



# Эксплуатация электрооборудования

А.Н. Козлов

*Эксплуатация  
трансформаторов.*

В связи с тем что в сетях энергосистем существует несколько ступеней *трансформации*, количество трансформаторов и их мощность в несколько раз превышают число и установленную мощность генераторов. Следует заметить, что на каждый установленный киловатт генераторной мощности приходится 7—8 кВ · А трансформаторной мощности, а на вновь вводимый — до 12—15 кВ · А.

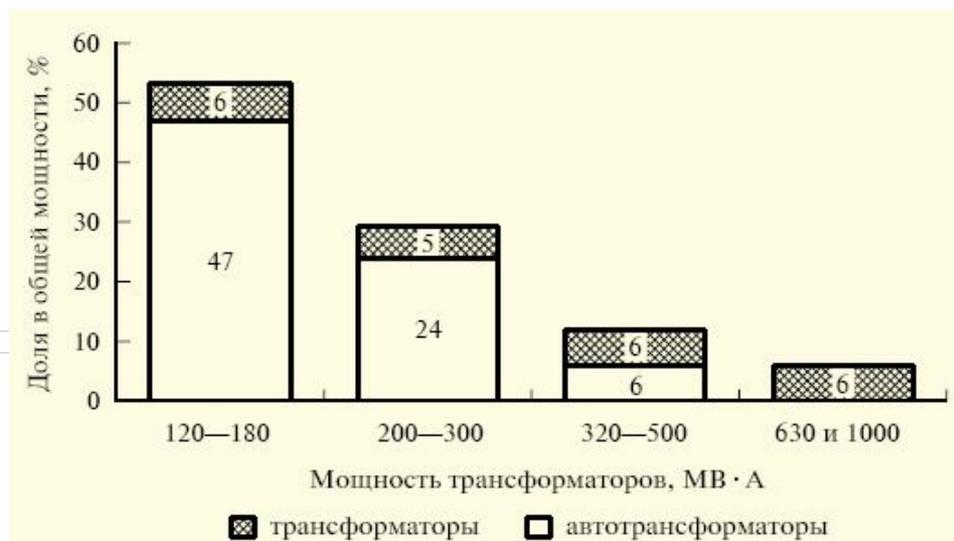
На подстанциях 35—750 кВ энергосистем России работает около 2500 силовых трансформаторов и автотрансформаторов общей мощностью более 570 тыс. МВ · А, что почти втрое больше установленной мощности электростанций.

Распределение трансформаторов и автотрансформаторов мощностью 120 МВ · А и более по классам напряжения и их доля в общей мощности представлены в таблице:

**Распределение трансформаторов и автотрансформаторов по классам напряжения и их доля в общей мощности**

| Класс напряжения, кВ | Доля общей мощности, % |
|----------------------|------------------------|
| 110                  | 7                      |
| 220                  | 36                     |
| 330                  | 12,5                   |
| 500                  | 37                     |
| 750                  | 6                      |
| 1150                 | 1,5                    |

Напряжение 1150 кВ отечественных трансформаторов является наивысшим в мире.



*Распределение мощности трансформаторов и автотрансформаторов*

Основная часть силовых трансформаторов имеет маслобумажную изоляцию с естественной или направленной циркуляцией масла. В пожароопасных зонах используются трансформаторы с сухой (полимерной) изоляцией и воздушным охлаждением, а также с элегазовой изоляцией. В последнее время разработаны трансформаторы с обмотками кабельного типа, имеющие полиэтиленовую изоляцию. Большие мощности трансформаторов и их выполнение на сверхвысокие напряжения определяют значительные напряженности электрического и магнитного полей при использовании активных материалов, а также значительные механические воздействия при коротких замыканиях в сети. Поэтому при эксплуатации трансформаторного оборудования необходимы жесткий контроль за тепловым режимом работы (для предупреждения износа изоляции вследствие старения при повышенных нагревах), периодическая подпрессовка обмоток, тщательная защита масла от увлажнения.

**ПТЭ, п.5.3.2.** Трансформаторы (реакторы), оборудованные устройствами газовой защиты, должны быть установлены так, чтобы крышка имела подъем по направлению к газовому реле не менее 1 %, а маслопровод к расширителю - не менее 2 %. Полость выхлопной трубы должна быть соединена с полостью расширителя. При необходимости мембрана (диафрагма) на выхлопной трубе должна быть заменена аналогичной, поставленной заводом-изготовителем.

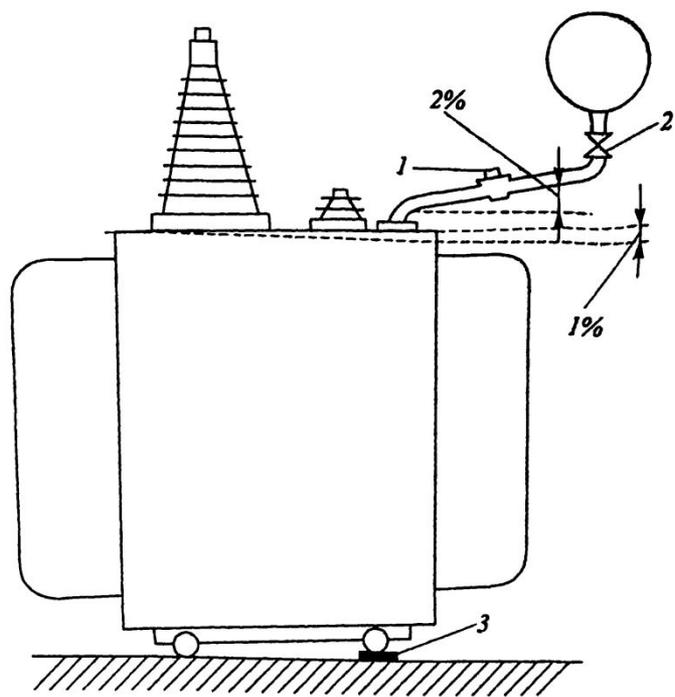


Схема установки трансформатора с наклоном бака:  
1 – газовое реле; 2 – кран; 3 – подкладка под катки трансформатора

*Внутренние повреждения и повышенные нагревы отдельных узлов активной части, как правило, вызывают разложение масла и твердой изоляции трансформатора, что сопровождается выделением газа. Интенсивность газообразования зависит от характера и размеров повреждения.*

*Начало некоторых серьезных повреждений трансформаторов (таких, как «ползущие» разряды в главной изоляции, развивающиеся по изоляционным щитам и цилиндрам и сопровождающиеся образованием паразитных контуров в стали) сопровождается небольшим газообразованием.*

*Для обеспечения направления движения газов к газовому реле и концентрации в нем возможно большего количества газа для ускорения срабатывания этого реле трансформаторы устанавливаются с соответствующим подъемом крышки и маслопровода к газовому реле.*

