) укладывают разрезное бумажно-бакелитовое кольцо 7, которое закрепляют в четырех местах по окружности петлями из хлопчатобумажной ленты 4.

Одновременно с установкой кольца продолжают намотку витков обмотки, подтягивая петли и подкладывая их под витки обмотки. Снимают ленту 8, закрепляющую рейки, продолжают намотку витков, плотно укладывая витки друг к другу в осевом направлении. Не доходя четырех-пяти витков до конца слоя обмотки, укладывают второе разрезное бумажно-бакелитовое кольцо (вплотную к упорному гетинаксовому диску), закрепляют его в четырех местах по окружности петлями хлопчатобумажной ленты. Доматывают слой обмотки, слегка подтягивая петли, и укладывают их под витки обмотки. На намотанный слой обмотки укладывают межслоевую изоляцию и одновременно с намоткой первого витка последующего слоя укладывают концевую изоляцию; под последние три-четыре витка также укладывают концевую изоляцию.

Продолжают намотку витков обмотки ВН по чертежу, чередуя укладку межслоевой изоляции после каждого слоя с укладкой концевой изоляции до регулировочного ответвления обмотки.

Регулировочные ответвления обмотки выполняют тем же проводом в виде петли (рис. 51) следующим образом: отмечают длину и

место вывода первого регулировочного ответвления, освобождают обмоточный провод от натяжения и плоскогубцами выгибают петлю 6. Основание петли закрепляют хлопчатобумажной лентой 2. Регулировочное ответвление обмотки изолируют по чертежу и укладывают по плоскости обмотки в вырез гетинаксового диска между электрокартонными коробочками 5 и далее продолжают намотку по чертежу и расчетной записке. Последующие регулировочные ответвления выполняют аналогично описанному выше.

Последний слой обмотки мотают, плотно укладывая витки друг к другу. Под последние четыре-пять витков подкладывают две-три петли из хлопчатобумажной ленты для крепления выводного конца обмотки. После намотки последних витков намечают длину выводного конца, отрезают провод и изолируют конец обмотки. Изолированный конец продевают через петли, затягивают их и закрепляют выводной конец обмотки ВН. Верхний слой обмотки выравнивают электрокартонной полосой (заполнителем) и бандажируют ее одним слоем хлопчатобумажной ленты в полуперекрышку.

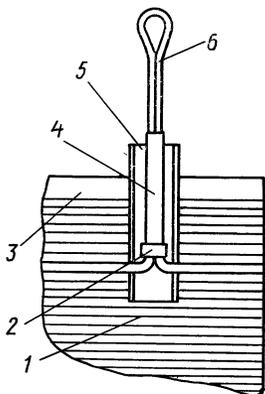


Рис. 51. Выполнение регулировочного ответвления:

1 — цилиндрическая многослойная обмотка, 2 — хлопчатобумажная лента, 3 — концевая изоляция («бортик»), 4 — изоляция регулировочного ответвления, 5 — электрокартонная коробочка, 6 — петля обмоточного провода

Обмотку снимают со станка, связывают ее по длине в четырех местах, выбивают временные технологические планки и передают обмотку на дальнейшую технологическую обработку.

§ 36. Намотка одноходовых винтовых обмоток

Намотку винтовых обмоток I—III габаритов производят на намоточном станке ТТ-21 (рис. 52). Вращение передается планшайбе 4 от электродвигателя через клиноременную передачу, систему зубчатых колес коробки скоростей и внутренний зубчатый венец

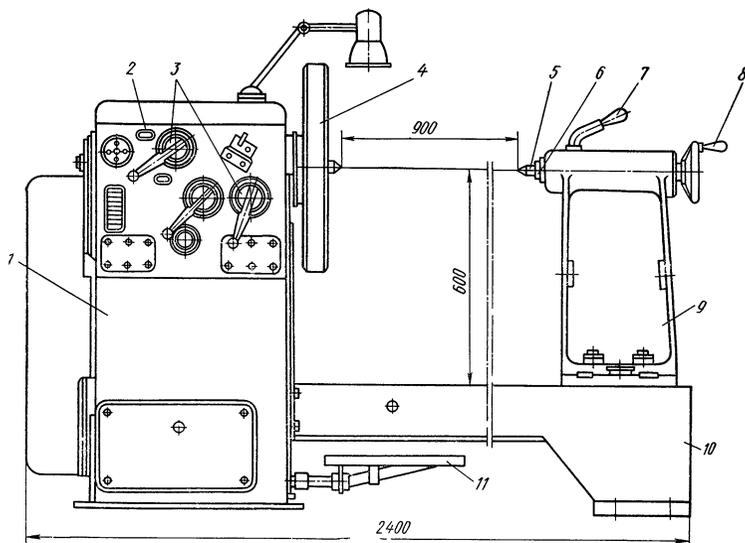


Рис. 52. Намоточный станок ТТ-21:

1 — передняя бабка, 2 — смотровой глазок, 3 — рукоятки переключения скорости вращения, 4 — планшайба, 5 — вращающийся центр, 6 — пиноль, 7 — рукоятка закрепления пиноли, 8 — маховик перемещения пиноли, 9 — задняя бабка, 10 — станина (плита), 11 — педальный выключатель

планшайбы. Плавность включения шпинделя и быстрый его останов обеспечивается фрикционной муфтой и тормозом, действие которых заблокировано: при нажмие педали 11 включается фрикционная муфта, а тормоз освобождается. Изменение скорости вращения шпинделя производят поворотом рукояток 3. Одна из рукояток может иметь нейтральное положение, что позволяет поворачивать шпиндель рукой. Задняя бабка 9, состоящая из корпуса, пиноли 6, в которую вставляется вращающийся центр 5, маховика 8 для перемещения пиноли и рукоятки 7 для закрепления пиноли, устанавливается на станине 10. В станине имеются Т-образные пазы для закрепления задней бабки и механизм для ее перемещения.

Подготовка к намотке. Обмоточный провод, подготовленный для намотки винтовой обмотки, перематывают на отдельные барабаны по количеству параллельных проводов в витке. Барабаны с обмоточным проводом устанавливают в два яруса в тормозную стойку (рис. 53) сзади намотчика катушек. Очень важно их правильно установить, чтобы в нижнем ярусе обмоточный провод шел сверху барабана, а в верхнем — снизу.

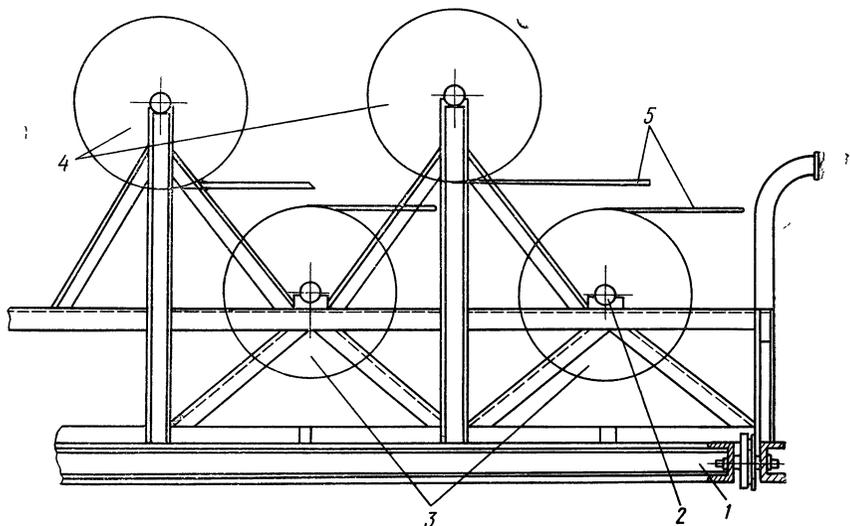


Рис. 53. Многоместная тормозная стойка:

1 — сварная рама, 2 — стальная ось, 3 — барабаны нижнего яруса, 4 — барабаны верхнего яруса, 5 — обмоточный провод

На провода, идущие с барабанов, устанавливают натяжное приспособление, закрепляют его к цепи, укрепленной на тормозной стойке. Раздвижной шаблон (рис. 54) укладывают в бумажно-бакелитовый цилиндр, укомплектованный продольными электрокартонными рейками с набором дистанцирующих прокладок. Шаблон устанавливают и закрепляют в центрах намоточного станка. Рабочее положение намотчика катушек — справа от передней бабки намоточного станка.

Намотка обмотки. Направление обмотки левое. На установленном комплекте реек сдвигают дистанцирующие прокладки влево, в сторону шланшайбы станка. Отмеряют длину выводного конца обмотки, каждый параллельный провод выгибают под прямым углом приспособлением. Начальный выводной конец комплектуют, изолируют по чертежу и закрепляют его к планке раздвижного шаблона струбиной (рис. 55). После этого регулируют натяжение обмоточного провода и начинают намотку первых витков обмотки на расстоянии 80—100 мм от края цилиндра, чередуя ее с передвижением дистанцирующих прокладок.

После намотки третьего витка устанавливают электрокартонный сегмент между начальным выводным концом обмотки и соседним витком, одновременно закрепляют начальный выводной конец бандажом из киперной ленты в пять-шесть оборотов вокруг третьего витка и начального вывода (рис. 56). Далее продолжают намотку витков по чертежу, передвигая по рейкам вплотную к виткам дистанцирующих прокладок толщиной, указанной в чертеже.

В процессе намотки подбивают витки легкими ударами деревянного молотка в осевом и радиальном направлениях.

В одноходовой винтовой обмотке выполняют две групповые и одну общую транспозиции проводов. С этой целью обмотку делят на четыре равные части и после намотки $\frac{1}{4}$ всех витков выполняют первую групповую транспозицию половинным числом проводов, образующих виток. После намотки половины всех витков, т. е. на середине обмотки, выполняют общую транспозицию, при которой каждый провод меняют местами. После намотки $\frac{3}{4}$ всех витков выполняют вторую групповую транспозицию.

Выполнение групповой транспозиции. Освобождают обмоточный провод от натяжения, а последние два-три витка закрепляют ручным зажимом (рис. 57), намечают места переходов транспозиции по чертежу и делят общее количество параллельных проводов на две группы. Далее выгибают каждый параллельный провод в первой (нижней) группе в сторону планшайбы станка и изолируют провода все вместе одним слоем тафтяной ленты в полуперекрышку.

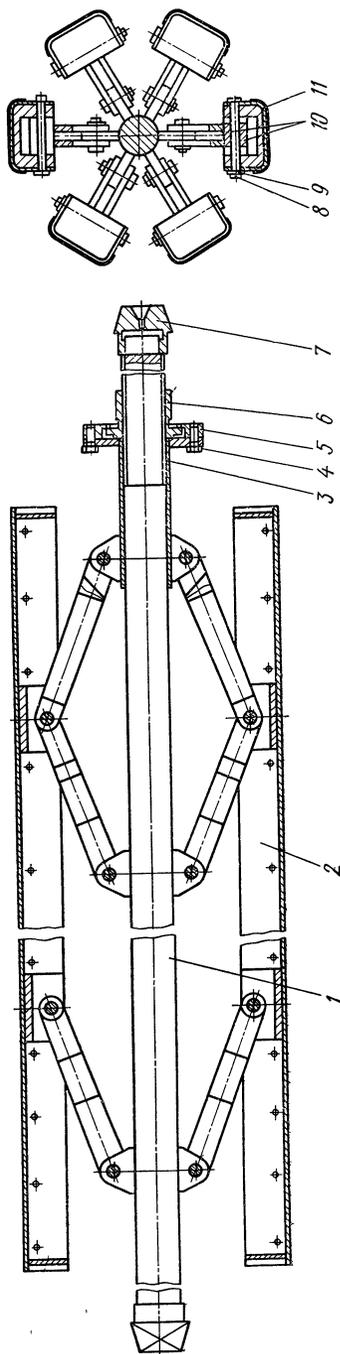


Рис. 54. Раздвижной шаблон:

1 — стальная ось, 2 — коробка, 3 — втулка, 4 — болт, 5 — полукольцо, 6 — специальная гайка, 7 — головка, 8 — шпиль, 9 — шайба, 10 — рычаги, 11 — резиновая накладка

Под нижний провод второй (верхней) группы устанавливают электрокартонную коробочку и закрепляют ее тафтяной лентой (рис. 58 а—в). Через одно поле выгибают каждый провод второй группы и изолируют провода все вместе так же, как и в первой группе; одновременно устанавливают и закрепляют электрокартонную коробочку под нижний провод первой группы. Снимают зажим с витков обмотки и укладывают обе группы одну на другую так, чтобы нижняя группа проводов перешла в верхнее положение,

