

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий

И. О. Шалаев А. А. Шевченко

## **ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Рекомендовано для использования в учебном процессе  
учебно-методической комиссией специальности  
140211 «Электроснабжение» и направления  
140400 «Электроэнергетика и электротехника»

Кемерово 2012

Рецензенты:

Савинкина О. А., ассистент кафедры ЭГПП

Ефременко В. М., председатель УМК специальности  
140211 «Электроснабжение»

**Шалаев Иван Олегович, Шевченко Анастасия Александровна.** Изучение способов сушки изоляции обмоток трансформаторов [Электронный ресурс] : метод. указания к практическим занятиям по дисциплине «Монтаж и наладка объектов электроэнергетики» для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» и направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение» всех форм обучения / И. О. Шалаев, А. А. Шевченко. – Электрон. дан. – Кемерово : КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; зв. ; цв. ; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 32 Мб ; Windows XP ; (CD-ROM-дисковод) ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены схемы и методики различных способов сушки изоляции обмоток трансформаторов. Рассмотрены основные достоинства и недостатки каждого метода.

© КузГТУ

© Шалаев И. О.

© Шевченко А. А.

**Цель работы** – изучить способы сушки трансформаторов;

### **Краткие теоретические сведения**

Вопрос о необходимости сушки трансформаторов перед включением решается по комплексу параметров: состоянию масла; сопротивлению изоляции обмоток  $R_{60}$ ; коэффициенту абсорбции  $R_{60}/R_{15}$ , тангенсу угла диэлектрических потерь обмоток  $\operatorname{tg}\delta$ ; приращению  $\Delta C/C$ ; состоянию индикаторного силикагеля; соотношению  $C_2/C_{50}$ .

Различают следующие виды сушки: контрольный прогрев, контрольная подсушка и сушка. Все виды сушки преследуют одну цель – привести изоляцию трансформатора в состояние, отвечающее требованиям и нормам.

Бумажно-масляная изоляция в трансформаторах рассчитана на надежную работу лишь при условии ее высоких изоляционных свойств – сопротивления, электрической прочности, емкости и малых диэлектрических потерь. Эти факторы прежде всего зависят от степени увлажненности изоляции.

Благодаря своей капиллярной структуре бумажная изоляция весьма гигроскопична. Немного менее гигроскопично трансформаторное масло. Поэтому, находясь на воздухе, активная часть, даже пропитанная маслом, увлажняется. Кроме того, у старых трансформаторов без воздухоосушителей изоляция увлажняется и в процессе длительной эксплуатации. Даже изоляция вновь изготовленных обмоток имеет повышенную влажность.

Термодинамический процесс сушки заключается в том, что изоляция нагревается и влага перемещается из ее внутренних пор к поверхности, а затем в окружающую среду. Чем выше температура нагрева изоляции, тем больше разница между парциальными давлениями в соседних слоях изоляции и тем интенсивнее сушка, поэтому изоляцию нагревают до температуры 100–105 °С. В то же время эффективно снижать давление в окружающем пространстве, т.е. создавать вакуум.

*Контрольный прогрев* трансформаторов производится в одном из следующих случаев:

- характеристики изоляции не соответствуют нормам; продолжительность хранения трансформатора без доливки масла превышает установленный срок, но не более 7 мес;

- время пребывания активной части на воздухе при слитом масле превышает нормы, но не более чем вдвое;

- при наличии признаков увлажнения масла или при значениях  $\Delta C/C$  (для трансформаторов, транспортируемых без масла), превышающих нормы.

*Контрольная подсушка* производится в следующих случаях:

- характеристики изоляции после контрольного прогрева не соответствуют нормам;

- наличие признаков увлажнения масла или нарушение герметичности .

*Сушка* производится в следующих случаях:

- на активной части или в баке обнаружены следы воды;
- трансформатор хранился без масла или без доливки масла более 1 года;

- индикаторный силикагель увлажнен, потерял голубой цвет;

- пребывание активной части на воздухе вдвое и более превышает установленное время;

- характеристики изоляции трансформатора после контрольной подсушки не соответствуют нормам.