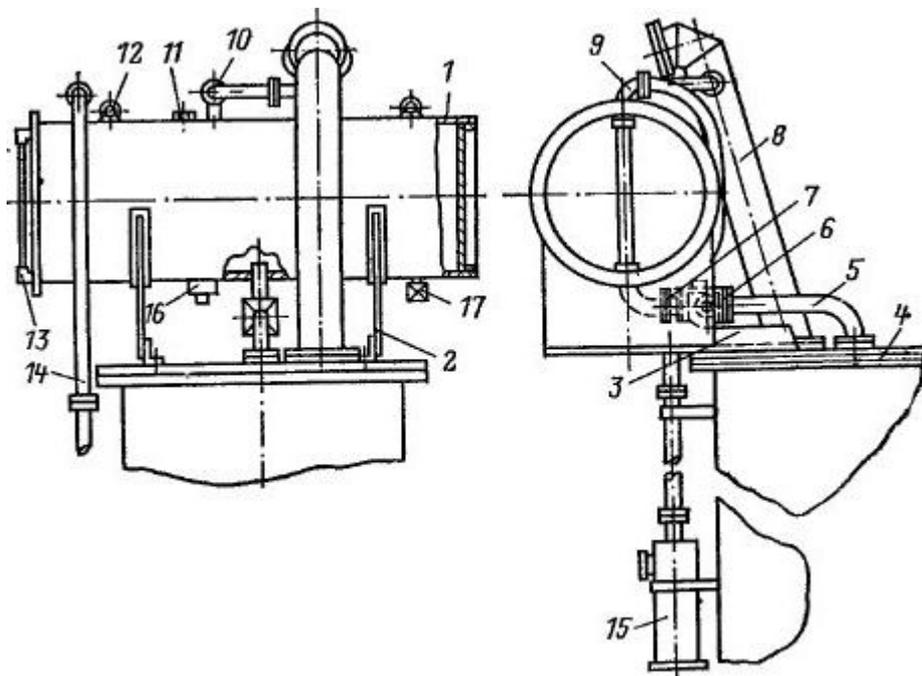
*В соответствии с требованиями ПУЭ для трансформаторов мощностью 6,3 МВ-А и более газовая защита является обязательным элементом установки.*

*В выпускаемых в настоящее время трансформаторах необходимый уклон, обеспечивающий нормальное функционирование газовой защиты, обеспечивается также специальными конструкторскими решениями.*

*В мощных трансформаторах с длинным баком для обеспечения возможно большего сбора газов в газовое реле газосборные трубки присоединяются в нескольких точках по длине бака и к адаптерам вводов.*

*У некоторых типов трансформаторов, имеющих верхнюю крышку бака полуцилиндрической или трапециевидальной формы, маслопровод от бака к расширителю присоединяется к наивысшей точке крышки. У подобных трансформаторов наклон бака выполняется согласно заводской документации.*

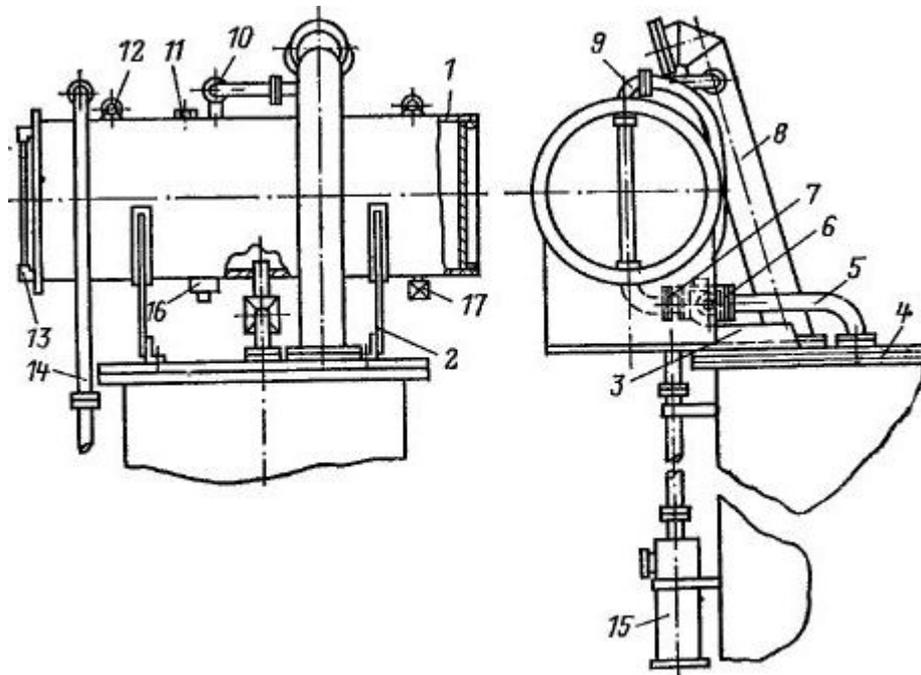
*В ряде случаев уклон создается традиционными подкладками в соответствии с указанием заводской инструкции по монтажу. Если в заводской документации указаний по выполнению необходимого уклона нет, то наклон крышки бака выполняется согласно рисунку, путем установки металлических прокладок под катки трансформатора со стороны расширителя.*



*В случаях, когда при работе трансформатора наблюдается ложная работа газового реле из-за вибрации маслопровода, что бывает иногда на мощных трансформаторах, необходимо принять меры к уменьшению вибрации маслопровода.*

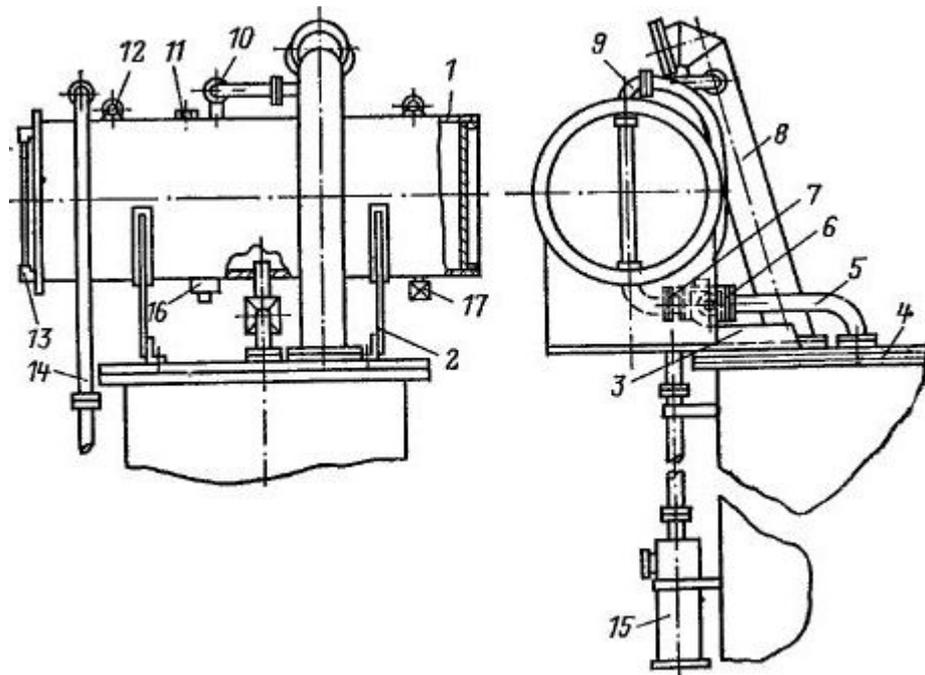
1 — расширитель; 2 — опорные пластины;  
3 — крепящие уголки; 4 — крышка; 5 — маслопровод;  
6 — газовое реле; 7 — плоский кран; 8 — выхлопная труба; 9 — патрубок для присоединения воздухоосушителя; 10 — газоотводные трубы;  
11 — пробка; 12 - кольцо для подъема расширителя;  
13 — маслоуказатель; 14 — труба для присоединения воздухоосушителя; 15 — воздухоосушитель;  
16 — отстойник (грязевик); 17 — пробка или вентиль для спуска и заливки масла

Расширитель соединяется патрубком с баком трансформатора и обеспечивает заполнение его маслом при изменениях объема масла вследствие колебаний температуры. Кроме того, трансформатор с расширителем имеет меньшую площадь открытой поверхности масла, соприкасающегося с воздухом, что уменьшает степень окисления, увлажнения и загрязнения масла. Объем расширителя составляет 9,5 — 10 % объем масла в трансформаторе и системе охлаждения.