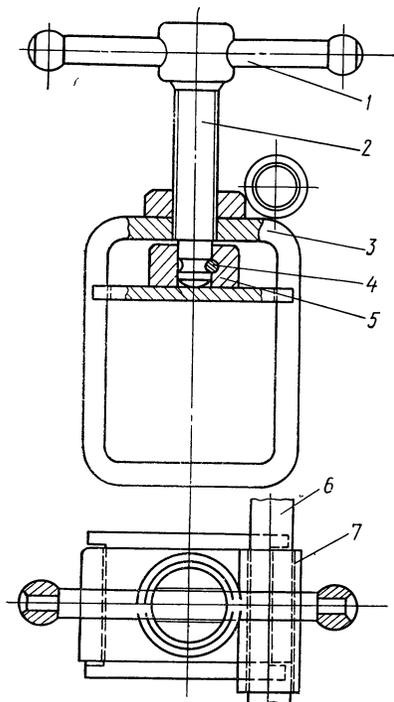


Рис. 55. Струбцина для крепления концов винтовой обмотки:

1 — рукоятка, 2 — винт, 3 — скоба, 4 — штифт, 5 — прижим, 6 — палец, 7 — втулка крепления струбцины

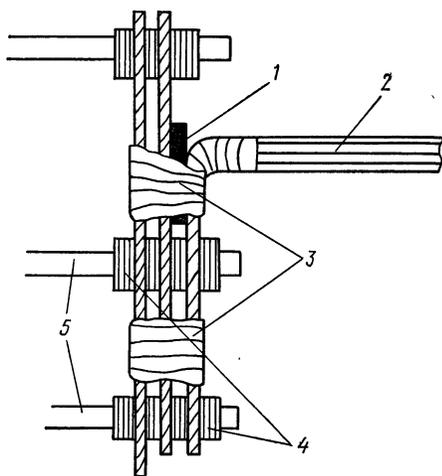


Рис. 56. Крепление выводного конца обмотки:

1 — электрокартонный сегмент, 2 — выводной конец обмотки, 3 — бандаж, 4 — дистанцирующие прокладки, 5 — рейки

а верхняя — в нижнее, одновременно устанавливая под каждую группу проводов выравнивающие электрокартонные клинья для закрепления свободно лежащих проводов.

Чтобы продолжать намотку обмотки, необходимо переложить параллельные провода в натяжном приспособлении так, чтобы они укладывались в том порядке, какой они заняли после выполнения транспозиции. Продолжают намотку витков обмотки согласно чертежу до общей транспозиции.

Выполнение общей транспозиции. Для выполнения общей транспозиции закрепляют витки обмотки специальным зажимом (рис. 59), освобождают параллельные провода от натяжного приспособления и намечают переход на первом (верхнем) проводе.

На месте перехода устанавливают и закрепляют тафтяной лентой электрокартонную коробочку и приспособлением выгибают провод для перехода. В месте перехода верхнего провода подкладывают электрокартонный клин. Высота клина должна быть меньше радиального размера витка на один провод, а длина его определяется длиной части окружности, занимаемой переходами всех проводов витка. Одновременно подкладывают второй клин под оставшиеся провода. Идя последовательно, изолируют и выгибают второй и каждый следующий провод, смещая один переход от другого на одну рейку.

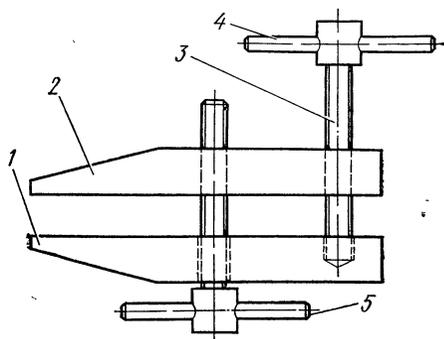


Рис. 57. Ручной зажим для обмоточного провода:

1 — неподвижная губка, 2 — подвижная губка, 3 — нажимной винт, 4 — рукоятка, 5 — установочный винт

В процессе выполнения общей транспозиции переключают снова все провода в натяжном приспособлении так, чтобы они укладывались в витке в том порядке, какой они заняли после выполнения транспозиции, и обеспечивают необходимое натяжение провода. После выполнения общей транспозиции продолжают намотку витков до второй груп-

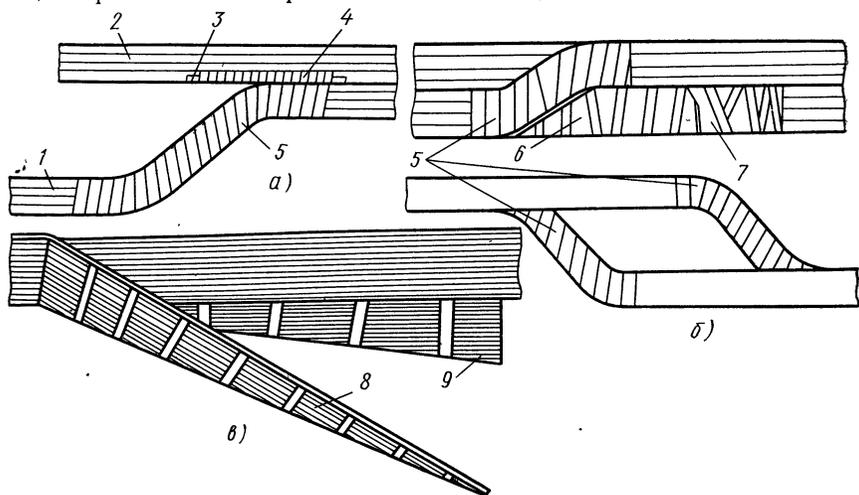


Рис. 58. Установка электрокартонных клиньев и изолирование проводов в винтовой обмотке:

а — установка и крепление электрокартонной коробки, б — установка электрокартонных клиньев под первую и вторую группы проводов, в — установка электрокартонных клиньев при выполнении общей транспозиции; 1 — первая группа проводов (нижняя), 2 — вторая группа проводов (верхняя), 3 — электронная коробка, 4 — изолирование коробки, 5 — изолирование переходов тафтяной лентой, 6 — клин для первой группы проводов, 7 — клин для второй группы проводов, 8 — электрокартонный клин под верхний провод, 9 — электрокартонный клин под оставшиеся провода

повой транспозиции, которую выполняют так же, как первую. Перекладывают все параллельные провода в натяжном приспособлении, как описано выше, и продолжают намотку витков до конца обмотки по чертежу.

Последний виток временно закрепляют зажимом, отмечают длину выводного конца обмотки, отрезают провода и выгибают их под прямым углом. Выводной конец комплектуют так же, как и у начала обмотки, его изолируют и закрепляют, как показано на рис. 56. Вынимают из обмотки технологические полосы. Обмотку снимают со станка, вынимают раздвижной шаблон. Винтовую поверхность крайних витков выравнивают с помощью электрокартонных прокладок и сегментов по чертежу и устанавливают опорные кольца.

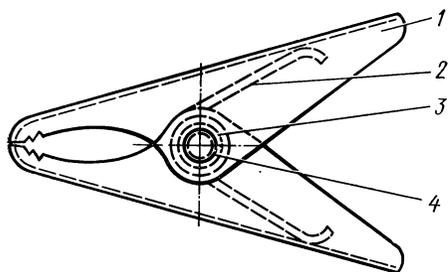


Рис. 59. Специальный зажим:
1 — скоба, 2 — пружина, 3 — втулка, 4 — шайба

Обмотку отправляют на дальнейшую технологическую обработку.

§ 37. Намотка непрерывных обмоток

Непрерывная обмотка состоит из ряда последовательно соединенных катушек, намотанных плашмя из провода прямоугольного сечения на бумажно-бакелитовый цилиндр. Между обмоткой и бумажно-бакелитовым цилиндром устанавливают электрокартонные рейки, на которых закрепляют электрокартонные прокладки, образующие радиальные охлаждающие каналы и технологические электрокартонные полосы. Переход из одной катушки в другую производится непрерывно без паяк, что достигается переключением витков переборных катушек.

Непрерывные обмотки в зависимости от исполнения могут отличаться количеством катушек, числом витков в катушке, сечением и изоляцией обмоточного провода, количеством параллельных проводов, размерами охлаждающих каналов, числом электрокартонных реек, осевым размером, внутренним и наружным диаметрами бумажно-бакелитового цилиндра.

Подготовка к намотке. Раздвижной шаблон (см. рис. 54) укладывают в бумажно-бакелитовый цилиндр, скомплектованный продольными электрокартонными рейками с набором дистанцирующих прокладок между постоянными рейками, и закрепляют тафтяной лентой технологические электрокартонные полосы. Шаблон устанавливают и закрепляют в центрах намоточного станка. Гайкой 6 разжимают рычаги 10, планки должны плотно прилегать к внутренней стороне бумажно-бакелитового цилиндра. Барабан с обмоточным проводом устанавливают в тормозную стойку.

Обмоточный провод пропускают через натяжное пневматическое приспособление (рис. 60) и регулируют натяжение провода. Стальные тормозящие планки 10 стягиваются болтами 8, гайками 9 и пружинами 5. В нижнюю планку 10 запрессовано несколько раз-

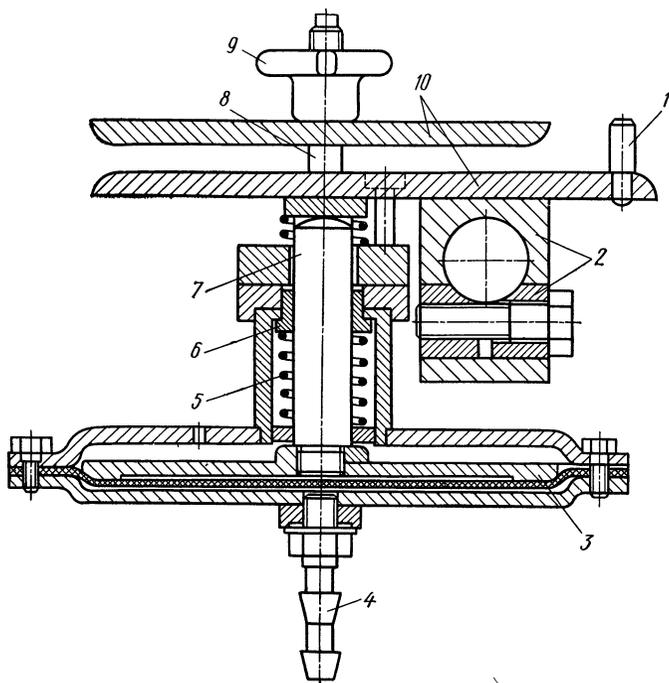


Рис. 60. Пневматическое натяжное приспособление:

1 — разделительный палец, 2 — крепление, 3 — пневматическая камера, 4 — ниппель, 5 — пружина, 6 — втулка, 7 — шток, 8 — болт, 9 — специальная гайка, 10 — тормозные планки

делительных пальцев 1, которые предохраняют изоляцию проводов, снизу болтами 8 прикреплена пневмокамера 3. При подаче сжатого воздуха в камеру происходит зажим провода; при снятии давления провод освобождается. Пневмокамера позволяет намотчику катушек производить зажим и освобождение провода, не сходя с рабочего места, при помощи воздушного крана.

В условиях ремонтной мастерской при отсутствии разводки сжатого воздуха применяют эксцентриковое натяжное приспособление (рис. 61). Стальные тормозные планки 4 прижимаются друг к другу двумя винтами 7. Внутренние поверхности планок должны быть хорошо отполированы, а у нижней планки должен быть паз глубиной, меньшей толщины провода. В головках винтов 7 имеются отверстия, в которые входит ось 3 эксцентрика 2. Завертывая гайки 6 пружины 5, создают нужное для намотки натяжение. Поворачивая рукояткой 1 эксцентрик на 180°, можно ос-

вобождают или затягивать обмоточный провод. Приспособление крепится к тормозной стойке планкой 8.