Сушка активной части может производиться следующими способами: в вакуум-сушильных шкафах или печах, в сушильных шкафах или печах без вакуума, в собственном баке вихревыми токами (индукционный способ), в собственном баке токами короткого замыкания, в собственном баке постоянным током, в собственном баке токами нулевой последовательности, в собственном баке сухим горячим маслом, в камере или в собственном баке сухим, горячим воздухом от тепловоздуховки. Каждым из этих способов можно добиться высококачественной сушки активной части. Однако затраты на оборудование, непосредственные энергетические затраты на нагревание, отвод излишков теплоты, циркуляцию и другое будут неодинаковы. Поэтому для каждого вида сушки применяют свои методы.

Контрольный прогрев производят с маслом без вакуума методами постоянного тока, короткого замыкания, индукционным,

а также методом циркуляции нагретого масла. Температура верхних слоев масла при контрольном прогреве не должна превышать 75 °С и быть не более чем на 15 °С выше паспортной при прогреве индукционным методом и методом циркуляции и не более чем на 5 °С выше паспортной при прогреве методом постоянного тока или методом короткого замыкания. Контрольный прогрев заканчивается при температуре верхних слоев масла, превышающей на 5 °С температуру, до которой производят прогрев. Контрольный прогрев методами постоянного тока и короткого замыкания запрещается проводить до получения положительных результатов следующих измерений: данных холостого хода при пониженном напряжении; сопротивления обмоток постоянному току и коэффициента трансформации при выбранном положении переключателей; сопротивления изоляции обмоток, а также в случае обнаружения каких-либо дефектов активной части.

**Сушка методом постоянного тока.** Для прогрева трансформатора постоянным током необходимо пропускать через его обмотки (обычно используют обмотки ВН и СН) ток, близкий к номинальному. Для равномерного прогрева желательно обеспечить последовательное или параллельное соединение всех трех фаз обмоток. Иногда применяют схемы с последовательным соединением обмоток только двух фаз или схемы, в которых две фазы соединены параллельно, а третья включена последовательно.

Напряжение, подводимое для прогрева к трансформатору, в зависимости от схемы соединения его обмоток составит. В:

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{max}} R_{\phi} k$$

– при параллельном соединении всех трехфазных обмоток;

$$U_{\text{пр}} = 2 \cdot I_{\text{max}} R_{\phi} k$$

– при двух фазах, соединенных параллельно и включенных последовательно с третьей;

$$U_{\text{пр}} = 3 \cdot I_{\text{max}} R_{\phi} k$$

- при двух крайних фазах, включенных последовательно;
- при трех фазах, включенных параллельно,

где  $I_{\max}$  – максимальный фазный ток прогреваемой обмотки, А;  
 $R_{\phi}$  – сопротивление фазы обмотки при 15 °С. Ом;  $k = 0,84 \div 0,9$  – коэффициент, учитывающий изменения сопротивления  $R_{\phi}$  при нагреве.

В начале прогрева до достижения температуры верхних слоев масла 40 °С допускается прогрев током, равным 1,2 номинального. В процессе прогрева термосигнализаторами контролируется температура верхних слоев масла. Температуру прогреваемой обмотки определяют по ее омическому сопротивлению  $R_r$  (которое измеряют в процессе прогрева) с помощью соотношения:

$$t_r = \frac{R_r}{R_x} (235 + t_x) - 235,$$

где  $R_x$  и  $t_x$  сопротивление и температура обмотки, указанные в паспорте трансформатора.

Время нагрева составляет не менее 10 ч, считая с момента включения трансформатора.

**Сушка методом короткого замыкания.** Для сушки токами короткого замыкания одну из обмоток замыкают накоротко, а на другую подают напряжение короткого замыкания, определяемое по паспортным данным трансформатора. Схемы включения обмоток трехфазных трансформаторов при этом методе прогрева приведены на рис 1.

Мощность для прогрева  $P_{\text{пр}}$  трехфазных трансформаторов определяется формулами. кВт:

- при потерях короткого замыкания ( $P_k$ ) менее 500 кВт и температуре обмоток 75 °С

$$P_{\text{пр}} = \frac{1}{2} P_k,$$

где  $P_k = 500$  кВт;

при  $P_k > 500$  кВт мощность  $P_{пр} = 0.49 P_k$ .