Сообщение внутреннего объема расширителя с атмосферой осуществляется через трубу 14, заканчивающуюся воздухоосушителем 15. К расширителю приварен отстойник (грязевик) 16, в котором накапливаются вода, попадающая в масло и шлам (продукты старения масла). Расширитель связан газоотводными трубками с высоко расположенными точками колокола для отвода газов, которые могут там накапливаться.

*В маслопровод, соединяющий расширитель с баком, встраивается газовое реле 6, реагирующее на внутренние повреждения, сопровождающиеся выделением газов, а также на понижение уровня масла. Газовые реле применяются двух типов: поплавковые и чашечные.*



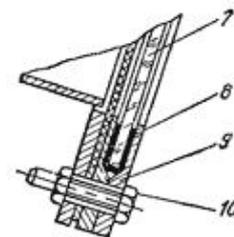
*При повреждении трансформатора и возникновении пожара появляется необходимость быстрого перекрытия маслопровода, идущего от расширителя к баку. Для этого в маслопровод встраивается специальный автоматический клапан. Он закрывает отверстие для прохода масла из расширителя под действием заранее заведенной пружины. Управляется клапан электромагнитом, на обмотку которого подается оперативный ток при срабатывании релейной защиты от внутренних повреждений (на рисунке клапан не показан).*

Выхлопная (предохранительная) труба на крышке бака защищает его от разрыва при интенсивном выделении газа во время крупных повреждений внутри трансформатора. Верхний конец выхлопной трубы герметично закрывается диафрагмой из стекла или медной фольги. При взрывообразных выделениях газа диафрагма выдавливается, давление в баке понижается, что и предохраняет его от деформации. Верхняя полость выхлопной трубы и воздушное пространство над поверхностью масла в расширителе соединены между собой трубкой (3, рис. б). Это необходимо для выравнивания давлений с обеих сторон диафрагмы при изменении объема масла в нормальных эксплуатационных условиях

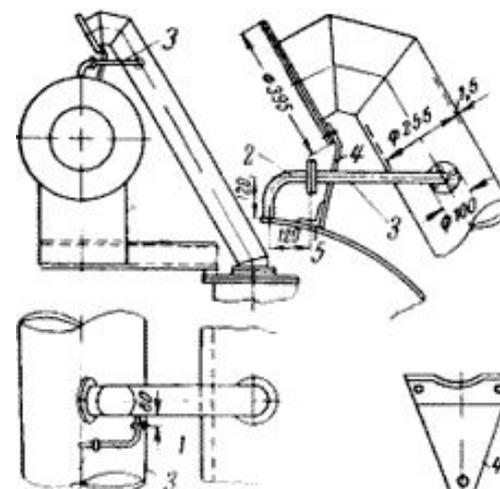
#### Установка выхлопной трубы.

**а** — закрепление стеклянного диска выхлопной (предохранительной) трубы: 7 — стеклянный диск-диафрагма; 8 — резиновая прокладка (шайба) толщиной 4 мм; 9 — резиновые прокладки (шайбы) толщиной 4—6 мм; 10 — болт;

**б** — крепление выхлопной (предохранительной) трубы: 1 — патрубок, приваренный к выхлопной трубе; 2 — патрубок, приваренный к расширителю; 3 — соединительная трубка; 4 — пластина, прикрепленная болтами к выхлопной трубе и угольнику; 5 — угольник, приваренный к расширителю.



а)



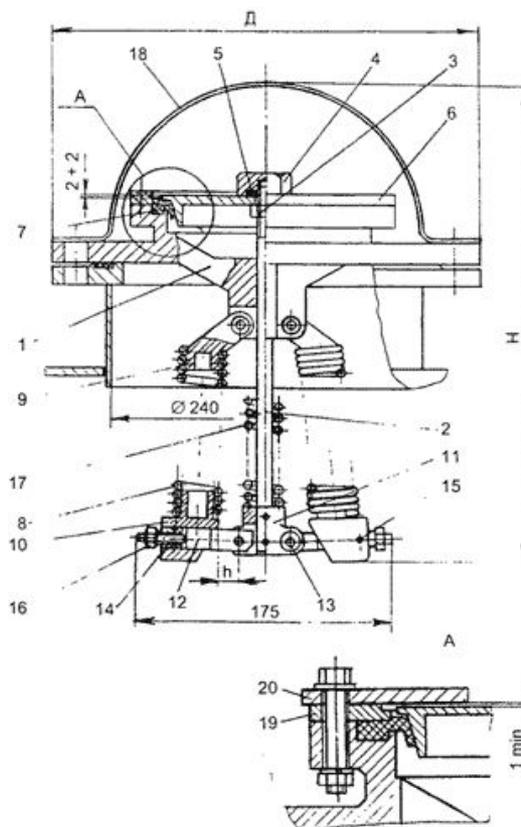
б)

*Вместо выхлопной трубы в настоящее время находят применение механические пружинные предохранительные клапаны, устанавливаемые на верхней части стенки бака трансформатора. Клапан срабатывает при повышении давления в баке до 80 кПа и закрывается при давлении ниже 35 кПа. Время срабатывания клапана, приблизительно 0,05 с. На баке устанавливаются два клапана и более.*

***Недостаток** конструкции предохранительного клапана — ненадежность уплотнения. В результате резкого выброса масла при срабатывании клапана, манжета 7 может сместиться, что зачастую приводит к уходу из трансформатора части масла.*



<http://ml-pne.moscenter.ru>



- 1 — корпус; 2 — шток;
- 3 — гайка фиксации;
- 4 — гайка-колпак;
- 5 — прокладка; 6 — клапан;
- 7 — манжета; 8 — пружина;
- 9, 10 — кронштейн;
- 11 — втулка; 12 — рычаг; 13 — ось;
- 14 — винт регулировки давления;
- 15 — винт фиксации;
- 16 — контргайка;
- 17 — амортизационная пружина; 18 — кожух;
- 19 — фланец;
- 20 — пластина для фиксации крышки клапана.



*23 ноября 2012 г. в Карелии, на целлюлозно-бумажном комбинате «ОАО Кондопога», в 14.17 остановились две бумагоделательные машины. На подстанции глубокого ввода произошел громкий хлопок и сброс нагрузки на 40 МВт. На щите подстанции сработала аварийная и предупредительная сигнализации и сработали указатели защит: «газовая, дифференциальная защита» одного из трансформаторов.*

*Оперативный персонал отправился на осмотр; было обнаружено, что трансформатор ТРДЦН 63000 кВА 220/6 кВ сильно поврежден.*

*Причиной разрыва внешней оболочки трансформатора, скорее всего, стало внутреннее короткое замыкание в баке трансформатора.*

**Разрушены вводы 220 кВ и из бака хлещет масло! А предохранительный клапан на специальной выхлопной трубе трансформатора - целый!**