Намотка обмотки. Намотку левой непрерывной обмотки начинают справа налево (рис. 62). Планшайба станка находится слева, намотчик обмотки стоит спиной к барабанам с обмоточным

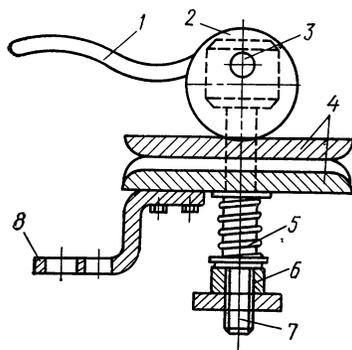


Рис. 61. Эксцентриковое натяжное приспособление:

1 — рукоятка, 2 — эксцентрик, 3 — ось, 4 — тормозные планки, 5 — пружина, 6 — специальная гайка, 7 — винт, 8 — планка крепления

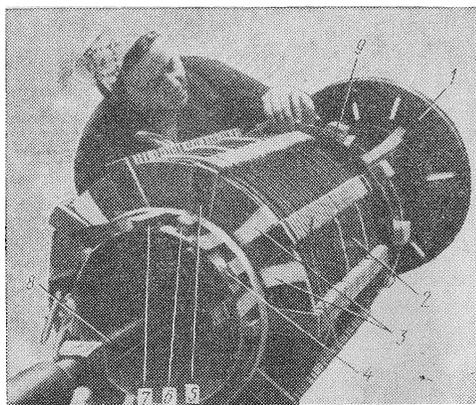


Рис. 62. Намотка непрерывной обмотки:

1 — планшайба станка, 2 — непрерывная обмотка, 3 — бандаж первых двух катушек, 4 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 5 — набор дистанцирующих прокладок, 6 — рейка, 7 — технологические планки (набор пластин), 8 — раздвижной шаблон, 9 — перекладка витков перекладной катушки (нечетной)

проводом (если смотреть со стороны рабочего места). Дистанцирующие прокладки, образующие канал между первой катушкой и опорным кольцом, передвигают вправо на 50 мм (от края цилиндра), остальные прокладки передвигают в сторону планшайбы станка. Конец обмоточного провода закрепляют петлей киперной ленты за планку раздвижного шаблона. Наматывают первую (нечетную) перекладную катушку, укладывая один виток на другой в радиальном направлении. После укладки последнего верхнего витка намечают место перехода из перекладной катушки в постоянную, укладывая сверху обмоточного провода электрокартонную коробочку и бандажируют ее к проводу одним слоем тафтяной ленты в полуперекрышку. Изолированное место выгибают приспособлением так, чтобы переход располагался в середине поля между рейками, как показано на рис. 63.

Производят перекладку витков первой переборной катушки следующим образом: снимают верхний виток и укладывают его на рейку рядом с переборной катушкой, затем снимают следующий виток и укладывают его на ранее снятый и т. д. В такой последовательности укладывают все витки переборной катушки. При укладке последнего витка катушки освобождают конец обмоточного

провода из петли, витки катушки зажимают приспособлением, чтобы катушка не рассыпалась. Катушку сдвигают вдоль реек на первоначальное место и затягивают витки катушки сначала от руки, а затем путем кратковременных пусков станка, одновременно подбивая витки легкими ударами деревянного молотка в осевом и радиальном направлениях.

Конец обмоточного провода обмотки изолируют и закрепляют. Снимают с катушки приспособление, передвигают по рейкам дистанцирующие прокладки и наматывают вторую (четную) постоянную катушку с необходимым натяжением провода и уплотнением витков в радиальном направлении. По окончании намотки постоянной катушки отмечают и изолируют место наружного перехода в следующую переключную катушку (электроизоляционную коробочку укладывают снизу обмоточного провода).

На две намотанные катушки накладывают два общих бандажа (рис. 64): первый бандаж 8 накладывают в соседнем поле от начального конца, а второй — 7 накладывают в поле напротив бандажа, закрепляющего начало обмотки. Третью катушку выполняют точно так же, как и первую. Вначале передвигают требуемое число дистанционных прокладок вплотную ко второй катушке, затем производят намотку временной (нечетной) катушки, укладывая один виток на другой; после укладки последнего витка выполняют внутренний переход в четвертую постоянную (четную) катушку и производят переключку и затяжку витков, как описано выше.

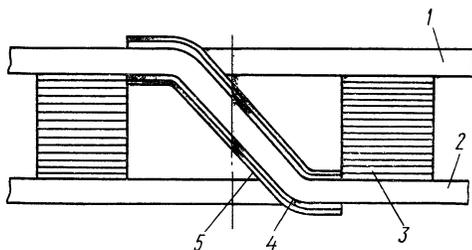


Рис. 63. Выполнение перехода в непрерывных обмотках:

1 — переключная (нечетная) катушка, 2 — постоянная (четная) катушка, 3 — дистанцирующие прокладки, 4 — электрокартонная коробка, 5 — тафтяная лента

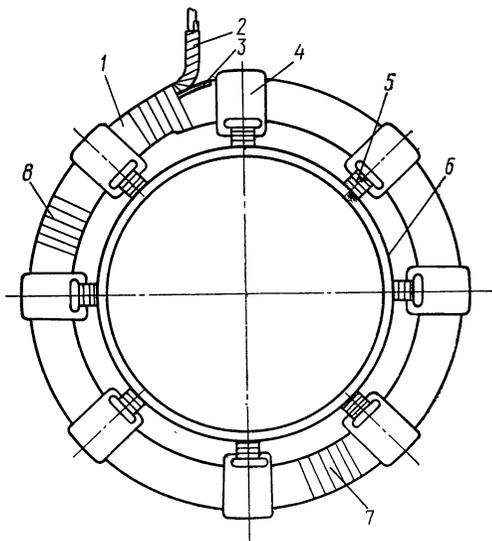


Рис. 64. Бандаж первых двух катушек непрерывной обмотки:

1 — катушка, 2 — изолированный выводной конец обмотки, 3 — электрокартонная коробка, 4 — дистанцирующая прокладка, 5 — рейка, 6 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 7 и 8 — бандажи катушек

После установки прокладок между третьей и четвертой катушками производят намотку четвертой постоянной катушки, выполняют наружный переход из четвертой в пятую катушку и продолжают намотку последующих катушек, повторяя технологические приемы намотки переключных (нечетных) и постоянных (четных) катушек, описанные выше.

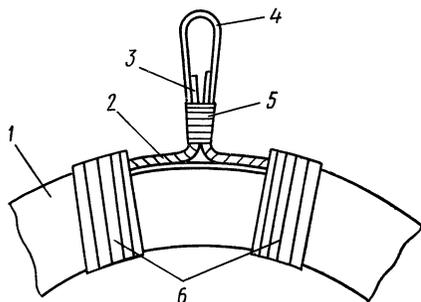


Рис. 65. Выполнение наружного регулировочного ответвления:

1 — катушка, 2 и 3 — электрокартонные коробки, 4 — регулировочная петля из собственного провода, 5 и 6 — бандажи из тафтяной ленты

петлю и закрепляют ее тремя-четырьмя витками хлопчатобумажной ленты. Подкладывают под провод в месте вывода петли электрокартонную коробку 2 и накладывают на катушку с обеих сторон петли бандажи 6 из хлопчатобумажной ленты. После выполнения петли и ее закрепления продолжают дальнейшую намотку обмотки, как описано выше. Обмотку снимают со станка, вытаскивают технологические планки (пластины) и отправляют обмотку на дальнейшую технологическую обработку.

§ 38. Намотка дисковых обмоток

Обмотки ВН некоторых печных и специальных трансформаторов выполняют в виде одинарных или двойных дисковых катушек, количество которых задается расчетной запиской.

Технологический процесс намотки двойных дисковых катушек ВН аналогичен намотке непрерывных обмоток, но в зависимости от исполнения двойные дисковые катушки ВН могут отличаться количеством витков в катушке, сечением и изоляцией обмоточного провода, количеством параллельных проводов, радиальными и осевыми размерами, размерами охлаждающих каналов и направлением намотки (левая или правая). Намотку дисковых катушек начинают по часовой стрелке при левой и против — при правой намотке.

Подготовка к намотке. Намотку дисковых катушек производят на шаблоне, установленном и закрепленном на шпинделе намоточного станка (рис. 66). Барабан с обмоточным проводом устанавливают в тормозную стойку 1, на вал намоточного станка вплотную к планшайбе насаживают деревянный диск 5,

основной шаблон 7 и вспомогательный шаблон 10 для временной укладки витков одной катушки. Конец обмоточного провода закрепляют на вспомогательном шаблоне прижимом 9.

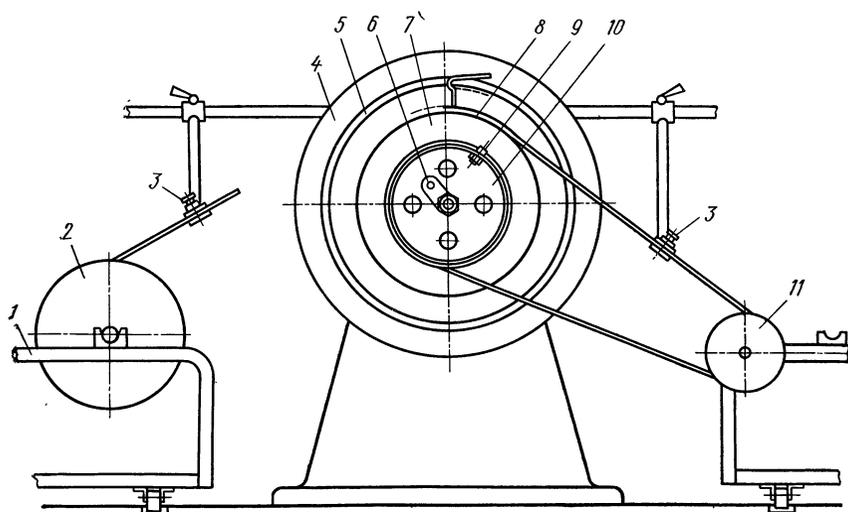


Рис. 66. Подготовка к намотке дисковых катушек:

1 — тормозная стойка, 2 — барабан с обмоточным проводом, 3 — натяжное приспособление, 4 — планшайба станка, 5 — деревянный диск, 6 — запирающая защелка, 7 — основной шаблон, 8 — технологический электрокартонный клин, 9 — прижим вспомогательного шаблона, 10 — вспомогательный шаблон, 11 — специальный барабан

Намотка двойной дисковой катушки ВН. Изготовление двойной дисковой катушки начинают с намотки на вспомогательный шаблон 6 (рис. 67) необходимого количества обмоточного провода для одной катушки. Витки укладывают свободно. После окончания намотки временной катушки провод переводят на основной шаблон 7 и подкладывают под него технологический электрокартонный клин 9. Место перехода изолируют электрокартонной коробочкой и тафтяной лентой. Переход 7 в постоянную катушку выгибают приспособлением. Обмоточный провод пропускают через натяжное приспособление и регулируют натя-

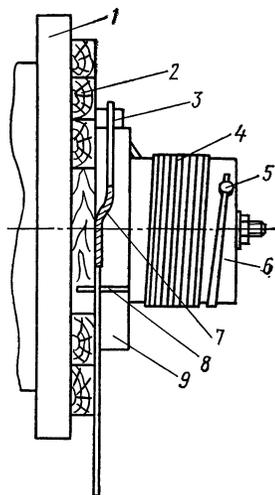


Рис. 67. Намотка дисковой катушки:

1 — планшайба намоточного станка, 2 — деревянный диск, 3 — основной шаблон, 4 — обмоточный провод (намотка временной катушки), 5 — прижим вспомогательного шаблона, 6 — вспомогательный шаблон, 7 — переход в постоянную дисковую катушку, 8 — киперная лента, 9 — технологический электрокартонный клин

жение, подкладывают под провод киперную ленту 8 рядом с переходом и наматывают на шаблон 3 постоянную катушку, укладывая радиально витки вплотную один на другой (количество витков — по расчетной записке и чертежу). После окончания намотки постоянной катушки отрезают провод, а катушку связывают у перехода ранее заложённым ленточным биндажом — киперной лентой 8.

После этого выключают защелку, запирающую вспомогательный шаблон, ослабляют натяжение обмоточного провода, намотанного на вспомогательный шаблон, пропускают обмоточный провод через натяжное приспособление и специальный барабан, регулируют натяжение провода, включают станок в обратном направлении и наматывают на шаблон 3 рядом с намотанной постоянной катушкой вторую постоянную катушку.

После намотки второй постоянной катушки ее закрепляют ленточным биндажом. Отрезают лишний обмоточный провод. Намотанную двойную дисковую катушку снимают с шаблона, предварительно вынув технологический электрокартонный клин 9. Катушку изолируют по указанию в чертеже.

§ 39. Ремонт обмоток

Замена нескольких витков двухслойных цилиндрических обмоток. Обмотку закрепляют на шаблоне, установленном на намоточном станке ТТ-20 или ТТ-22. Снимают (разрезают или разматывают) биндаж наружного слоя и ставят временный с таким расчетом, чтобы обмотка не распустилась после смотки дефектных заменяемых витков. Осторожно снимают опорное кольцо; если оно повреждено, то делают новое по образцу. Распускают (разматывают) витки и отрезают провод с некоторым запасом по длине от места повреждения.

Если вместе с проводом подгорели опорные рейки, то обгоревшие места срезают до чистого картона. Взамен устанавливают новые полоски на провяленном бакелитовом лаке.

Подготавливают место пайки проводов и припаивают новый провод (провода) достаточной длины для домотки обмотки и вывода конца.

Домотку обмотки, закрепление крайних витков опорного кольца и выводного конца выполняют согласно технологии, изложенной в § 35.