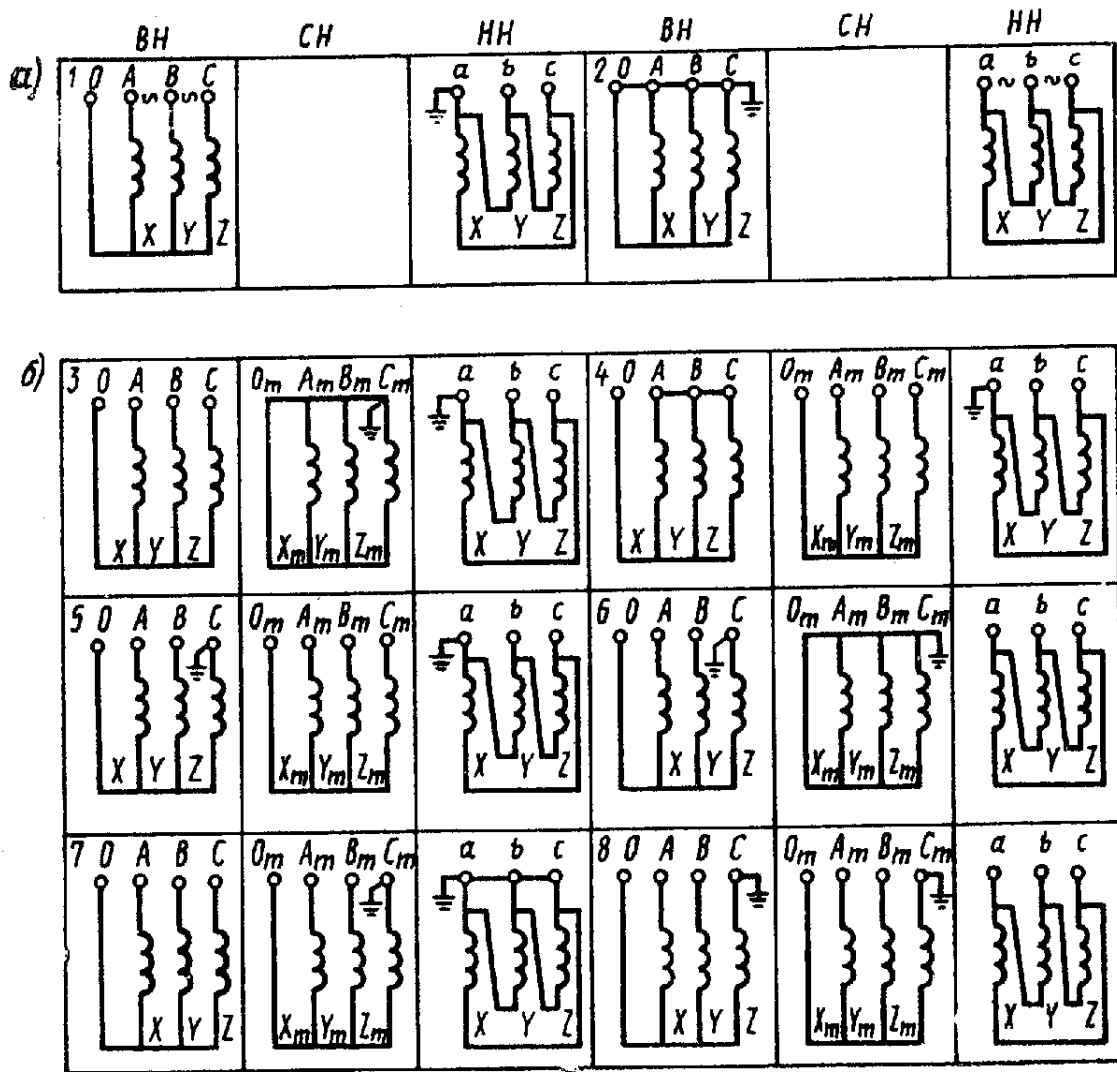


Рис. 1. Схемы включения обмоток трехфазных трансформаторов при сушке методом короткого замыкания: а – двухобмоточные трансформаторы (1–2); б – трехобмоточные трансформаторы (3–8)

Если мощности обмоток, участвующих в прогреве, равны и неравны и питание подается на обмотку меньшей мощности, то ток прогрева ( $I$ ) определяют по формуле:

$$I_{пр} = I_{ном} \sqrt{P_{пр}/P_k}$$

где  $I_{ном}$  – номинальный линейный ток питаемой обмотки, А.