*40 тонн масла под давлением быстро вырвались на свободу.*



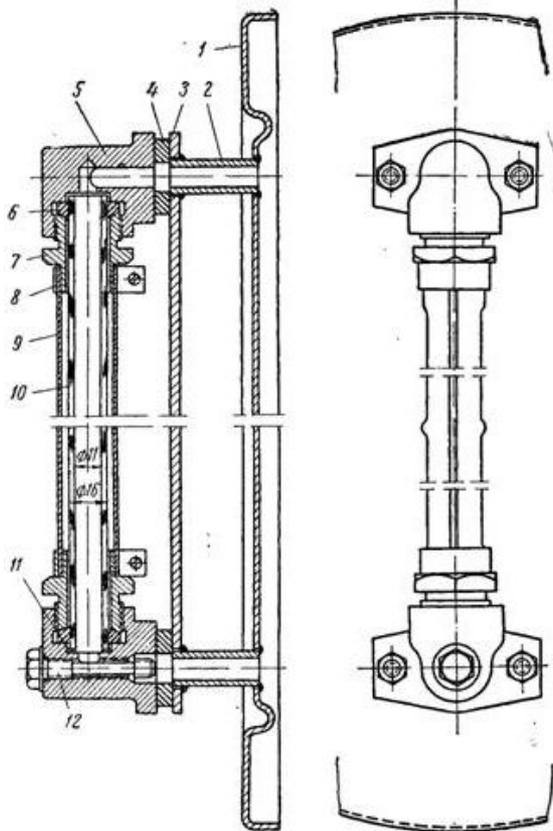
**20 человек пытались спасти масло и наладить его отвод во временные емкости.**



Попытка спасти часть  
масла

Расширитель снабжается маслоуказателем 13, а трансформаторы мощностью 10 МВ-А и более, кроме того, — реле низкого уровня масла. Маслоуказатель служит для контроля уровня масла в трансформаторе. Применяются плоские и трубчатые стеклянные маслоуказатели, работающие по принципу сообщающихся сосудов. На шкале маслоуказателя наносятся три контрольные риски, соответствующие уровням масла в неработающем трансформаторе при температурах  $-45$ ,  $+15$  и  $+40$  °С.

Маслоуказатель имеет поплавков, располагающийся на поверхности масла в расширителе. Связь поплавка со стрелкой маслоуказателя, находящегося снаружи, осуществляется посредством двух постоянных магнитов, один из которых жестко связан со стрелкой, другой — системой рычагов с поплавком. Магниты разделены между собой тонкой немагнитной пластиной, герметично закрывающей окно, вырезанное в стальной боковой стенке расширителя. Магниты взаимодействуют между собой через немагнитную пластину, поворачиваясь на один и тот же угол в зависимости от положения поплавка.



Получили распространение также стрелочные магнитные маслоуказатели.

В корпус маслоуказателя встроены также специальный герметичный контакт (геркон), подающий сигнал в случае недопустимого понижения уровня масла в трансформаторе.

### ПТЭ, п.5.3.3. Стационарные средства пожаротушения, маслоприемники, маслоотводы и маслоборники должны быть в исправном состоянии.



*Наружная установка водяного пожаротушения высоковольтного 320/220кВ автотрансформатора АТДЦТН240000/320/220/-7291 с применением лафетных стволов ЛС-С20Уо. Общая площадь, подлежащая защите установкой пожаротушения, включает в себя вертикальные и горизонтальные наружные поверхности элементов автотрансформатора. С учетом 10% запаса на неучтенные крепления и трубопроводы расчетная защищаемая площадь составляет 325м<sup>2</sup>. Минимальное количество лафетных стволов ЛС-С20Уо, необходимых для защиты объекта, составит 4 шт. При расчете учитывалось орошение каждой точки защищаемой поверхности двумя струями при напоре 0,6МПа с дальностью струи 10м (при угле распыливания 90о, угле возвышения ствола 40о и расходе 20л/с). Расход воды на пожаротушение составит 80л/с, при этом интенсивность орошения будет 0,24л/(с·м<sup>2</sup>), при норме 0,2л/(с·м<sup>2</sup>). С учетом минимального расхода на наружное пожаротушение не менее 10л общий расход установки пожаротушения составит 90л/с. На рисунке показаны опытные испытания АУП-ЛСо для защиты автотрансформатора на объекте применения.*

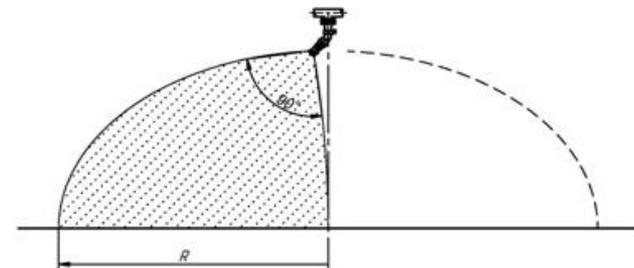
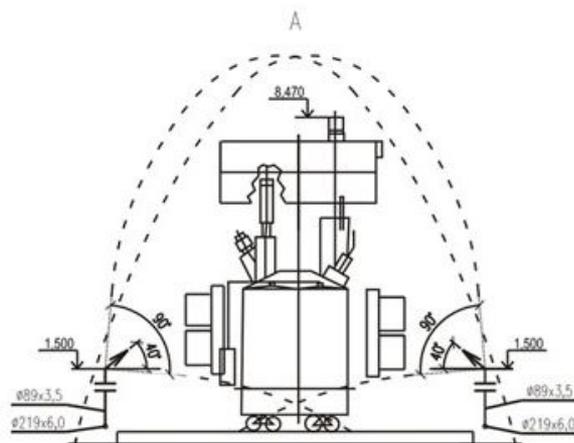
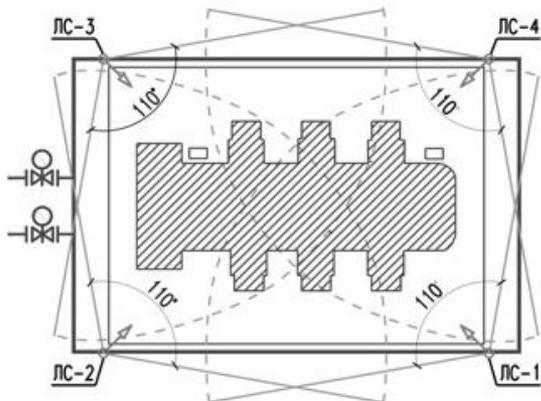


*Пожарные лафетные стволы с осцилляторами качения типа ЛС-С20Уо (слева), ЛС-С40Уо, ЛС-С60Уо, ЛС-С100Уо или пожарные лафетные стволы с осцилляторами кругового вращения типа ЛС-С20Уок (справа), ЛС-С40Уок, ЛС-С60Уок, ЛС-С100Уок. Лафетные стволы с осцилляторами подключаются к магистральному подводящему трубопроводу с использованием дисковых затворов ДЗЭ-80, ДЗЭ-100 или ДЗЭ-80Ех, ДЗЭ-100Ех во взрывозащищенном исполнении. Лафетные стволы могут быть оснащены также эжекторными насадками для подачи пенообразователя в установках пенного пожаротушения и дефлекторными насадками для получения плоской струи при создании водяных завес.*

*Осциллятор гидравлический предназначен для использования в комплекте с лафетными стволами типа ЛС-С20(15;25)У и ЛС-С40(30;20)У для перемещения (качения) ствола в заданном секторе, используя энергию подаваемой на лафетный ствол воды.*



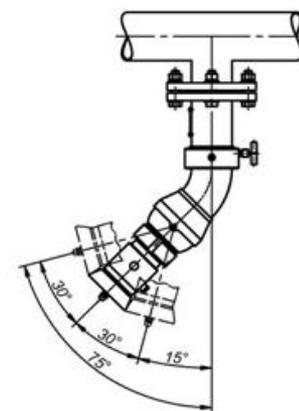
**Лафетные стволы устанавливаются на кольцевом противопожарном водопроводе Ду 200 по периметру автотрансформатора на расстоянии не менее 2,55м, в соответствии с требованиями ПУЭ, см. рисунок. Размещение стволов обеспечивает орошение каждой точки автотрансформатора не менее чем двумя струями, что подтверждается картами орошения.**