Снимают временный биндаж и, если обмотка была пропитана и запечена, домотанные витки промазывают жидким бакелитовым лаком. Накладывают общий биндаж на всю обмотку и также промазывают жидким бакелитовым лаком. Если обмотка намотана в два и больше параллельных проводов, то места паек сдвигают друг относительно друга с шагом 100—150 мм.

Аналогичным приемом выполняют частичную перемотку многослойных цилиндрических обмоток, намотанных круглым проводом.

Частичная перемотка непрерывных обмоток

с заменой нескольких катушек. Обмотку, намотанную на жестком бумажно-бакелитовом цилиндре, устанавливают на намоточный станок: в цилиндр заводят раздвижной шаблон, затем его вместе с обмоткой устанавливают на станок ТТ-21 и разжимают до надежного закрепления цилиндра обмотки.

Если обмотка намотана без жесткого цилиндра, то для установки на станок необходимо пользоваться универсальным шаблоном, для чего пользуются сменными балками в количестве, равном числу столбов прокладок (опорных реек). Можно применять и жесткие шаблоны, на которых обмотки крепятся расклиновкой, толщина деревянных планок подбирается по соответствующим диаметрам. В некоторых случаях можно установить обмотку на раздвижном шаблоне с подкладкой под свободные опорные рейки деревянных планок с последующим их креплением на шаблоне.

Замена крайних катушек. Срезают бандажи крепления катушек и выводного конца, разматывают дефектные катушки, подсчитывая витки в каждой из них. Обгоревшие и потемневшие места опорных реек срезают до чистого картона и приклеивают вставки. Выполняют пайку, опиловку и изолировку обмоточного провода (проводов). Наматывают новые катушки, крепят выводной конец и бандажируют согласно технологии, описанной в § 37.

Замена катушек в средней части обмотки. Это более сложная технологическая операция. До замены дефектных катушек обмотку необходимо распрессовать — сдвинуть неповрежденные крайние катушки в осевом направлении для получения свободной технологической зоны в месте перемотки. Сдвиг производят приемом расклиновки, когда деревянные клинья забивают между дистанцирующими прокладками первого канала равномерно по окружности, затем второго и т. д. до места повреждения.

Величина сдвига катушек определяется рабочей зоной, необходимой для намотки последней перекладной катушки. Перед смоткой дефектных катушек на ближайшие неповрежденные накладывают временные бандажи. Ремонт опорных реек, пайку проводов, намотку катушек выполняют по типовым технологическим приемам.

Ответственной операцией является натяжение и пайка последнего вматываемого витка, так как после пайки виток должен встать на место с определенным натягом во избежание отслоения. Для этого перед выполнением пайки точно отмечают положение провода, когда он находится на месте последнего витка. Провод откусывают по разметке и размещают в технологическом канале по внутреннему диаметру обмотки (по рейкам), тем самым образуется достаточный запас длины для удобства пайки. Спаянный провод изолируют и устанавливают на катушку. При правильной разметке и пайке виток в последних нескольких межреечных полях не устанавливается. После того как катушки будут сдвинуты назад, виток встает на место.

Замена катушек дисковых обмоток. Дисковые катушки заготавливают по имеющейся технической документации за-

ранее. Если последней нет, то обмоточные листы или чертеж готовят после съема и размотки дефектных дисков и обработки исходных данных.

При ремонте с обмотки снимают неповрежденные диски, подклеивают дефектные рейки в зоне повреждения, устанавливают вновь изготовленные и снятые ранее диски и выполняют пайку переходов между ними.

При повреждении нескольких витков или параллельных проводников одного диска ремонт можно выполнить без разборки обмотки.

Частичная перемотка винтовых обмоток. Установка винтовой обмотки на шаблон и станок производится аналогично непрерывной.

При подготовке к ремонту заготавливают обмоточные провода. Число барабанов допускается сокращать при размещении на одном барабане двух (иногда и трех) параллельных проводов, кроме того на стойку устанавливают пустые барабаны для сматываемых проводов.

На два-три витка, расположенные за местом повреждения, если смотреть со стороны размотки, накладывают бандаж в трех-четырех местах по окружности, разматывают обмотку до места повреждения, сматывая провода на свободные барабаны. Откусывание проводов производят последовательно с шагом 150—200 мм, чтобы места паек не накладывались друг на друга. Если нужного провода не имеется в достаточном количестве, то производят впайку отрезков провода взамен выгоревших. Домотка в этом случае выполняется собственным проводом обмотки.

При необходимости ремонтируют опорные рейки, заменяют дистанцирующие прокладки.

Намотку, возможное выполнение транспозиции, крепление крайних витков и выводного конца производят в соответствии с технологией, изложенной в § 36.

Контрольные вопросы

1. Какими приспособлениями пользуются при намотке отдельных исполненных обмоток?
2. Назовите основные отличия полной и частичной перемотки обмоток.
3. В чем заключаются приемы работы обмоток?

Обмотки измерительных трансформаторов (напряжения и тока)

§ 40. Общие сведения

Обмотки НН (вторичные) трансформаторов напряжения выполняются цилиндрическими простыми или двухслойными, намотанными на цилиндры (гильзы) из электрокартона.

Обмотки ВН (первичные) трансформаторов напряжения выполняются многосложными цилиндрическими катушечными, состоящими из двух катушек, соединенных последовательно. Строение многослойной катушечной обмотки ВН трансформатора напряжения НОМ-35-66 (на 35 кВ) показано на рис. 68.

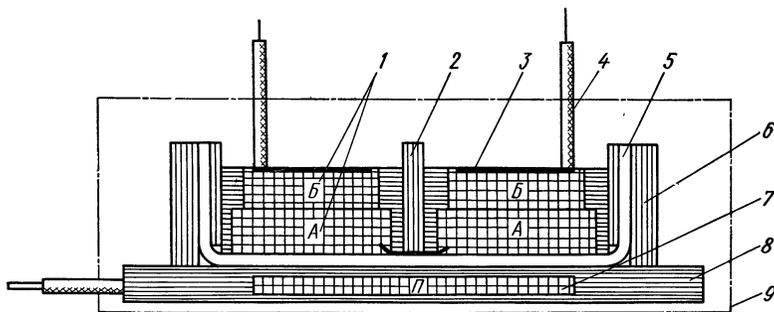


Рис. 68. Строение обмоток трансформатора напряжения типа НОМ-35-66:

1 — обмотка ВН (катушки А и Б), 2 — шайбы из электрокартона, 3 — электростатический экран, 4 — общий выводной конец (из гибкого провода) от обмотки ВН и электростатического экрана, 5 — отбортованный цилиндр из кабельной бумаги, 6 — шайбы концевые из электрокартона, 7 — обмотка НН (П), 8 — цилиндр из электрокартона, 9 — контуры окна магнитопровода

Применение многослойной катушечной обмотки преследует две цели. Во-первых, уменьшается (в два раза) напряжение между слоями, что позволяет уменьшить толщину междуслойной изоляции (обмотка ВН имеет большое число витков и, следовательно, большое напряжение между слоями) и, во-вторых, оба выводные конца обмотки получаются снаружи обмотки.

Для обмоток ВН трансформаторов напряжения ввиду малых значений тока требуется обмоточный провод малых диаметров. Но провода диаметром менее чем 0,2 мм не применяются, хотя по значению тока можно было бы взять провод меньшего диаметра. Это обусловлено технологическими соображениями. Имеется в виду, что у высоковольтных трансформаторов напряжения междуслойная изоляция состоит из нескольких слоев кабельной бумаги, и поэтому, чтобы обеспечить хорошее натяжение провода для получения более плотной намотки, нужно иметь достаточную механическую прочность провода, избегая возможности его обрыва при намотке катушки.

Вторичные обмотки трансформаторов тока выполняют цилиндрическими многослойными и вмотанными в ленточный магнитопровод (сердечник). Ремонт последних требует наличия специальных станков, при помощи которых производится вмотка катушек в замкнутый магнитопровод, поэтому ремонт таких катушек ввиду его сложности в данной книге не рассматривается.

Многие типы измерительных трансформаторов тока и напряжения имеют конструкции с применением литой эпоксидной изоляции, поэтому обмотки таких трансформаторов ремонту не подлежат.

§ 41. Намотка обмоток НН и ВН трансформаторов напряжения

Основным оборудованием для намотки обмоток служит намоточный станок, показанный на рис. 69. Станок снабжен приводным электродвигателем, педалью с тормозной колодкой 7, счетчиком 1

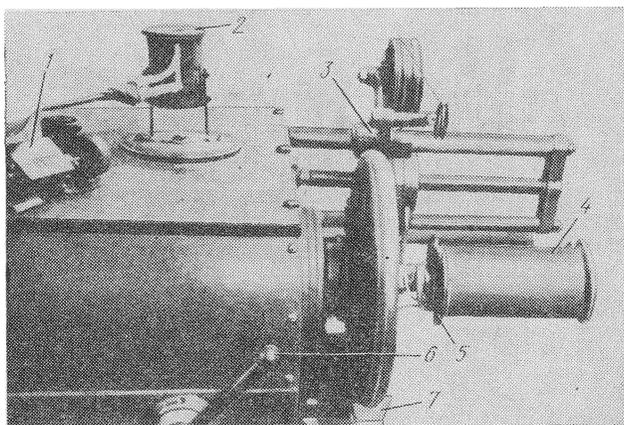


Рис. 69. Намоточный станок:

1 — счетчик оборотов шпинделя, 2 — паяльная ванна, 3 — механизм для автоматической раскладки витков, 4 — готовая обмотка НН, 5 — рукоятка переключения направления хода механизма для раскладки витков, 6 — шаблон (щека), 7 — тормозная колодка

числа оборотов шпинделя, механизмом 3 для автоматической раскладки витков, устанавливаемым в соответствии с диаметром провода, рукоятки 5 приспособления для перемены направления хода механизма 3 и паяльной ванны 2 для пайки проводов. Дополнительными приспособлениями являются: стойка для барабана с обмоточным проводом и натяжным устройством, газовая горелка и набор шаблонов 6 для намотки обмоток.

В набор инструмента входят: молоток, плоскогубцы, кусачки, напильник с мелкой насечкой, фибровая прокладка и т. д. Необходимыми вспомогательными материалами являются: припой, флюс, парафин, лента (киперная и тафтяная), бакелитовый лак и др.

В качестве примера типовой технологии намотки катушек трансформаторов напряжения может быть взят процесс намотки катушек трансформатора НОМ-35-66, как один из более сложных.

Намотка обмоток НН трансформатора НОМ-35-66. Намотка НН — цилиндрическая двухслойная. Порядок ее намотки следующий. На шпинделе 6 обмоточного станка устанавливают и закрепляют стальной шаблон со щеками 5 (рис. 70). На шаблон наматывают цилиндр из листа электрокартона толщиной 0,5 мм в три оборота и край листа промазывают густым бакелитовым лаком. Полученный цилиндр провальцовывают деревянным валиком и обвязывают хлопчатобумажной лентой. По краям цилиндра вплотную к щекам наматывают выравнивающие концевые полосы 2, концы которых подклеивают к цилиндру и также обвязывают лентой.

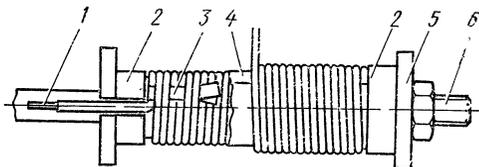


Рис. 70. Намотка двухслойной цилиндрической обмотки НН трансформатора типа НОМ-35-66:

1 — обмоточный провод, 2 — полоса концевая из электрокартона, 3 — петля из тафтяной ленты, 4 — междуслойная изоляция, 5 — стальная щека шаблона, 6 — шпиндель станка

Натяжение обмоточного провода должно быть отрегулировано так, чтобы была обеспечена плотная намотка катушки и в то же время не повреждалась изоляция провода. Отмерив длину выводного конца, на него надевают линкосиновую трубку, провод загибают, продевают под ленту, обвязывающую концевую изоляцию, укладывают в вырезе щеки шаблона и закрепляют, обернув конец провода за шпиндель.

Счетчик числа оборотов устанавливают на нуль и приступают к намотке катушки. На первый виток накладывают две петли из тафтяной ленты, как показано на рис. 70, наматывают 4—5 витков, затягивают петли, наматывают 2—3 витка под лентой и затем пропускают концы ленты под следующие витки. Далее, сняв временную ленту, обвязывающую цилиндр, продолжают намотку обмотки, наблюдая за тем, чтобы провод ложился ровно и плотно и чтобы на нем не было нарушения изоляции.