Если мощности обмоток не равны и питание подается на обмотку большей мощности, то ток прогрева  $I$  определяют по формуле:

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{ном}} \sqrt{P_{\text{пр}}/P_{\text{к}} P_{2\text{ном}}/P_{1\text{ном}}},$$

где  $P_{1\text{ном}}$  – номинальная мощность (большая) питаемой обмотки, кВ·А;  $P_{2\text{ном}}$  – номинальная мощность (меньшая) обмотки, замкнутой накоротко, кВ·А.

При этом должно соблюдаться соотношение:

$$I_{\text{пр}} \leq 0,7 I_{\text{ном}}.$$

Напряжение прогрева трансформатора, когда мощности обмоток равны и не равны, а питание подается на обмотку большей мощности, определяют по формуле:

$$U_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{к}} U_{\text{ном}} I_{\text{пр}}}{100 I_{\text{ном}}},$$

где  $U_{\text{к}}$  – напряжение к.з. (%) пары обмоток, участвующих в прогреве;  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение питаемой обмотки, кВ.

Если мощности обмоток, участвующих в прогреве, не равны и питание подается на обмотку меньшей мощности, то напряжение прогрева определяют по формуле:

$$U_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{к}} U_{\text{ном}} I_{\text{пр}} P_{2\text{ном}}}{100 I_{\text{ном}} P_{1\text{ном}}}.$$

Прогрев методом короткого замыкания (как и прогрев постоянным током) запрещается производить в случае обнаружения неисправностей, указанных выше.

**Сушка методом циркуляции нагретого масла.** Этот метод допускается использовать для сушки активной части трансфор-



матора без демонтажа на месте его установки и отсоединения от сети только с отключением.

Бак трансформатора соединяют двумя маслопроводами (всасывающим и нагнетающим) с системой принудительной циркуляции масла. В систему включают маслонагреватель, фильтры и масляный насос. Схема сушки может быть и незамкнутой, когда увлажнившееся масло, поглотившее из изоляции влагу, больше не используют, а заменяют постепенно сухим горячим маслом до полного высушивания изоляции.

При незамкнутой схеме качество сушки выше, но требуется большое количество масла (примерно десятикратное от количества масла в баке). При замкнутой схеме масло не успевает, как следует, просушиваться и попадает в бак трансформатора не таким гигроскопичным, как свежее, поэтому сушка продолжается дольше.

Существует также опасность, что масло в замкнутой системе придет в полную негодность, его остатки попадут в каналы обмоток и магнитопровода и будут способствовать быстрому ухудшению вновь залитого свежего масла. Этот способ сушки особо пожароопасен и рекомендуется к применению лишь в исключительных случаях, когда возможность применения других методов сушки отсутствует.

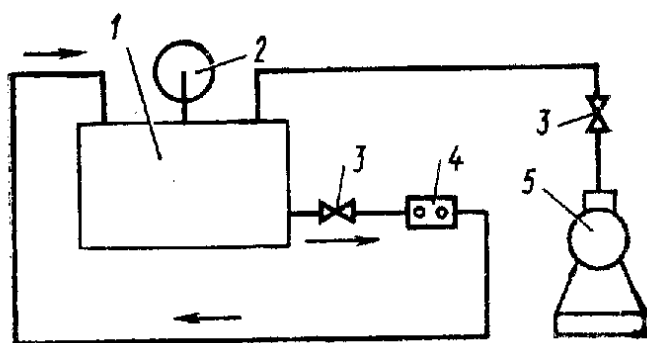


Рис. 2. Схема контрольной подсушки:  
1 – бак трансформатора; 2 – вакуумметр;  
3 – кран; 4 – насос; 5 – вакуумнасос.

**Контрольная подсушка.** Она отличается от контрольного прогрева тем, что она производится с применением вакуума 46,5 кПа (350 мм рт. ст.) при температуре верхних слоев масла, равной 80 °С. Контрольная подсушка производится в том случае, если в результате контрольного прогрева

характеристики изоляции не соответствуют нормам. В процессе контрольной подсушки через каждые 12 ч производят циркуляцию масла через трансформатор в течение 4 ч. Подсушку прекращают, когда характеристики изоляции приходят в соответст-

вие с нормами, но не ранее чем через 36 ч после того, как температура верхних слоев масла достигла 80 °С для трансформаторов мощностью до 80 000 кВ·А.