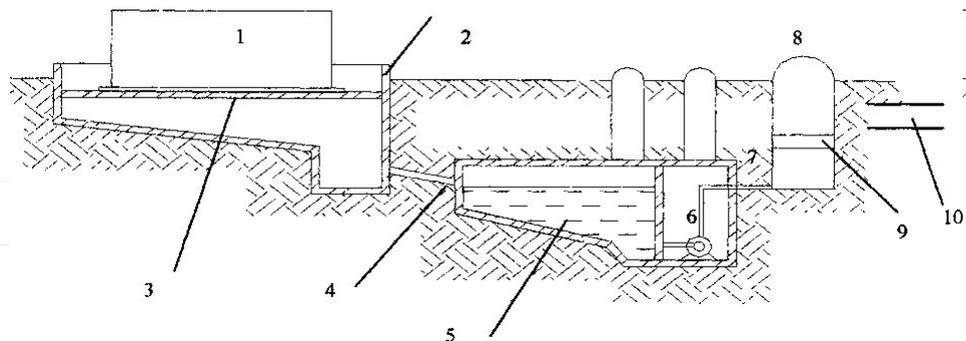
Зона орошения при угле распыла - 90°

| Расход воды при давлении 0,6 МПа, л/с | Радиус зоны орошения относительно оси вращения ствола R, м | Общая площадь зоны орошения, м <sup>2</sup> |
|---------------------------------------|--|---|
| 20                                    | 21   | 1384  |
| 40                                    | 28   | 2460  |
| 60                                    | 30   | 2826  |
| 100                                   | 32   | 3215  |

**Каждая установка водяного пожаротушения (УВП) состоит из подводящего трубопровода, запорно-пускового устройства (ЗПУ) и сухотрубной системы, включающей кольцевой противопожарный водопровод Ду 200 и сеть распределительных трубопроводов с дренчерными оросителями.**







**Технологическая схема отвода и очистки замасленных стоков трансформатора:**

**1 – трансформатор; 2 – маслоприемник; 3 – дренажно-гравийная засыпка; 4 – маслоотвод; 5 – маслосборник; 6 – насос; 7 – трубопровод; 8 – колодец; 9 – фильтр; 10 – ливневая канализация.**

**Маслоприемные и дренажные устройства под трансформаторами, предотвращающие растекание масла и распространение пожара на другое оборудование, должны обеспечивать отвод из-под трансформатора масла в любое время года на безопасное в пожарном отношении расстояние. Однако, как показывает опыт эксплуатации, эти устройства часто засоряются песком и шламом и в аварийных случаях не выполняют предусмотренных функций. Поэтому необходимо производить периодическую очистку и промывку маслоприемных устройств в сроки, определяемые местными условиями и инструкциями.**

## Подстанция КС-7а







## Строительство маслоприемника ПС КС-7а



## Строительство маслоприемника ПС КС-7а



## Разгрузка трансформатора на шпальную решетку



## Перемещение трансформатора на фундамент (ПС КС-7а)



## Монтаж элементов трансформатора







**ПТЭ, п.5.3.4.** На баках трансформаторов и реакторов наружной установки должны быть указаны стационарные (подстанционные) номера. Такие же номера должны быть на дверях и внутри трансформаторных пунктов и камер.

На баки однофазных трансформаторов и реакторов должна быть нанесена расцветка фазы.

Трансформаторы и реакторы наружной установки должны быть окрашены в светлые тона краской, стойкой к атмосферным воздействиям и воздействию масла.



*В процессе эксплуатации необходимо следить за сохранением указанных надписей и обозначений и возобновлять их после производства замены или покраски трансформаторов и помещений.*

*При установке на открытом воздухе трансформаторы подвергаются воздействию прямых солнечных лучей. Чтобы уменьшить степень нагрева поверхностей баков и масла трансформатора от солнечной радиации, необходимо трансформаторы окрашивать в светлые тона. Однако применяемые краски не должны снижать теплоотдачу от поверхности бака путем излучения, что может привести к повышению нагрева трансформатора.*

*Исследования и опыт показывают, что применение красок с металлическими наполнителями (алюминий, бронза) значительно уменьшает излучение с поверхности бака и радиаторов.*

**ПТЭ, п.5.3.5. Питание электродвигателей устройств охлаждения трансформаторов (реакторов) должно быть осуществлено, как правило, от двух источников, а для трансформаторов (реакторов) с принудительной циркуляцией масла - с применением АВР.**

*Для трансформаторов с естественной циркуляцией масла и дутьем (Д) принудительный обдув радиаторов воздухом увеличивает теплоотдачу радиаторов на 30-40 %, что позволяет работать с номинальной нагрузкой. При отключенном обдуве указанные трансформаторы с номинальной нагрузкой могут работать всего несколько часов ввиду значительного повышения температуры масла и обмоток трансформатора и опасности ускоренного старения его изоляции.*

*В трансформаторе (реакторе) с принудительной циркуляцией масла через масло-воздушные или масловодяные охладители (охлаждение видов ДЦ и Ц) почти все тепло, выделяющееся в трансформаторе (реакторе), отводится через охладители, и только небольшая его часть отводится в окружающую среду стенками бака. При прекращении циркуляции масла, обдува или циркуляции воды в этих трансформаторах (реакторах) происходит быстрое повышение температуры масла, при этом температура верхних слоев масла в трансформаторе (реакторе) может повыситься на 40-45 °С по сравнению с температурой масла в нижней части бака трансформатора (реактора). При даже небольшой нагрузке трансформатора температура активной части и верхних слоев масла может превысить допустимую, что вызовет опасность повреждения трансформатора.*

*Схема питания системы охлаждения трансформатора (реактора) и устройство АВР должны поддерживаться в исправном состоянии и периодически проверяться.*

**ПТЭ, п.5.3.6. Устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) трансформаторов должны быть в работе в автоматическом режиме. Переключение устройства РПН трансформатора, находящегося под напряжением, вручную (рукояткой) **запрещается.****

*Все трансформаторы с РПН отправляются с заводов-изготовителей с блоками автоматического управления, которые обеспечивают регулирование напряжения в зависимости от нагрузки отходящих присоединений. Блоки автоматики должны быть установлены на панели регулирования и введены в работу вместе с трансформатором.*

*Устройства РПН должны постоянно находиться в работе с включенными блоками автоматического управления. Работа устройства РПН должна постоянно контролироваться счетчиком числа операций и устройствами, позволяющими судить об исправности РПН и блока автоматического управления. При выходе из строя блок автоматического управления выводится из работы, и должны быть приняты меры по его восстановлению, а устройство РПН следует перевести на дистанционное управление.*

*Переводить устройство РПН на дистанционное управление допустимо на подстанциях с постоянным дежурством персонала в тех случаях, когда имеют место небольшие колебания напряжения, приемлемые для потребителей данного узла, и только по решению технического руководителя АО-энерго (энергообъекта).*

*При отказе схемы дистанционного управления устройства РПН трансформатор при первой возможности необходимо отключить для выявления и устранения неисправности.*

*Производить переключение устройства РПН вручную, непосредственно на трансформаторе, находящемся под напряжением, не допускается вследствие опасности для персонала, а также опасности повреждения трансформатора из-за возможной неправильной установки нового положения устройства РПН и ненормальной длительности цикла переключения.*