Намотав первый слой, укладывают междуслойную изоляцию 4 и поверх нее концевые полосы 2, обвязав их тафтяной лентой. Далее наматывают второй слой, уплотняя витки фибровым или деревянным клином. За 5—6 витков до конца второго слоя подкладывают петли из ленты и доматывают обмотку до нужного числа витков. Отмерив длину выводного конца, провод отрезают, надевают линкосиновую трубку, продевают через незатянутые петли тафтяной ленты и изгибают, петли затягивают. Выводной конец бандажируют к обмотке 6—8 оборотами ленты.

Готовую обмотку снимают со станка, вынимают шаблон, зачищают выводные концы на 50 мм и предъявляют работнику ОТК. Технический контроль заключается во внешнем осмотре, проверке размеров обмотки и провода, правильности расположения, крепе-

ния и изоляции выводных концов. Затем обмотку направляют на контрольный пункт испытательной станции для проверки числа витков и отсутствия виткового замыкания.

Намотка обмоток ВН трансформатора НОМ-35-66. Обмотка ВН выполняется цилиндрической катушечной (из двух катушек). Ее наматывают поверх обмотки НН, предварительно положив на нее изоляцию из электрокартона и кабельной бумаги.

Обмотку НН устанавливают на станок, промазывают бакелитовым лаком и наматывают на нее листовой электрокартон, ширина которого равна осевому размеру обмотки (по щекам). Общая радиальная толщина должна быть 6 мм. Конец листа промазывают снизу бакелитовым лаком, провальцовывают деревянным валиком

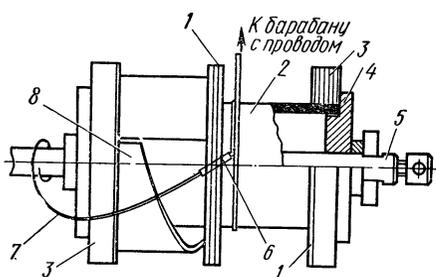


Рис. 71. Намотка многослойной цилиндрической катушечной обмотки ВН трансформатора типа НОМ-35-66:

1 — промежуточная шайба из электрокартона, 2 — изоляционный цилиндр, намотанный поверх обмотки НН (отбортованный цилиндр из кабельной бумаги не показан), 3 — временное (технологическое) выравнивающее кольцо, 4 — стальная щека шаблона, 5 — шпиндель станка, 6 — линооксиновая трубка, 7 — обмоточный провод, 8 — временная дистанцирующая гофрированная полоса из электрокартона

бы совпадение надрезов было не более 25%. Края бумаги обрезают, смазывают лаком и бандажируют тафтяной лентой.

Далее, сняв обмотку со станка и сняв тафтяную ленту, поверх цилиндра из кабельной бумаги надевают шайбы из электрокартона 2 (см. рис. 68) и 1 (рис. 71), отгибают вручную надсеченные края кабельной бумаги и надевают временные технологические кольца 3 (рис. 71). Шайбы располагают таким образом, чтобы в середине обмотки общая их толщина составляла 8 мм, а по краям — 3 мм. Крайние шайбы прижимают к аккуратно и тщательно расправленным надсеченным краям отбортованного цилиндра и между крайними и средней шайбами устанавливают технологические дистанцирующие прокладки из гофрированной картонной полосы 8 шириной 75 мм, закрепляя их двумя-тремя оборотами киперной ленты.

Собранный комплект со стальными щеками 4 шаблона устанавливают на шпиндель 5 станка и закрепляют. Так как направле-

и временно обвязывают несколькими оборотами киперной ленты. Далее края электрокартона смазывают лаком, снимают временную обвязку и плотно накатывают цилиндр из полосы кабельной бумаги на общую толщину 6 мм. Полоса должна быть надсечена с обеих сторон на глубину 65 мм с шагом 16 мм; ширина полосы — больше осевого размера обмотки. Надсеченные края бумаги, будучи отогнуты, образуют также изоляцию торцов обмотки (см. рис. 68, поз. 5). При накладке полосы следят за тем, чтобы надсеченные края не подвертывались, выступали одинаково с обеих сторон и что-

ние намотки катушек ВН левое, то начинают наматывать катушку, находящуюся справа (у которой начало будет слева). Первый (и последний) слой каждой катушки наматывают обмоточным проводом диаметром 0,74 мм (усиленного сечения) марки ПЭЛ. Конец провода 7 с надетой на него линооксиновой трубкой 6 продевают под средние шайбы 1 и закрепляют его, как показано на рис. 71.

Счетчик оборотов устанавливают на нуль и наматывают первый слой катушки А, (см. рис. 68) предварительно подложив под него полосу электрокартона (чтобы не дать сдвигаться шайбам) и междуслойную изоляцию. После намотки первого слоя кладут междуслойную изоляцию, обрезают провод диаметром 0,74 мм, припаивают провод диаметром 0,2 мм (основного размера) марки ПЭЛ, изолируют локотканью место пайки и продолжают намотку катушки А, прокладывая после каждого слоя междуслойную изоляцию.

Приспособление для раскладки витков в слое должно быть установлено в соответствии с диаметром наматываемого провода. При переходе в катушку Б (меньшего осевого размера) кладут междуслойную изоляцию с более широкими отогнутыми краями. В конце предпоследнего слоя провод обрезают, спаивают с проводом диаметром 0,74 мм, изолируют место пайки, укладывают междуслойную изоляцию и электростатический экран 3 (см. рис. 68), состоящий из латунной фольги, уложенной на полосу из электрокартона с загнутыми краями. Экран кладут таким образом, чтобы его выводной конец, который будет служить также и выводом от катушки, был обращен к ее торцу.

Поверх экрана кладут два слоя междуслойной изоляции и наматывают последний слой катушки Б с поджимкой изоляции фибровым клином, чтобы экран плотно прилегал к катушке. Провод обрезают и припаивают к экрану. Сверху катушку обертывают полосой электрокартона, через отверстие в котором пропускают выводной конец. После этого катушку бандажируют тафтяной лентой.

Намотанную первую группу катушек ВН (А — Б) вместе с обмоткой НН снимают с обмоточного станка, разворачивают на 180° другим концом обмотки, вновь устанавливают на станок и закрепляют для намотки второй группы катушек обмотки ВН. Снимают временную гофрированную полосу, к началу только что намотанной катушки припаивают провод диаметром 0,74 мм, изолируют место пайки и наматывают вторую группу катушек, полностью повторив все технологические операции, выполненные при намотке первой группы катушек.

Готовую обмотку снимают со станка, освобождают от щек и технологических колец, на место последних устанавливают комплект шайб 6 (см. рис. 68), временно обвязав их в двух-трех местах киперной лентой в осевом направлении. Затем обмотку окончательно отделяют, обрезают выступающие за шайбы надсеченные концы отбортованного цилиндра 5, зачищают выводные концы и предъявляют работнику ОТК для технического контроля. После этого обмотку отправляют в пропиточное отделение для предвари-

тельной сушки в вакуум-сушильном шкафу. После сушки обмотку ВН подают на контрольный пункт испытательной станции для проверки числа витков.

Предварительная сушка обмоток ВН трансформаторов напряжения на 35 кВ и выше необходима, так как при увлажнении изоляции обмотки, из-за возможного наличия токов утечки, проверка числа витков оказывается практически невозможной.

С испытательной станции обмотку вторично отправляют в пропиточное отделение для пропитки лаком МЛ-92. Процесс пропитки обмотки заключается в ее предварительном прогреве, сушке, пропитке лаком (методом окунания) и запекании.

Сушка обмотки имеет целью извлечения влаги из изоляции, состоящей в основном из волокнистых материалов, способных впитывать в себя атмосферную влагу. Даже при слабом увлажнении сильно снижается электрическая прочность изоляции и ее электрическое сопротивление. Пропитка лаками многослойной обмотки нужна для склеивания изоляции и витков с целью придания ей механической прочности.

Обмотка тонким проводом не дает возможности получить плотную намотку из-за недостаточного натяга провода, и поэтому может иметь место сдвиг слоев и витковое замыкание или даже обрыв провода.

После выгрузки из печи обмоткам дают остыть, затем еще раз подвергают техническому контролю и направляют для сборки трансформатора.

Намотка вторичных обмоток трансформаторов тока. Выше было сказано, что лишь у некоторых типов трансформаторов тока возможен ремонт вторичных обмоток. В условиях ремонтных мастерских это относится к трансформаторам тока, которые могут быть разобраны для снятия обмоток для ремонта. В основном это трансформаторы, имеющие шихтованные магнитопроводы (сердечники), такие, как, например, трансформаторы ТҚФ-3, ТФ-10, ТПФ-10, ТПФМ-10 и др.

Вторичные обмотки трансформаторов тока — слоевые, намотанные на изоляционные прямоугольные каркасы. При перемотке обмоток трансформаторов тока особое внимание должно быть обращено на соблюдение заводской раскладки витков и общей формы и размеров обмотки. Витки обмотки должны быть равномерно распределены по ее высоте, особенно в ее последнем слое (у многослойной обмотки).

Направление намотки также имеет существенное значение. Оно должно совпадать с направлением намотки первичной обмотки, т. е. направление обхода должно быть одинаковым от I_1 к I_2 и от L_1 к L_2 (обозначения указаны на трансформаторе).

Вторичные обмотки после перемотки должны быть пропитаны соответствующими лаками (асфальтовым или глифталевым) с последующими сушкой и запеканием по заводской инструкции.

Установку первичной обмотки на магнитопровод следует производить симметрично относительно вторичной, т. е. в соответствии

с первоначальным (заводским) ее расположением. Изменение положения может изменить погрешности трансформатора тока.

Перемотка вторичных обмоток трансформаторов тока, имеющих ленточные магнитопроводы, значительно сложнее. В случае крайней необходимости она может быть выполнена вручную, с обязательным соблюдением первоначального расположения витков и размеров.

Контрольные вопросы

1. Почему для первичной (ВН) обмотки трансформаторов напряжения применяются многослойные катушечные обмотки?
2. Чем снабжен обмоточный станок?
3. Для чего нужно переворачивать многослойную катушечную обмотку перед намоткой второй катушки?
4. Зачем требуется сушка обмоток ВН трансформатора напряжения на 35 кВ и выше перед проверкой числа витков?
5. Для чего требуется добиваться симметричного расположения первичной и вторичной обмоток трансформаторов тока?

Глава девятая

Обработка обмоток

Процессы обработки обмоток на различных ремонтных предприятиях отличаются технологией, в соответствии с которой находится и уровень оснащенности производства. Стяжка, прессовка, сушка, пропитка и запекание обмоток существенно влияют на качество обмоток и срок их службы. Перечисленные технологические процессы решают следующие задачи: обеспечивают удаление влаги, имеющейся в изоляции обмоток; способствуют механической прочности обмоток; улучшают условия теплопроводности изоляции; облегчают монтаж обмоток во время ремонта трансформаторов.

§ 42. Стяжка обмоток

В соответствии с массой, диаметром и высотой стягиваемой обмотки подбирают прессующие плиты и стягивающие шпильки. Наружные диаметры прессующих плит должны быть больше наружного диаметра обмотки на 80—100 мм, внутренний диаметр нижней плиты должен быть меньше, а верхней — больше диаметра бумажно-бакелитового цилиндра на 10—20 мм.

В отверстия нижней плиты устанавливают равномерно по окружности стяжные шпильки с закрепленными на них гайками. Нижнюю плиту укладывают на горизонтальную площадку — рабочее место стяжки обмоток. Для стяжки обмоток III габарита под нижнюю плиту подкладывают три деревянные планки толщиной 45—50 мм, равномерно расположенные по окружности плиты. На плиту равномерно по окружности укладывают деревянные планки 5 одинакового размера (рис. 72), количество которых соответст-

ует количеству реек, расположенных по периметру обмотки. Длина планок равняется радиальному размеру обмотки плюс 80—100 мм. В отдельных случаях планки могут быть установлены против трех-четырех столбов дистанционных прокладок со смещением на угол для фиксирования положения бумажно-бакелитового цилиндра 3. Для прессовки обмоток с концевой изоляцией (опорными кольцами) могут быть установлены деревянные планки 4, перекрывающие две рейки.