Схема контрольной подсушки приведена на рис. 2.

Если в результате контрольной подсушки трансформатора в масле характеристики изоляции не будут соответствовать нормам, то трансформатор подлежит сушке.

**Сушка трансформаторов.** Сушка активной части при наличии стационарных сушильных печей, которые имеются на всех крупных электроремонтных предприятиях, может производиться как вакуумным, так и безвакуумным методами. При отсутствии печей сушку производят методом индукционных потерь в стали бака.

**Сушка вакуумным методом** осуществляется в вакуум-сушильных шкафах и обеспечивает быструю и высококачественную сушку с небольшими энергетическими затратами. Наиболее экономичным является паровой обогрев, менее экономичен электрообогрев. Вакуум-сушильная печь для сушки трансформаторов I–II габаритов показана на рис. 3. Применяются печи как с верхней, так и с боковой загрузкой с герметично закрывающимися дверями.

Активную часть трансформатора загружают в печь. Предварительно для контроля сушки концы обмоток соединяют между собой проводником и выводят наружу через проходной изолятор. Сушку начинают с прогрева при вакууме 80–85 кПа, постепенно увеличивая температуру до 95–105 °С. Прогрев трансформаторов мощностью до 100 кВ·А длится в течение 3 ч, а большей мощностью – 5 ч. По окончании прогрева вакуум равномерно повышают и в течение 15 мин устанавливают остаточное давление около 40 кПа, которое выдерживают 1 ч. Затем в течение 15 мин вакуум повышают до максимально возможного и сушку производят до конца.

В процессе сушки влагу из колонки конденсатора отбирают каждый час, ее количество и значение сопротивления изоляции записывают в журнал сушки. Когда в течение 3 ч подряд (по трем измерениям) выделения влаги из колонки не будет, а показания мегаомметра будут соответствовать нормам, обогрев отключают (закрывают пар), останавливают вакуум-насосы, вакуум посте-

пенно снимают краном для впуска воздуха, печь разгерметизируют.