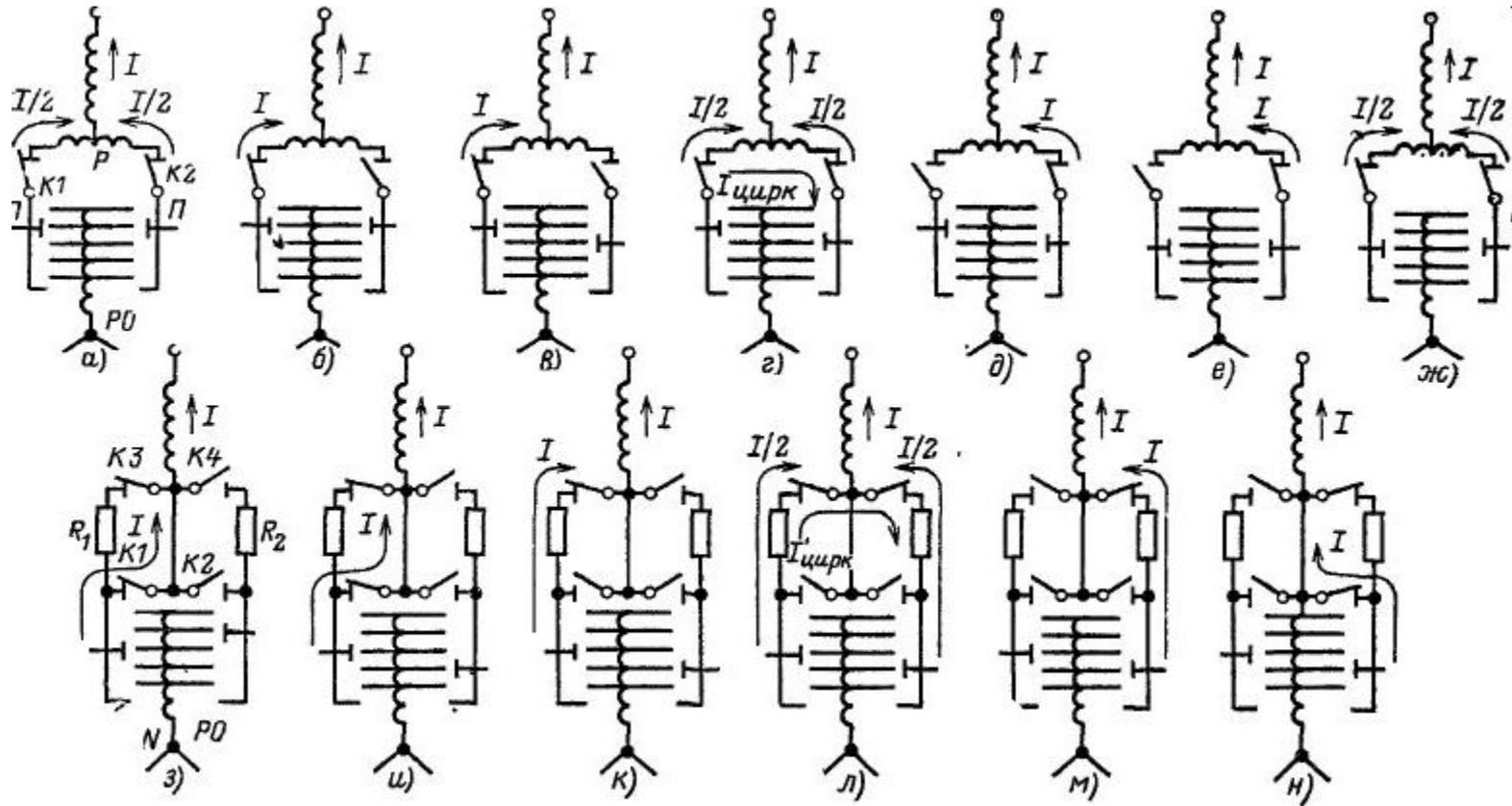


## Бак колокольного типа



Последовательность работы переключающих устройств РПН с реактором (а—ж)  
и с резистором (з—я):

*Р — реактор; R1 и R2 — резисторы; П — переключатели (избиратели);  
К1—К4 — контакторы; Р0 ~ регулировочная обмотка*



**ПТЭ, п.5.3.8.** На трансформаторах и реакторах с принудительной циркуляцией воздуха и масла (охлаждение вида ДЦ) и на трансформаторах с принудительной циркуляцией воды и масла (охлаждение вида Ц) устройства охлаждения должны автоматически включаться (отключаться) одновременно с включением (отключением) трансформатора или реактора. Принудительная циркуляция масла должна быть непрерывной независимо от нагрузки. Порядок включения (отключения) систем охлаждения должен быть определен заводской инструкцией.

**Эксплуатация трансформаторов и реакторов с искусственным охлаждением без включенных в работу устройств сигнализации о прекращении циркуляции масла, охлаждающей воды или об останове вентиляторов запрещается.**

*Охлаждающая поверхность баков в этих трансформаторах (реакторах) отводит только небольшую часть потерь в них (5-7 %), а основная часть потерь отводится охладителями. При включении трансформатора (реактора) без охлаждения или при отключении устройства охлаждения (прекращении циркуляции масла, воды или останове вентиляторов дутья) происходит быстрое повышение температуры обмотки и верхних слоев масла, и нагрев отдельных деталей трансформатора (реактора), который может за короткое время (в пределах 1 ч при номинальной нагрузке) достигнуть недопустимых пределов и привести к аварии трансформатора (реактора).*

*В зимнее время при низких температурах охлаждающего воздуха на трансформаторах (реакторах) с охлаждением ДЦ и Ц допускается отключение части вентиляторов и прекращение циркуляции воды с сохранением циркуляции масла с нагрузкой до номинальной при условии, что температура верхних слоев масла не будет превышать 45 °С.*

*С целью предотвращения возникновения местных перегревов отдельных частей трансформатора циркуляция масла должна быть включена постоянно, вне зависимости от нагрузки, температуры масла и температуры окружающего воздуха.*

**ПТЭ, п.5.3.10.** При масловодяном охлаждении трансформаторов давление масла в маслоохладителях должно превышать давление циркулирующей в них воды не менее чем на 0,1 кгс/см<sup>2</sup> (10 кПа) при минимальном уровне масла в расширителе трансформатора.

Система циркуляции воды должна быть включена после включения рабочих маслонасосов при температуре верхних слоев масла не ниже 15 °С и отключена при понижении температуры масла до 10 °С, если иное не оговорено в заводской технической документации.