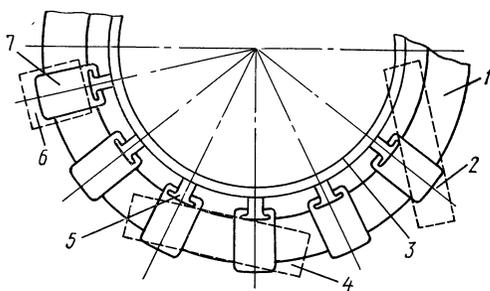


Рис. 72. Подготовка к стяжке и прессовке обмоток:

1 — обмотка, 2, 4 и 5 — деревянные планки, 3 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 6 — электрокартонная рейка, 7 — дистанцирующая прокладка

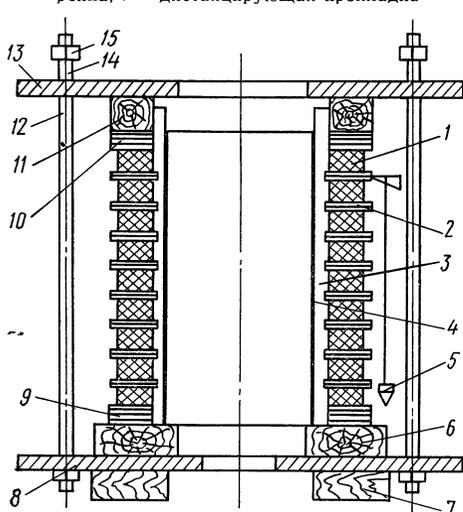


Рис. 73. Стяжка обмоток:

1 — обмотка, 2 — дистанцирующая прокладка, 3 — рейка, 4 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 5 — отвес, 6, 7 и 11 — деревянные планки, 8 — нижняя стальная плита, 9 — нижнее опорное кольцо, 10 — верхнее опорное кольцо, 12 — стяжная шпилька, 13 — верхняя стальная плита, 14 — дистанционная втулка, 15 — гайка

На верхний торец опорного кольца 10 (рис. 73) против каждой дистанционной рейки 3 устанавливают деревянные планки 11 шириной, равной радиальному размеру обмотки, и толщиной 30—45 мм. Высоту планок выбирают такой, чтобы прессующая плита после окончания прессовки обмотки не упиралась в верхний торец цилиндра или в концы обмоток или реек (последние обрезают при сборке трансформатора), но не менее 100 мм.

На деревянные планки устанавливают верхнюю стальную прессующую плиту 13, стяжные шпильки 12 пропускают через отверстия в верхней плите. На стяжные шпильки надевают дистанционные втулки 14, устанавливают гайки 15 и производят предварительную стяжку обмотки для отделки.

Стяжку цилиндрических слоев обмоток производят в вертикальном положении крестовинами (рис. 74, а).

В соответствии с диаметром и высотой стягиваемой обмотки подбирают крестовины 2, 4 и шпильку 6. Длина крестовины должна быть примерно на 30—50 мм больше наружного диаметра стягиваемой обмотки 1, длина шпилек должна соответствовать суммарной высоте обмотки, крестовин, дистанционной втулки, гаек и подъемного кольца. Резьба на шпильке после стяжки обмотки должна выступать сверху минимум на 30 мм.

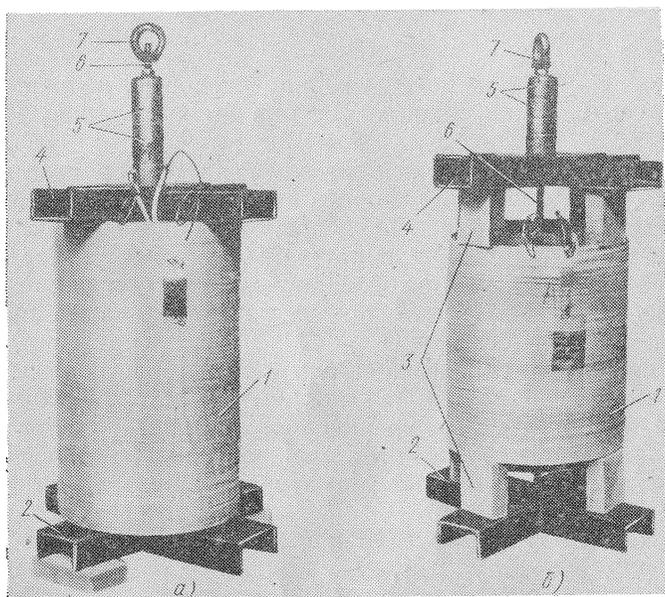


Рис. 74. Стяжка цилиндрических слоев обмоток:

а — осевые размеры обмотки и бумажно-бакелитового цилиндра одинаковые, *б* — осевой размер бумажно-бакелитового цилиндра больше осевого размера обмотки; 1 — обмотка, 2 — нижняя крестовина, 3 — деревянные бруски, 4 — верхняя крестовина, 5 — дистанционные втулки, 6 — шпилька, 7 — рым-гайка

В отверстие нижней крестовины устанавливают стяжную шпильку 6 с шайбой и рым-гайкой 7, крестовину укладывают на подготовленное рабочее место и устанавливают обмотку. Укладывают верхнюю крестовину, стяжную шпильку предварительно пропускают через отверстие в крестовине, устанавливают дистанционную втулку 5 и наворачивают гайки.

Проверяют положение обмотки в крестовинах на отсутствие смещения и затягивают гайку.

В отдельных типах обмоток осевой размер бумажно-бакелитового цилиндра больше осевого размера обмоток (рис. 74, б). В этом случае под верхние крестовины подкладывают выравнивающие деревянные планки на 15—20 мм более осевого размера цилиндра.

До прессовки обмотку осматривают и выполняют предварительную отделку, заключающуюся в устранении дефектов витковой изоляции, правке столбов дистанцирующих прокладок, правке переходов между катушками и переходов в местах транспозиции винтовых обмоток, в устранении других замеченных дефектов.

§ 43. Прессовка обмоток

Прессовка обмоток (имеются в виду дисковые, непрерывные и винтовые обмотки), как правило, состоит из двух этапов: до и после сушки.

Прессовку до сушки производят для создания предварительно до давления, под действием которого обмотка во время сушки осаживается. Для увеличения осадки обмоток применяют или повышенное давление затяжки, или пружины, которые устанавливают над верхней прессующей плитой. При значительном усилии на одна шпильку — более 5 тонн — применяют тарельчатые пружины, при меньшем — винтовые.

После сушки обмотки допрессовывают до расчетного осевого размера (расчетной высоты). Отклонение от расчетной высоты более 0,5% приводит к усложнению сборки трансформатора:

при излишней высоте обмоток сложно, а подчас и невозможно собрать активную часть трансформатора (зашихтовать верхнее ядро);

при недостаточной высоте (например, обмоток НН) в собранном трансформаторе обмотки могут остаться незапрессованными, что неизбежно приведет к аварии.

В рассматриваемых типах обмоток высота набора дистанцирующих прокладок составляет 30—60% их полной высоты.

В связи с тем, что электрокартон практически имеет завышенную толщину с отклонением от номинала до 10%, рассчитать, а тем более обеспечить при изготовлении точную расчетную высоту представляется сложной задачей, кроме того, к увеличению в момент обработки фактической толщины электрокартона приводит его увлажнение.

В практике изготовления обмоток для получения расчетной высоты и уменьшения усадки в эксплуатации пользуются в основном предварительной опрессовкой заготовок из электрокартона до номинальной толщины прокладкой в обжимном станке с калиброванным зазором между валами. Эта операция называется каландрированием, а картон, прошедший эту операцию — каландрированным.

Этот прием, однако, не всегда приводит к желательному результату, тогда приходится подгонять осевой размер обмотки путем выбивания прокладок при излишней высоте или вставки дополнительных прокладок при недостаточной высоте.

§ 44. Сушка

Все изоляционные материалы на основе целлюлозы (кабельная, телефонная и крепированная бумага, электрокартон, бумажно-бакелитовые цилиндры) и хлопок (тафтяная и киперная лента) активно впитывают влагу из атмосферы, соответствующего относительной влажности воздуха и атмосферному давлению. У увлажненной изоляции резко падает электрическая прочность и увеличивается объем — изоляция разбухает.

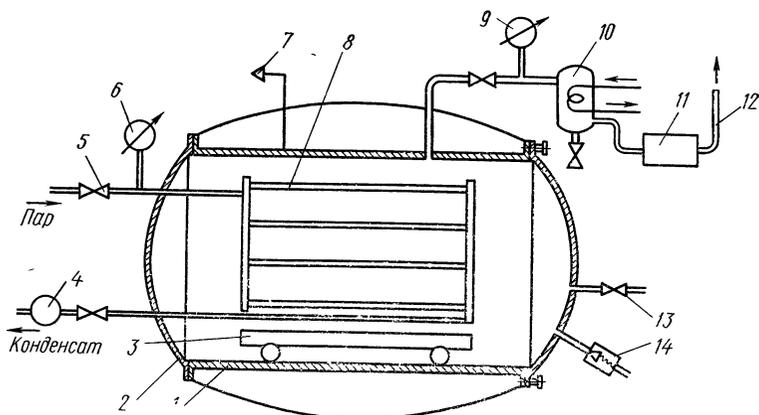


Рис. 75. Горизонтальная вакуум-сушильная камера:

1 — сварной бак, 2 — крышка, 3 — тележка, 4 — бачок для конденсата, 5 — задвижка Лудло, 6 — манометр, 7 — термометр сопротивления, 8 — радиаторы парового обогрева, 9 — вакуумметр, 10 — конденсационная колонка, 11 — вакуумный насос ВН-6, 12 — выхлопная труба, 13 — кран для снятия вакуума, 14 — предохранительный клапан

Процесс увлажнения носит двойственный характер, с одной стороны молекулы воды заполняют поры между волокнами, с другой — часть молекул присоединяется к молекулам целлюлозы, т. е. находится в молекулярной связи. И те и другие молекулы увлажняют изоляцию, но влияние их различно. Молекулы воды, находящиеся в молекулярной связи, практически не влияют на разбухание и до определенной величины приложенного напряжения на электрическую прочность. Изоляция, имеющая молекулярно-связанную воду, эластична и прочна. Если в процессе длительной вакуумной сушки удалить молекулярно-связанную воду, изоляция станет хрупкой и непрочной, но с очень высокими электроизоляционными свойствами.

Процесс сушки обмоток трансформаторов состоит в удалении воды, находящейся в материале изоляции в свободном состоянии. На качество и скорость сушки влияют следующие основные факторы: температура, относительная влажность окружающего изоляцию воздуха, внешнее по отношению к изоляции барометрическое

давление, скорость движения воздуха непосредственно у поверхности изоляции и величина поверхности изоляции.

На трансформаторных заводах сушку обмоток производят в вакуум-сушильных камерах с паровым обогревом.

Основной частью вакуум-сушильной камеры является сварной корпус — бак 1 (рис. 75), на раме которого имеется уплотняющая прокладка из термостойкой резины. Крышка 2 закреплена на приспособлении, при помощи которого она открывается и закрывается. Во время сушки дверь крепят откидными болтами. На внутренней поверхности и дне камеры располагают радиаторы парового обогрева 8, по которым пропускают пар, поднимающий температу-

туру в шкафу до $100\text{--}110^\circ\text{C}$. Для уменьшения потерь тепла наружные поверхности корпуса и крышки имеют теплоизоляционное покрытие.

Остаточное давление в камере создается вакуумным насосом. На пути от шкафа к вакуум-наосу установлена конденсационная колонка, где проходящие пары влаги конденсируются и стекают в виде конденсата (воды). Кроме того, колонка защищает вакуум-насос от попадания в него воды и позволяет учитывать количество влаги, вышедшей из обмотки. Для измерения остаточного давления в шкафу, установлен прибор ВСБ-1 (вакуумметр сопротивления блокировочный) для измерения температуры — термометр со-

противления. Ход сушки ежедневно контролируют, измеряя количество выделившейся влаги.

Процесс вакуумной сушки подразделяется на три основных этапа: 1 — поднятие температуры внутри сушильной камеры до установленной величины; 2 — прогрев обмоток (когда обмотки прогреются до необходимой температуры, создаются условия, благоприятные для выхода из них влаги); 3 — сушка обмоток (когда из обмоток удаляется большая часть влаги).

Обмотки для сушки с помощью приспособления, изображенного на рис. 76, устанавливают на специальной тележке в вакуумно-сушильную камеру, температура воздуха в которой должна быть не выше 50°C . Камеру герметически закрывают. Она сообщается с атмосферой посредством вентиля. Включают паровой обогрев радиаторов и начинают прогрев обмоток. Для сохранения изоляции обмотки ставят на расстоянии 200 мм от радиаторов. Температуру поднимают до $100\text{--}110^\circ\text{C}$ со скоростью 15°C в час, при этой температуре прогревают обмотки в течение 4 ч. Время прогрева от-

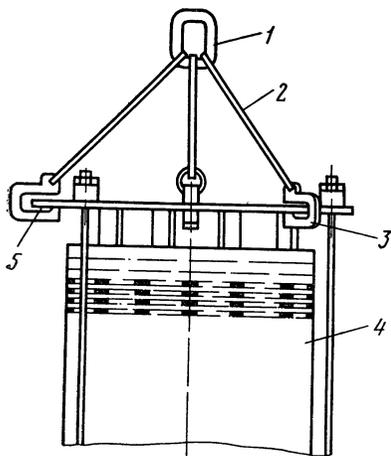


Рис. 76. Приспособление для подъема и перевозки обмоток:

1 — кольцо, 2 — строп (канат стальной), 3 — захват, 4 — обмотка, 5 — плита

считывается с момента установления температуры 100°C , после чего закрывают вентиль для впуска воздуха и включают вакуум-насос. Остаточное давление снижают ступенями по $13\,000$ — $20\,000$ Па и на каждой ступени выдерживают в течение часа.