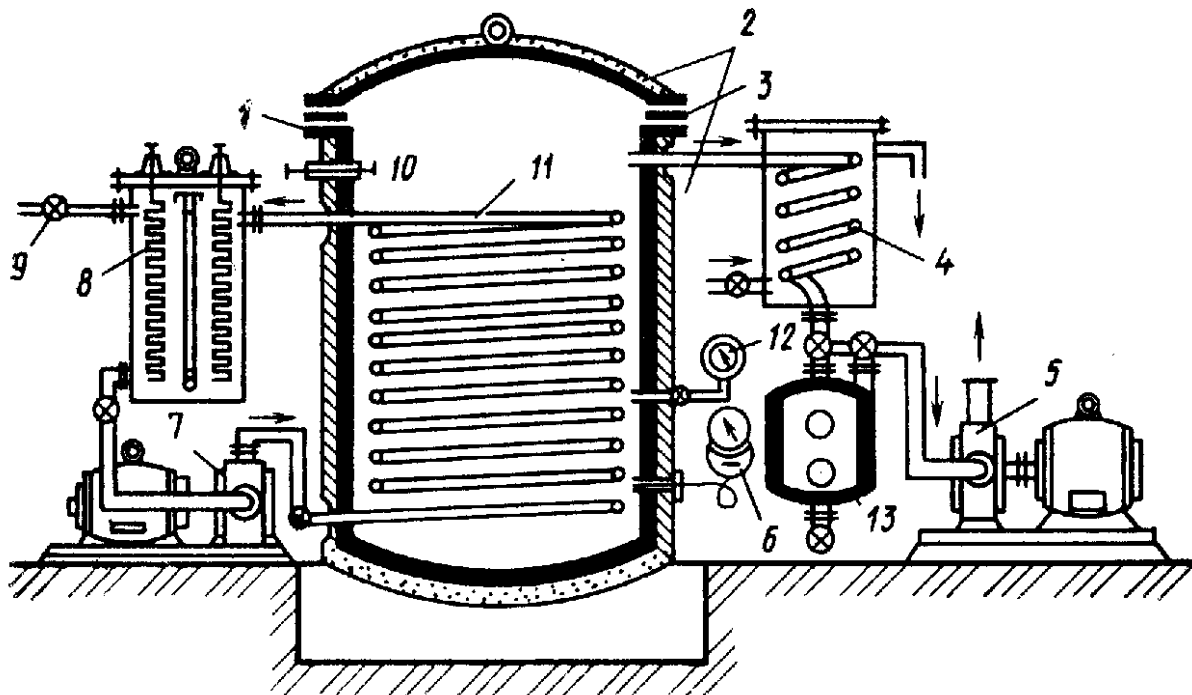


Рис. 3. Вакуум-сушильная печь для сушки активных частей трансформаторов I–II габаритов

1 – бак со съемной крышкой; 2 – теплоизоляция; 3 – уплотнение; 4 – водяной охладитель; 5 – вакуумный насос; 6 – термометр; 7 – циркуляционный насос; 8 – водяной котел с электронагревателями; 9 – питательная труба; 10 – проходной изолятор для измерения сопротивления изоляции; 11 – змеевик нагрева; 12 – вакуумметр; 13 – конденсатосборник.

Очень эффективным с точки зрения дальнейшей эксплуатации является непосредственная заливка активной части маслом в печи. В этом случае мало заполняет поры изоляции, которые прежде были заняты влагой.

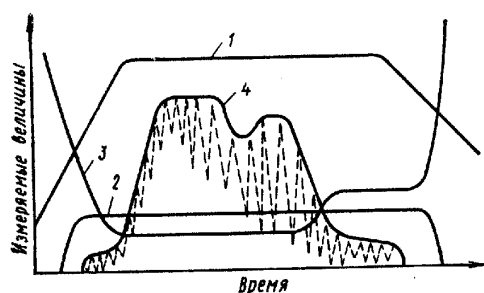


Рис. 4. Кривые сушки изоляции обмоток трансформатора 1 – температура обмоток; 2 – вакуум; 3 – сопротивление изоляции; 4 – огибающая кривая выделения конденсата

Продолжительность вакуумной сушки зависит от степени увлажнения изоляции обмоток, емкости печи, мощности вакуумных насосов и герметичности уплотнений. Она должна продолжаться не менее 14 ч. Характерный график вакуумной сушки представлен на рис. 4.

Достоинствами вакуумной сушки являются быстрота, высокое качество и стабильная технология, а недостатками – необходимость постоянно поддерживать в исправ-

ном состоянии сложное и дорогостоящее оборудование и в связи с этим высокие эксплуатационные расходы (в сушильном отделении должно быть организовано круглосуточное дежурство); необходимость поддержания очень глубокого вакуума, который трудно поддерживать, так как уплотнения печи изнашиваются быстро, а замена их сложна и дорога.

**Безвакуумная сушка** осуществляется в стационарных тупиковых печах с электрическим, паровым, индукционным или калориферным подогревом. Активную часть трансформатора загружают на тележку, вкатывают в печь, печь закрывают и включают обогрев. Сушка ведется естественно дольше, чем в вакуумной печи. Критерий окончания сушки один – сопротивление изоляции, соответствующее нормам, должно иметь установившееся значение в течение 3–4 ч. Измеряют сопротивление изоляции на трех изоляционных участках: обмотки ВН по отношению к обмоткам НН, присоединенным к корпусу; обмотки НН по отношению к обмоткам ВН, присоединенным к корпусу; соединенных между собой обмоток ВН и НН по отношению к корпусу. Для возможных замеров все выводные концы обмоток ВН соединяют между собой, концы обмоток НН также соединяют между собой. От этих соединений, а также от ярмовых балок (корпуса) выводят наружу провода.

При безвакуумном методе сушки не требуются уплотнения, а используются электрическая и тепловая изоляция выводных проводов от горячих металлических частей печи. Контроль температуры в печи осуществляется термомпарами или другими термоматчиками. Для ускорения процесса сушки ближе к ее окончанию рекомендуется проводить одну-две 20-минутные продувки печи теплым или окружающим сухим воздухом для удаления скопившихся в ней паров. При калориферном обогреве печей этого не требуется, так как в печи воздух постоянно циркулирует.