**Должны быть предусмотрены меры для предотвращения замораживания маслоохладителей, насосов и водяных магистралей.**

*У трансформаторов с масловодяным принудительным охлаждением при эксплуатации происходит постепенный износ трубок охладителей в зависимости от чистоты охлаждающей воды.*

*Для исключения возможности попадания охлаждающей воды в масло трансформатора необходимо соблюдать следующий порядок операций по включению и отключению системы охлаждения: при включении трансформатора в первую очередь пускать масляный насос, а затем - водяной (открывать задвижки подачи воды); при отключении - сначала останавливать водяной насос (закрывать задвижки подачи воды), а затем - масляный.*

*При длительном отключении трансформатора масло остывает, практически, до температуры окружающего воздуха, т.е. может быть ниже 0 °С. В этом случае при включении трансформатора включается пусковой насос, который должен работать до достижения температуры масла 15 °С, после чего включаются рабочие масляные насосы и подается вода в охладители. В настоящее время все выпускаемые трансформаторы оснащены автоматикой управления масловодяной системой охлаждения.*

*Необходимо помнить, что инструкциями по эксплуатации трансформаторов циркуляция и наличие воды в маслоохладителе при температуре верхних слоев масла трансформатора менее плюс 10 °С не допускается. Если температура верхних слоев масла в холодное время года достигла значения плюс 10 °С и менее, а в маслоохладителе циркулирует или залита вода, необходимо слить воду, тщательно проверить отсутствие масла в воде. Дренажи и воздушная заслонка при этом должны оставаться открытыми.*

**ПТЭ, п.5.3.11. Масло в расширителе неработающего трансформатора (реактора) должно быть на уровне отметки, соответствующей температуре масла в трансформаторе (реакторе).**

*Во время работы трансформатора масло изменяет свой объем из-за нагрева. При эксплуатации трансформатора температура масла может изменяться на 110-120 °С, а объем масла в баке - примерно на 10 %.*

*Для обеспечения постоянного заполнения бака маслом при изменении температуры трансформаторы снабжаются расширителями. Объем расширителя составляет около 10 % объема масла в баке трансформатора и системе охлаждения.*

*Контроль уровня масла в расширителе трансформатора и отсеке расширителя контактора устройства РПН осуществляется с помощью маслоуказателя. Для трансформаторов мощностью более 10 МВ-А и устройств РПН применяются стрелочные маслоуказатели, выполняющие функции датчиков минимального, а с 1985 г. - и максимального уровня масла в расширителе.*

*На маслоуказателях или на стенке бака расширителя для трубчатых и плоских маслоуказателей нанесены метки температур минус 45, 15, 40 °С для умеренного климата и минус 60, 15, 40 °С для холодного, а у трансформаторов, выпущенных до введения ГОСТ 11677-65, метки соответственно минус 35, 15, 35 °С.*



**ПТЭ, п.5.3.12. При номинальной нагрузке температура верхних слоев масла должна быть (если заводами-изготовителями не оговорены иные температуры) у трансформатора и реактора с охлаждением ДЦ - не выше 75 °С, с естественным масляным охлаждением М и охлаждением Д - не выше 95 °С; у трансформаторов с охлаждением Ц температура масла на входе в маслоохладитель должна быть не выше 70 °С.**

*Для трансформаторов с естественным масляным охлаждением М и принудительной циркуляцией воздуха Д при работе устанавливается небольшой перепад температуры между обмоткой и верхними слоями масла ввиду небольшой скорости масла в баке трансформатора, и для них допустимая температура масла составляет при номинальной нагрузке 95 °С.*

*Для трансформаторов с принудительной циркуляцией масла ввиду относительно высокой скорости масла в баке трансформатора температура масла в баке по высоте меняется всего на несколько градусов и перепад температур между верхними слоями масла и обмоткой значительно выше и близок к расчетному превышению средней температуры обмотки над средней температурой масла, которое составляет около 30 °С.*

*Поэтому для трансформаторов с принудительной циркуляцией масла ДЦ допустимая температура верхних слоев масла ниже и составляет 75 °С, а с масловодяным охлаждением - 70 °С на входе в маслоохладитель.*

*Если в эксплуатации температура верхних слоев масла превышает упомянутые значения, это свидетельствует или о неисправности системы охлаждения (нарушение работы вспомогательных механизмов системы охлаждения), или о неисправности самого трансформатора, что должно быть выяснено и устранено.*

*Если при принудительном масловодяном охлаждении температура воды в летнее время превышает 25 °С, то должны быть приняты меры по интенсификации охлаждения трансформатора с тем, чтобы температура верхних слоев масла не превышала 70 °С, в противном случае нагрузка трансформатора должна быть снижена из расчета 1 % на каждый 1°С повышения температуры охлаждающей воды сверх 25 °С.*

**ПТЭ, п.5.3.14. Для масляных трансформаторов допускается длительная перегрузка по току любой обмотки на 5 % номинального тока ответвления, если напряжение на ответвлении не превышает номинального. Кроме того, для трансформаторов в зависимости от режима работы допускаются систематические перегрузки, значение и длительность которых регламентируются типовой инструкцией по эксплуатации трансформаторов и инструкциями заводов-изготовителей...**

*ГОСТ 11667-85 нормирует расчетный срок службы изоляции трансформатора при работе его с постоянной номинальной нагрузкой при номинальных температурных условиях (при среднегодовой температуре окружающего воздуха около 20 °С) - 25 лет.*

*Это соответствует постоянной средней температуре обмотки 85 °С и температуре наиболее нагретой точки обмотки - 98 °С.*

*В реальных условиях эксплуатации нагрузка трансформаторов изменяется как в течение суток, так и в течение года. Исходя из условий надежной работы масляные трансформаторы допускают длительную перегрузку каждой обмотки током, превышающим не более чем на 5 % номинальный, если напряжение ни на одной из обмоток не превышает номинального. При этом для обмотки с ответвлениями нагрузка не должна превышать 1,05 номинального тока ответвления, если трансформатор не работает с систематическими перегрузками, указанными ниже.*

*Систематические перегрузки трансформаторов допускаются в зависимости от характера, суточного графика нагрузки, температуры охлаждающей среды и недогрузки в летнее время.*

## Приказ Минэнерго России от 08 февраля 2019 г. № 81:

3. Пункт 5.3.15 признать утратившим силу.

~~ПТЭ, п. 5.3.15. В аварийных режимах допускается кратковременная перегрузка трансформаторов сверх номинального тока при всех системах охлаждения независимо от длительности и значения предшествующей нагрузки и температуры охлаждающей среды в следующих пределах:~~

### *Масляные трансформаторы*

|                              |     |    |    |    |     |
|------------------------------|-----|----|----|----|-----|
| Перегрузка по току, %        | 30  | 45 | 60 | 75 | 100 |
| Длительность перегрузки, мин | 120 | 80 | 45 | 20 | 10  |

### *Сухие трансформаторы*

|                              |    |    |    |    |    |
|------------------------------|----|----|----|----|----|
| Перегрузка по току, %        | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Длительность перегрузки, мин | 60 | 45 | 32 | 18 | 5  |

Допустимые продолжительные перегрузки сухих трансформаторов устанавливаются заводской инструкцией.

*Аварийные перегрузки допускаются в исключительных случаях при выходе из строя одного из работающих трансформаторов и отсутствии резерва.*

## ***Приказ Минэнерго России от 08 февраля 2019 г. № 81:***

**Об утверждении требований к перегрузочной способности трансформаторов и автотрансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, и ее поддержанию и о внесении изменений в Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19 июня 2003 г. № 229**

1. Утвердить прилагаемые:

требования к перегрузочной способности трансформаторов и автотрансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, и ее поддержанию;

изменения, которые вносятся в Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19 июня 2003 г. № 229 (зарегистрирован Минюстом России 20 июня 2003 г., регистрационный № 4799), с изменениями, внесенными приказом Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757 (зарегистрирован Минюстом России 22 ноября 2018 г., регистрационный № 52754).

2. Настоящий приказ вступает в силу по истечении тридцати дней со дня его официального опубликования.