В процессе сушки ведут журнал сушки, в который каждый час заносят температуру, остаточное давление в камере, давление пара и количество конденсата, выделившегося в течение часа. Критерием окончания сушки является прекращение выделения конденсата в течение трех измерений, сделанных с интервалом в 1 ч. Продолжительность сушки — 18 — 24 ч. По окончании сушки выключают паровой обогрев, останавливают вакуум-насос и открывают вентиль для впуска воздуха, после чего открывают дверь шкафа, выкатывают тележку и, не снимая обмоток, подтягивают гайки на стяжных шпильках. Далее разгружают тележку и передают обмотки на обработку.

На ремонтных предприятиях чаще всего используют термошкафы с электронагревом. В качестве нагревательных элементов таких шкафов используют ТЭНы с температурой нагрева не выше 350°C , так как при температуре более 400°C возможна вспышка паров растворителей пропиточных и покровных лаков. Из U-образных ТЭНов мощностью 1 — $1,5$ кВт и длиной 1 м образуют нагреватель с достаточной площадью излучения.

Для регулирования температуры может служить ртутный контактный термометр, контакты которого задействованы в цепи питания промежуточного реле управления контактором питания нагревателей. На термометре устанавливают предельную температуру нагрева шкафа: для сушки обмоток 105°C ; для запечки лака при изготовлении прессованных деталей изоляции 135°C . Шкаф снабжают вытяжной вентиляцией.

§ 45. Пропитка и запекание обмоток

Обмотки масляных и сухих трансформаторов I—II габаритов напряжением до 10 кВ пропитывают без предварительной сушки. Обмотки масляных трансформаторов I—II габаритов напряжением 35 кВ и обмотки специальных трансформаторов пропитывают после сушки и прессовки (см. предыдущий параграф).

Пропитка и запекание обмоток масляных трансформаторов. Обмотки масляных трансформаторов пропитывают лаком МЛ-92 методом окунания. Для получения рабочей вязкости лак разбавляют ксилолом или уайт-спиритом. Подготовленные для пропитки обмотки погружают в бак с лаком так, чтобы уровень лака был выше обмотки не менее чем на 50 — 100 мм, и выдерживают в лаке до прекращения выделения пузырьков воздуха, но не менее 5 — 10 мин. Обмотку вынимают из лака, ставят на поддон до полного стекания излишков лака и выдерживают на воздухе не менее 1 ч, после чего обмотки на специальной тележке загружают в шкаф (камеру) для запекания с обязательной циркуляцией воздуха. Приток свежего воздуха и выброс воздуха с па-

рами растворителей регулируется заслонками. После загрузки обмоток включаются обогрев воздуха и система циркуляции воздуха. Температуру в камере поднимают до $115 \pm 5^\circ \text{C}$.

При этой температуре обмотки запекают до исчезновения отлипа, но не менее 9 ч.

Пропитка и запекание обмоток сухих трансформаторов. Обмотки сухих трансформаторов, работающих в помещениях, защищенных от непосредственного попадания влаги при относительной влажности воздуха до 65%, пропитывают лаком БТ-987 (аналогично пропитке обмоток масляных трансформаторов). Пропитанные обмотки запекают при температуре $115 \pm 5^\circ \text{C}$ до исчезновения отлипа, но не менее 12 ч.

Обмотки сухих и специальных трансформаторов, работающих в помещениях с повышенной влажностью, пропитывают и запекают дважды: лаком МЛ-92 и эмалью ГФ-92 ГС. Обмотки, пропитанные лаком МЛ-92 и запеченные, погружают в бак с эмалью ГФ-92 ГС и выдерживают в течение 2 мин. После этого вынимают, ставят в поддон и дают стечь излишку эмали в течение 20 мин. Далее обмотки запекают в камере с проточным воздухом при температуре $115 \pm 5^\circ \text{C}$ до исчезновения отлипа, но не менее 6 ч.

§ 46. Отделка и упаковка

После прессовки и крепления в рамках производят отделку обмоток, состоящую из ряда операций, представляющих собой комплекс работ по обеспечению соответствия обмоток техническим требованиям.

Обрезают согласно указаниям на чертеже опорные рейки в верхней части обмоток. Подбивают и выправляют переходы проводов между катушками (витками). Обрезают свободные концы изоляционных лент. Проверяют изоляцию концов обмоток, сами концы выгибают и укладывают в соответствии с чертежом. Еще раз проверяют и при необходимости выравнивают столбы дистанцирующих прокладок, временно ослабив прессовку.

Обмотки, направляемые к месту ремонта трансформатора вне ремонтного предприятия, упаковывают. Упаковка производится в зависимости от транспортировки, погоды и сроков хранения. В любом случае применяют упаковочную водостойкую бумагу.

Для длительного хранения обмотки запаивают в мешки из полихлорвиниловой пленки и помещают в деревянные ящики.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение обработки обмоток: стяжки, отделки, пропитки и запекания?
2. Каковы особенности стяжки и прессовки непрерывных и винтовых обмоток?
3. Какие применяют приспособления при стяжке цилиндрических слоевых обмоток?
4. Для чего нужна сушка обмоток?

5. Опишите устройство вакуум-сушильных камер для сушки обмоток.
6. Каковы особенности пропитки и запекания обмоток сухих трансформаторов?

Глава десятая

Контроль и испытание обмоток

§ 47. Назначение контроля и его виды

От качества изготовления обмотки в значительной степени зависит надежность и долговечность работы трансформатора. Контроль за качеством изготовления обмоток осуществляется Отделом технического контроля (ОТК) предприятия, в задачу которого входит как выявление возможного брака, так и его предупреждение.

Однако получившая в последние годы распространение система бездефектного изготовления продукции налагает повышенную ответственность за качество изготовления обмоток непосредственно на исполнителей — рабочих-намотчиков, бригадиров и мастеров.

Контроль обмоток в процессе их изготовления может быть разделен на следующие основные этапы:

- а) контроль материалов и изоляционных деталей;
- б) контроль оснастки (шаблон, приспособления);
- в) контроль за соблюдением данных чертежей и расчетной записки (число витков, направление намотки, размеры, расположение выводных концов, регулировочных ответвлений и транспозиций);
- г) контроль за соблюдением технологических указаний;
- д) проверка обмоток на контрольном пункте (число витков, отсутствие обрыва и витковых замыканий);
- е) контроль после обработки обмоток в пропиточном отделении;
- ж) контроль после окончательной отделки обмоток перед отправкой их в сборочный цех (участок).

§ 48. Проверка обмоток на соответствие чертежам и расчетной записке

В процессе намотки обмотки подлежат контролю главным образом число витков, направление намотки и размеры, указанные в чертежах и расчетной записке. Основными размерами являются: внутренний диаметр обмотки (или диаметр шаблона и бумажно-бакелитового цилиндра, на которые наматывается обмотка), осевой размер цилиндра и обмотки, размеры выравнивающих колец или полос, толщина междуслойной изоляции, размер каналов. Проверяют также расположение и длину выводных концов и регулировочных ответвлений, размер, количество и расположение реек, выполнение переходов в непрерывной обмотке, правильность вы-

полнения транспозиций в винтовой обмотке и другие особые указания, содержащиеся в технических документах.

При смене бухты или барабана с обмоточным проводом необходимо проверить размер провода и его марку, а при сращивании проводов качество пайки, изоляцию места пайки и отсутствие повреждений изоляции провода.

По окончании намотки еще раз проверяют основные размеры обмотки по чертежам и ее внешний вид.

§ 49. Проверка обмоток на число витков и отсутствие обрывов и витковых замыканий

В тех случаях, когда число витков можно определить простым подсчетом (обмотки НН и обмотки ВН III габарита), проверку по методу электрического контроля не производят. У всех остальных обмоток число их витков проверяют на специальной установке контрольного пункта обмоточного цеха. Одновременно с этим производят проверку отсутствия обрыва провода и замыкания витков.

Принцип работы установки для проверки числа витков основан на сличении испытуемой обмотки с образцовой, число витков которой заранее известно (дифференциальный метод). На рис. 77 изображена принципиальная схема такой установки.

При равенстве чисел витков испытуемой 1 и образцовой 4 обмоток индикатор 8 будет находиться в нулевом положении. Если число витков испытуемой обмотки будет отличаться от числа витков образцовой, то при помощи переключателей 6 и 7 добиваются нулевого показания индикатора 8. Тогда по числу встречно или согласно включенных витков дополнительной обмотки 5 определяют число недомотанных или лишних витков испытуемой обмотки. Для обмоток силовых трансформаторов допуск на число витков установлен не более $\pm 0,2\%$.

У обмоток трансформаторов большой мощности отсутствие замыкания между витками в непрерывной обмотке и между параллельными проводами в винтовой обмотке

проверяется при помощи специального прибора.

Правильность выполнения транспозиций в винтовых обмотках проверяется путем сверки намотанной обмотки с чертежом и расчетной запиской и «прозвонкой» с помощью контрольной лампы на отсутствие замыканий между параллельными проводами, а также для проверки порядка расположения их в начале и конце обмотки.

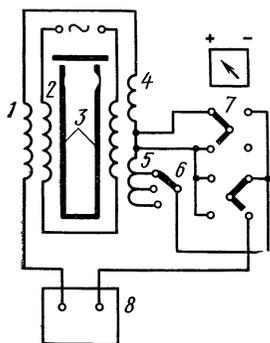


Рис. 77. Принципиальная схема проверки числа витков обмоток дифференциальным методом:

1 — испытуемая обмотка, 2 — возбуждающая (питающая) обмотка, 3 — магнитопровод со съемным верхним ярмом, 4 — образцовая обмотка, 5 — образцовая дополнительная обмотка, 6 — переключатель числа витков обмотки 5, 7 — переключатель направления витков обмотки 5, 8 — индикатор (микроамперметр)

Непрерывные и винтовые обмотки после их намотки подлежат стяжке в осевом направлении при помощи специальной технологической оснастки (стальные шайбы, стягиваемые шпильками). Стяжку производят как до сушки обмоток, так и после, так как происходит усадка картонных прокладок в каналах между катушками и витками. Окончательный осевой размер обмотки должен быть проверен на соответствие данным чертежей.

После испытания на контрольном пункте обмотки направляют в пропиточное отделение, где они проходят сушку, пропитку и запекание в соответствии с заводскими инструкциями. Режимы указанных операций контролируются проверкой записей в журналах режимов и контрольными замерами.

После остывания обмотки и демонтажа оснастки для прессовки (у непрерывных и винтовых обмоток) обмотка подвергается окончательному контролю качества выполненных работ и ее внешнего вида.

§ 50. Проверка обмоток измерительных трансформаторов на спецстенде на соответствие классу точности

Методика проверки числа витков измерительных трансформаторов принципиально остается той же что и для силовых — применяется дифференциальный метод сравнения испытуемой обмотки с образцовой. Основное отличие заключается в более точном определении числа витков, так как измерительные трансформаторы должны вносить лишь минимальные значения погрешности при измерении с их помощью напряжений и токов.

В частности, к установкам для проверки числа витков трансформаторов напряжения предъявляются особо жесткие требования. Число витков обмоток ВН (а следовательно, и их сопротивление при тонком проводе) у этих трансформаторов значительно больше, чем у силовых трансформаторов. В связи с этим должен применяться более чувствительный индикатор (см. поз. 8 рис. 77). В качестве такового обычно применяется ламповый индикатор.

После перемотки обмоток измерительных трансформаторов и установке их на магнитопроводы, т. е. после сборки трансформаторов, должны быть измерены их погрешности на соответствие классам точности. Измерение погрешностей производят на специальном приборе АИТ дифференциально-нулевым методом, путем сравнения испытуемого трансформатора с образцовым, имеющим такой же коэффициент трансформации и заведомо известные значения погрешности напряжения (или тока) и угловой погрешности. Образцовые трансформаторы должны иметь более высокие классы точности, чем проверяемые.

Каждый вышедший из ремонта измерительный трансформатор, у которого перематывались обмотки или он подвергался разборке, должен пройти государственную поверку, производимую органами Комитета стандартов Совета Министров СССР. В подтверждение прохождения такой поверки на измерительные трансформаторы навешиваются специальные пломбы.

Контрольные вопросы

1. Кем выполняется контроль за производством обмоток?
2. Что проверяется в процессе изготовления обмоток?
3. На каком принципе основана установка для проверки числа витков обмоток?
4. Как проверяется отсутствие замыкания между витками в непрерывной обмотке?
5. В чем особенность проверки числа витков обмотки ВН трансформаторов напряжения?