**Сушка активной части в баке токами нулевой последовательности.** Этот метод заключается в том, что к одной из обмоток трехфазного трансформатора подводят пониженное однофазное переменное напряжение и обмотки соединяют так, чтобы возбуждаемые в стержнях магнитные потоки имели одинаковые значения и направления во всех стержнях. Замыкаясь через воз-

дух, металлические детали и бак, они вызывают в них потери от вихревых токов, чем и создается нагрев.

При этом способе сушки, как и при индукционном, теплота идет от металлических частей через бумажную изоляцию к проводам, поэтому способ неэкономичен.

Для трансформаторов I–II габаритов со схемой соединения «звезда – звезда» и номинальными напряжениями 6300/230 В напряжение (В), подводимое к обмотке НН

$$U = 200/\sqrt{P_{\text{ном}}},$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВт·А.

Необходимость подбора напряжения при других схемах соединения обмоток опытным путем, а также необходимость распайки обмоток при соединении одной из обмоток в треугольник или зигзаг – серьезные недостатки метода. Поэтому область применения его крайне ограничена.

**Сушка методом индукционных потерь в стали бака** – самый распространенный способ сушки активных частей трансформаторов.

Бак трансформатора утепляют, обматывают намагничивающей обмоткой. Она может быть однофазной (что вполне достаточно для трансформаторов I–II габаритов) или трехфазной. К обмотке подключают источник переменного тока от силовой сборки 220 или 380/220 В через двух- или трехполюсной автомат или рубильник.

При прохождении тока по обмотке в стальных стенках бака возбуждается магнитный поток, который, замыкаясь по периметру бака, вызывает в нем вихревые токи, нагревающие бак. Теплота от бака передается активной части.

Предварительными расчетами по эмпирическим формулам определяют количество витков намагничивающей обмотки, а при сушке в зависимости от фактической температуры изменяют количество витков. Для этого намагничивающая обмотка может быть выполнена с одним-двумя регулировочными ответвлениями (рис. 5).

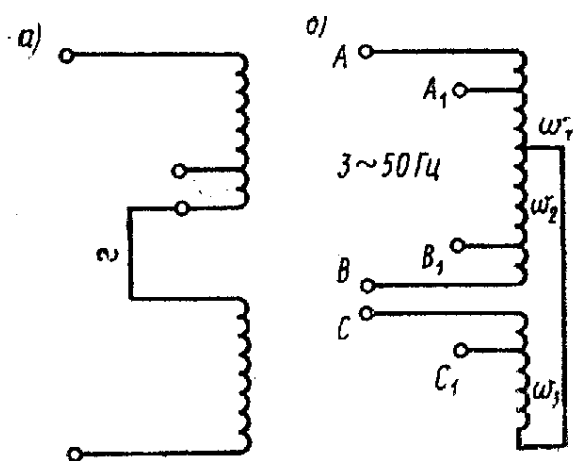


Рис. 5. Схема намагничивающей обмотки

1 – схема однофазной обмотки; 2 – схема трехфазной обмотки, соединенной в звезду

Сушку активной части можно производить как с маслом, так и без масла, и в зависимости от этого механизм сушки действует по-разному. Масло является теплоносителем и одновременно гигроскопичной средой, отбирающей влагу из изоляции. В масле целесообразно сушить активную часть с промасленными обмотками, т.е. при ремонте без замены обмоток. Новые обмотки сушат без масла.

Для ускорения сушки предусматривают принудительную циркуляцию воздуха в полости бака, для чего на одном из отверстий в крышке бака устанавливают вытяжной вентилятор, включаемый периодически.

Температуру изоляции на разных высотах обмоток, верхнего и нижнего ярма, стенки бака и воздуха в верхней части бака контролируют термомпарами. Температура изоляции поддерживается в пределах 95–105 °С, а стенок бака в пределах 110–130 °С.

В начале сушки, после того как температура обмоток достигнет 85–100 °С, в баке создают вакуум 200 мм рт. ст. (27 кПа) для удаления паров из бака. В дальнейшем вакуум уменьшают и к окончанию сушки доводят до предельно допустимого для данной конструкции. Обычный диапазон рабочего вакуума 40–50 кПа.

В процессе сушки измеряются температуры и сопротивление изоляции. В начале сушки измерения проводят каждые 4 ч, а к окончанию сушки – каждый час. Параметры записывают в журнал сушки.

Сушка заканчивается, когда установившееся значение сопротивления изоляции, соответствующее нормам, продолжает оставаться неизменным в течение 6 ч. После этого отключают индукционную обмотку, дают остыть активной части до 60–70 °С, уплотняют все отверстия нижней части бака, и заливают активную часть в баке сухим трансформаторным маслом.

Расчет параметров индукционной обмотки ведут следующим образом. Мощность индукционной обмотки нагрева, кВт:

$$P_{об} = \Delta p l h,$$

где  $\Delta p$  – удельный расход мощности, кВт/м<sup>3</sup>, определяемый по табл. 1;  $l$  – периметр бака, м;  $h$  – высота бака, м.

Таблица 3.1. Удельный расход мощности для прогрева трансформатора

Периметр бака трансформатора, м	Удельный расход мощности $\Delta p$ , кВт/м <sup>3</sup>
До 10	До 1,8
От 11 до 15	От 2 до 2,8
» 16 » 20	» 2,9 » 3,6
» 21 » 26	» 3,7 » 4

Число витков намагничивающей обмотки при питании однофазным током частотой 50 Гц:

$$\omega = AU/l.$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от удельного расхода мощности, определяемый по табл. 2;  $U$  – напряжение питания обмотки намагничивания;  $l$  – периметр бака трансформатора, м.

Ток в обмотке, А

$$I = \frac{P_{об} 10^3}{U \cos \varphi'}$$

где  $P_{об}$  – мощность обмотки нагрева бака, кВт;  $U$  – напряжение питания, В;  $\cos \varphi$  выбирают равным 0,5 – 0,6.

Таблица 2. Значения коэффициентов  $A$

Удельный расход мощности $\Delta p$ , кВт/м <sup>3</sup>	$A$	Удельный расход мощности $\Delta p$ , кВт/м <sup>3</sup>	$A$	Удельный расход мощности $\Delta p$ , кВт/м <sup>3</sup>	$A$
0,75	2,33	1,35	1,77	2,4	1,44
0,8	2,26	1,4	1,74	2,5	1,42
0,85	2,18	1,45	1,71	2,6	1,41
0,9	2,12	1,5	1,68	2,7	1,39
0,95	2,07	1,6	1,65	2,8	1,38
1,0	2,02	1,7	1,62	2,9	1,36
1,05	1,97	1,8	1,59	3,0	1,34
1,1	1,92	1,9	1,56	3,25	1,31
1,15	1,88	2,0	1,54	3,5	1,28
1,2	1,84	2,1	1,51	3,75	1,25
1,25	1,81	2,2	1,49	4,0	1,22
1,3	1,79	2,3	1,46	–	–

Сечение провода намагничивающей обмотки, мм<sup>2</sup>:

$$S = I/j,$$

где  $I$  – ток в обмотке, А;  $j$  – допустимая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

Для медных неизолированных проводов  $j = 6$  А/мм<sup>2</sup>, для изолированных проводов  $j = 3 \div 3,5$  А/мм<sup>2</sup>; для алюминиевых неизолированных проводов  $j = 5$  А/мм<sup>2</sup>; для изолированных  $j = 2 \div 2,5$  А/мм<sup>2</sup>.

### Контрольные вопросы

1. В чем сущность процесса сушки?
2. Какие виды сушки применяют и в каких случаях?
3. В чем сущность различных методов сушки, их достоинства и недостатки.
4. В каких случаях запрещается производить контрольный прогрев методами постоянного тока и короткого замыкания?



## Список использованной литературы

1. Нейштадт, Е.Т. Лабораторный практикум по предмету «Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования предприятий у установок». – М.: Высшая школа, 1991.
2. Зюзин, А. Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – М.: Высшая школа, 1986.
3. Справочник по монтажу электроустановок промышленных предприятий. Кг. 1 / Под ред. Н. С. Мовсесова, М. А. Храмушина. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
4. Елкин, Ю. С. Монтаж электрических машин и трансформаторов. – М.: Энергия, 1979.
5. Пястолов, А. А. Ремонт трансформаторов I и II габаритов. – М.: Энергия, 1977.
6. Федоров, А. А. Эксплуатация электрооборудования промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1986.