Глава одиннадцатая

Техника безопасности и противопожарные мероприятия на предприятии

§ 51. Техника безопасности на территории предприятия

Задачи техники безопасности — на основе изучения производственных процессов и трудовых приемов установить и устранить причины, которые могут вызвать несчастный случай на производстве.

На каждом предприятии должен быть кабинет по технике безопасности для обучения работающих безопасному ведению работ. Кабинет должен быть оснащен витринами и плакатами, посвященными отдельным видам работ, на которых следует показать правильные и неправильные трудовые приемы, исправные и неисправные инструменты.

Каждый поступающий на предприятие должен подробно ознакомиться с требованиями техники безопасности, пройти вводный инструктаж и строго выполнять основные правила поведения во дворе и на подъездных путях: не перебегать перед близко идущим транспортом, не ездить на бортах и подножках машин и электрокар, не сходить с транспорта до полной его остановки, обходить места, где производятся погрузочно-разгрузочные работы, не проходить в местах, не предназначенных для прохода, и не подлезать под стоящими железнодорожными вагонами, не прыгать через открытые люки, канавы, колодцы, а обходить их, быть внимательным к сигналам, подаваемым водителями движущегося транспорта.

В обмоточно-изоляционном цехе (участке) у рабочих мест и на специальных цеховых щитах должны быть развешены плакаты по технике безопасности. Электромонтеры-обмотчики и изолировщики по ремонту трансформаторов, допущенные к работе, повторно проходят инструктаж по технике безопасности непосредственно на рабочем месте. На базе типовых инструкций по технике безопасности должна быть разработана инструкция по технике безопасности в обмоточно-изоляционном цехе (участке).

§ 52. Техника безопасности и противопожарные мероприятия в обмоточно-изоляционном цехе

Обмоточно-изоляционные цеха ремонтных трансформаторных заводов оборудованы самыми различными станками и машинами, которые предназначены для выполнения определенных технологических операций по намотке обмоток и изготовлению изоляционных деталей. Электромонтер-обмотчик и изолировщик по ремонту трансформаторов должны строго выполнять все правила техники безопасности. Перед началом каждой новой работы они должны привести в порядок свою одежду и внимательно выслушать дополнительный инструктаж мастера, проверить и убедиться в исправности рабочего инструмента, приспособлений (неисправные заменить). Рабочее место должно быть свободно от готовых изделий и посторонних предметов.

Запрещается работать и находиться под грузом во время их транспортировки краном. По сигналу крановщика следует немедленно отойти в безопасное место.

Все работы с подъемными приспособлениями (к которым допущены электромонтеры-обмотчики и изолировщики) следует производить внимательно. Необходимо предварительно проверить качество стропов и их грузоподъемность на соответствие массе поднимаемого груза. Приспособления следует применять только по их прямому назначению: для подъема обмотки, стального цилиндра или разборного шаблона.

К самостоятельной работе на круглопильном станке, на ленточной пиле, на эксцентриковом прессе, на гильотинных ножницах и другом специальном технологическом оборудовании допускаются только обученные электромонтеры-обмотчики и изолировщики по ремонту трансформаторов. Следует строго выполнять правила, приведенные в специальных инструкциях по технике безопасности.

До начала работы проверяют наличие на станках защитных устройств.

Газовой горелкой следует пользоваться в соответствии с инструкцией. Окончив работу, немедленно гасят горелку, перекрывают газопровод, а шланги свертывают кольцом.

К воздушной магистрали шланги присоединяют и отсоединяют при закрытом вентиле. Окончив работу, закрывают вентиль воздушной магистрали и шланги свертывают кольцом.

О всех неисправностях, замеченных в процессе работы, следует немедленно докладывать мастеру.

Электробезопасность. Каждый работающий с электричеством должен строго выполнять следующие правила электробезопасности: не трогать электропровода голыми руками; не включать рубильник влажными руками; пользоваться только исправными рубильником, выключателем, штепселем; переносной лампой пользоваться на напряжение 12 В — работа с переносной лампой на напряжение 127 В и 220 В опасна для жизни.

До начала работы следует осмотреть станок, установить возможность его включения, проверить исправность действия останочно-пусковых приспособлений. Электрооборудование, электроинструменты и паячные трансформаторы должны быть надежно заземлены. Особенно осторожным надо быть во время пайки обмоточного провода: паячные трансформаторы соединяют по схеме, заданной производственной инструкцией. Щипцы для пайки применяют только исправные, обеспечивающие хороший контакт.

При ощущении даже слабого действия тока следует немедленно прекратить работу и доложить об этом мастеру, так как возможно серьезное поражение током. Не следует допускать попадания на электроинструмент и провода кислот, щелочей и нефтепродуктов, а также охранять их от механических повреждений. Электрооборудование и электроинструменты надо выключать и отсоединять от сети при перерыве в подаче электроэнергии и при уходе с рабочего места, хотя бы на короткое время. Ремонт электрооборудования и электроинструментов должен производить только электромонтер.

Электромонтер-обмотчик и изолировщик по ремонту трансформаторов должны уметь пользоваться индивидуальными средствами электрозащиты.

Первая помощь пострадавшим от электрического тока и при других несчастных случаях. Соблюдение условий, обеспечивающих безопасность, помогает работающим избежать несчастных случаев. Однако различное стечение обстоятельств все же может привести к ним. На каждом предприятии должен быть хорошо оборудованный медицинский пункт, который работает круглосуточно, чтобы работающие всегда имели возможность получить необходимую медицинскую помощь. Однако могут быть случаи (особенно при травме), когда даже минутная задержка в оказании помощи может оказаться роковой. Поэтому всем работающим необходимо знать основные правила оказания первой медицинской помощи.

Прежде всего пострадавший должен быть немедленно освобожден от тока. Это делается в соответствии с правилами и инструкциями по безопасности в зависимости от условий, при которых произошло поражение. При этом особое внимание обращают на то, чтобы работник, оказывающий помощь, не оказался сам пораженным электрическим током.

Если после освобождения от тока пострадавший находится в обморочном состоянии, но работа сердца и дыхание не нарушены, достаточно освободить его от стесняющей одежды (расстегнуть воротник, распуścić пояс) и усилить доступ свежего воздуха (открыть дверь, окно, форточку). Рекомендуются дать понюхать пострадавшему нашатырный спирт. После прекращения обморочного состояния пострадавшего следует доставить на носилках в медпункт.

Если в результате поражения током дыхание стало прерывистым или нарушилась работа сердца, необходимо немедленно приступить к искусственному дыханию. Рекомендуются наиболее эф-

фективный способ искусственного дыхания — «рот в рот» и наружный (непрямой) массаж сердца. Подробные указания по оказанию первой помощи приведены в инструкции «Первая помощь пострадавшим от электрического тока и при других несчастных случаях», утвержденной Госэнергонадзором.

Противопожарные мероприятия. Каждый вновь поступающий на предприятие проходит противопожарный инструктаж в помещении пожарной охраны, оснащенном наглядными пособиями и плакатами. На каждом предприятии создана добровольная пожарная дружина (ДПД), занимающаяся предупреждением загораний в цехе и имеющая на случай пожара боевой расчет. На предприятии имеются следующие первичные средства тушения загораний и пожаров: внутренние пожарные краны, кошмы, песок, пенные огнетушители ОП, а в помещениях с электроаппаратурой — углекислотные ОУ. В обмоточно-изоляционном цехе следует курить только в отведенном месте.

Запрещается загромождать коридоры, проходы, а также подступы к средствам пожаротушения и извещателям пожарной сигнализации; хранить вблизи паротрубопроводов и нагревательных приборов легко загорающиеся предметы и материалы. После окончания работы следует производить уборку своего рабочего места, выключать и отсоединять от сети электроприборы и электрооборудование, огнеопасные жидкости сдавать в цеховую кладовую. При загорании или пожаре нужно немедленно сообщить об этом в пожарную охрану по телефону или извещателю пожарной сигнализации и приступить к тушению имеющимися средствами пожаротушения.

Контрольные вопросы

1. Какое значение имеет техника безопасности на территории предприятия?
2. Каковы основные правила по технике безопасности в обмоточно-изоляционном цехе (участке)?
3. Каковы основные правила электробезопасности?
4. В чем заключается первая помощь пострадавшему от электрического тока и других несчастных случаях?
5. Какие вам известны первичные средства тушения загораний и пожаров?
6. Каковы обязанности работающего при загорании или пожаре в цехе?

Литература

Герасимова Л. С., Майорец А. И. Обмотка и изоляция силовых масляных трансформаторов. — М.: Энергия, 1969.

Герасимова Л. С., Дейнега И. А. Технология и оборудование производства трансформаторов. — М.: Энергия, 1972.

Дымков А. М. Расчет и конструирование трансформаторов. — М.: Высшая школа, 1971.

Минскер Е. Г., Аншин В. Ш. Сборка трансформаторов. — М.: Высшая школа, 1976.

Фарбман С. А., Бун А. Ю. Ремонт и модернизация трансформаторов. — М.: Энергия, 1966.

Фридлянд М. Б. Электротехнические материалы для ремонта электрических машин и трансформаторов. — М.: Энергия, 1971.

Худяков З. И. Ремонт трансформаторов. — М.: Высшая школа, 1977.

Оглавление

Введение (3).

Глава первая. Общие сведения о трансформаторах (4).

§ 1. Назначение трансформатора (4). § 2. Электродвижущие силы. Первичная и вторичная обмотки. Коэффициент трансформации (5). § 3. Режим холостого хода трансформатора (6). § 4. Режим нагрузки трансформатора (6). § 5. Опыт короткого замыкания. Напряжение и потери короткого замыкания (7). § 6. Коэффициент полезного действия (8). § 7. Однофазный и трехфазный трансформаторы (8). § 8. Автотрансформаторы (9). § 9. Регулирование напряжения трансформаторов (10). § 10. Нагрев и охлаждение трансформаторов (11). § 11. Измерительные трансформаторы тока и напряжения (13).

Глава вторая. Основные элементы конструкции трансформаторов (14).

§ 12. Условные обозначения трансформаторов (14). § 13. Общие сведения о конструкции трансформаторов (15). § 14. Магнитопровод (магнитная система) (17). § 15. Обмотки силовых трансформаторов. Основные типы обмоток (17). § 16. Переключающие устройства для регулирования напряжения (23). § 17. Отводы (24). § 18. Вводы (26). § 19. Бак Охлаждающие устройства. Расширитель (27). § 20. Вспомогательные устройства (28). § 21. Особенности конструкции сухих трансформаторов (29).

Глава третья. Материалы, применяемые при изготовлении и ремонте обмоток трансформаторов (30).

§ 22. Проводниковые материалы (31). § 23. Электроизоляционные материалы (32). § 24. Вспомогательные материалы (припой и флюсы) (37).

Глава четвертая. Общие вопросы ремонта обмоток и изоляции (38).

§ 25. Общие сведения (38). § 26. Виды повреждений и ремонтов (40). § 27. Техническая документация (43). § 28. Технология паячных работ (44).

Глава пятая. Изготовление и ремонт изоляции (48).

§ 29. Оборудование изоляционного участка (48). § 30. Изготовление деталей изоляции (53). § 31. Ремонт изоляции (58).

Глава шестая. Перемотка обмоток (59).

§ 32. Размотка обмоток (59). § 33. Восстановление обмоточного провода (61). § 34. Заготовка изоляционных деталей (67).

Глава седьмая. Намотка и ремонт обмоток (69).

§ 35. Намотка цилиндрических слоев обмоток (69). § 36. Намотка одноходовых винтовых обмоток (77). § 37. Намотка непрерывных обмоток (82). § 38. Намотка дисковых обмоток (86). § 39. Ремонт обмоток (88).

Глава восьмая. Обмотки измерительных трансформаторов (напряжения и тока) (91).

§ 40. Общие сведения (91). § 41. Намотка обмоток НН и ВН трансформаторов напряжения (92).

Глава девятая. Обработка обмоток (97).

§ 42. Стяжка обмоток (97). § 43. Прессовка обмоток (100). § 44. Сушка (101). § 45. Пропитка и запекание обмоток (103). § 46. Отделка и упаковка (104).

Глава десятая. Контроль и испытание обмоток (105).

§ 47. Назначение контроля и его виды (105). § 48. Проверка обмоток на соответствие чертежам и расчетной записке (105). § 49. Проверка обмоток на число витков и отсутствие обрывов и витковых замыканий (106). § 50. Проверка обмоток измерительных трансформаторов на спецстенде на соответствие классу точности (107).

Глава одиннадцатая. Техника безопасности и противопожарные мероприятия на предприятии (108).

§ 51. Техника безопасности на территории предприятия (108). § 52. Техника безопасности и противопожарные мероприятия в обмоточно-изоляционном цехе (109). Литература (111).