Таблица 1. Коэффициенты допустимой длительной перегрузки трансформаторов (автотрансформаторов) без ограничения длительности.

| Режим нагрузки                               | Коэффициент допустимой длительной (без ограничения длительности) перегрузки $K_{доп}$ при температуре охлаждающего воздуха (воды), $\theta_v$ , °C |      |      |      |      |      |      |
|--|--|------|------|------|------|------|------|
|  | -20  | -10  | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   |
| Нормальный (без повышенного износа изоляции) | 1,20   | 1,20 | 1,15 | 1,08 | 1,00 | 0,91 | 0,82 |
| С возможным повышенным износом изоляции      | 1,25   | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,20 | 1,15 | 1,08 |

Таблица 3. Коэффициенты допустимой аварийной перегрузки трансформаторов (автотрансформаторов) мощностью более 16 МВА с системой охлаждения М и трансформаторов (автотрансформаторов) с системой охлаждения Д<sup>3</sup>, находящихся в эксплуатации до 30 лет, в случаях превышения индексами технического состояния их функциональных узлов значения «70».

| Продолжительность нагрузки | Коэффициент допустимой аварийной перегрузки $K_{доп}$ (о.е.) при температуре охлаждающего воздуха (воды), $\theta_{в}$ , °С |     |     |     |     |     |      |     |
|----------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
|                            | -25   | -20 | -10 | 0   | 10  | 20  | 30   | 40  |
| 20 секунд                  | 2,0   | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0  | 2,0 |
| 1 минута                   | 2,0   | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0  | 2,0 |
| 5 минут                    | 1,8   | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7  | 1,7 |
| 10 минут                   | 1,8   | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5  | 1,5 |
| 20 минут                   | 1,8   | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,35 | 1,3 |
| 30 минут                   | 1,8   | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2  | 1,2 |
| 1,0 час                    | 1,7   | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2  | 1,2 |
| 2,0 часа                   | 1,7   | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2  | 1,2 |
| 4,0 часа                   | 1,6   | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2  | 1,2 |
| 8,0 часов                  | 1,6   | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2  | 1,1 |
| 24,0 часа                  | 1,6   | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2  | 1,1 |

Таблица 7. Коэффициенты допустимой аварийной перегрузки трансформаторов (автотрансформаторов) с системой охлаждения ДЦ и Ц, находящихся в эксплуатации 30 лет и более, или в случаях, когда индексы технического состояния их функциональных узлов превышают значение «50» и не превышают значение «70».

| Продолжительность нагрузки | Коэффициент допустимой аварийной перегрузки $K_{доп}$ (о.е.) при температуре охлаждающего воздуха (воды), $\theta_{вз}$ , °С |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                            | -25  | -20 | -10 | 0   | 10  | 20  | 30  | 40  |
| 20 секунд                  | 1,7  | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| 1 минута                   | 1,7  | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| 5 минут                    | 1,6  | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 10 минут                   | 1,5  | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| 20 минут                   | 1,4  | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 |
| 30 минут                   | 1,4  | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 1,0 час                    | 1,4  | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 2,0 часа                   | 1,3  | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 4,0 часа                   | 1,3  | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 8,0 часов                  | 1,3  | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 24,0 часа                  | 1,3  | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Допустимые перегрузки сухих трансформаторов и трансформаторов с элегазовой изоляцией, устанавливаются собственником или иным законным владельцем соответствующего объекта электроэнергетики с учетом требований документации организации-изготовителя.».

## Сухой трансформатор



**ПТЭ, п.5.3.16.** При аварийном отключении устройств охлаждения условия работы трансформаторов определяются требованиями заводской документации.

*Если рекомендаций завода нет, необходимо придерживаться следующих положений.*

*Трансформаторы с дутьевым охлаждением масла (Д) при аварийном отключении всех вентиляторов дутья допускают работу с номинальной нагрузкой в течение времени:*

|  |            |            |           |            |            |            |
|--|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Температура окружающего воздуха, °С</i> | <i>-15</i> | <i>-10</i> | <i>0</i>  | <i>+10</i> | <i>+20</i> | <i>+30</i> |
| <i>Допустимая длительность нагрузки, ч</i> | <i>60</i>  | <i>40</i>  | <i>16</i> | <i>10</i>  | <i>6</i>   | <i>4</i>   |

*Трансформаторы мощностью до 250 МВА с охлаждением ДЦ и Ц при аварийном прекращении искусственного охлаждения (прекращении работы вентиляторов при системе охлаждения ДЦ, циркуляции воды при системе охлаждения Ц или при одновременном прекращении работы водяных и масляных насосов при системе охлаждения Ц и вентиляторов, насосов при системе охлаждения ДЦ) допускают работу с номинальной нагрузкой в течение **10 мин** (в режиме холостого хода в течение **30 мин**). Если по истечении указанного времени температура верхних слоев масла не достигла **80 °С**, допускается поддерживать номинальную нагрузку до достижения температуры верхних слоев масла **80 °С**, но **не более 1 ч** после прекращения искусственного охлаждения.*

*Для трансформаторов мощностью более 250 МВА допустимы те же режимы, но при условии, что температура верхних слоев масла не превышает **75 °С**.*

ПТЭ, п.5.3.17. Включение трансформаторов на номинальную нагрузку допускается:

- с системами охлаждения М и Д при любой отрицательной температуре воздуха;
- с системами охлаждения ДЦ и Ц при температурах окружающего воздуха не ниже минус 25 °С. При более низких температурах трансформатор должен быть предварительно прогрет включением на нагрузку 0,5 номинальной без запуска системы циркуляции масла до достижения температуры верхних слоев масла минус 25 °С, после чего должна быть включена система циркуляции масла. В аварийных условиях допускается включение трансформатора на полную нагрузку независимо от температуры окружающего воздуха;
- при системе охлаждения с направленным потоком масла в обмотках трансформаторов НДЦ, НЦ - в соответствии с заводскими инструкциями.

*При температуре минус 40 °С и ниже отечественные масла имеют очень высокую вязкость, так как точка застывания масла находится в пределах - (45-50) °С. В отношении допустимости включения трансформатора при столь низких температурах неоднократно высказывались опасения, которые основывались на том, что при очень высокой вязкости масла между обмоткой и маслом установится перепад температуры в 6-7 раз выше расчетного (150 °С вместо 25 °С). Однако проведенные исследования, испытания реальных трансформаторов и опыт эксплуатации показали необоснованность этих опасений.*

*Исследованиями было установлено, что при включении трансформаторов с застывшим маслом в них некоторое время отсутствует циркуляция масла и в баке, и в каналах обмотки. Все выделяющиеся в первое время потери идут на нагрев обмотки и масла в каналах обмотки, так как теплоотдача через слой застывшего масла почти не происходит. В связи с прогревом масла перепад температуры между обмотками и маслом устанавливается невысокий. При включении трансформатора с номинальной нагрузкой при температуре масла - (40-45) °С циркуляция масла в каналах обмотки появляется через 1,5-2 ч после включения трансформатора, когда температура обмотки и масла достигает примерно 95-70 °С, что не представляет опасности для обмоток. После возникновения циркуляции масла температура обмотки и масла в каналах понижается.*

**ПТЭ, п.5.3.21. Нейтрали обмоток 110 кВ и выше автотрансформаторов и реакторов, а также трансформаторов 330 кВ и выше должны работать в режиме глухого заземления. Допускается заземление нейтрали трансформаторов и автотрансформаторов через специальные реакторы.**

**Трансформаторы 110 и 220 кВ с испытательным напряжением нейтрали соответственно 100 и 200 кВ могут работать с разземленной нейтралью при условии ее защиты ограничителем перенапряжения (ОПН). При обосновании расчетами допускается работа с разземленной нейтралью трансформаторов 110 кВ с испытательным напряжением нейтрали 85 кВ, защищенной ОПН.**

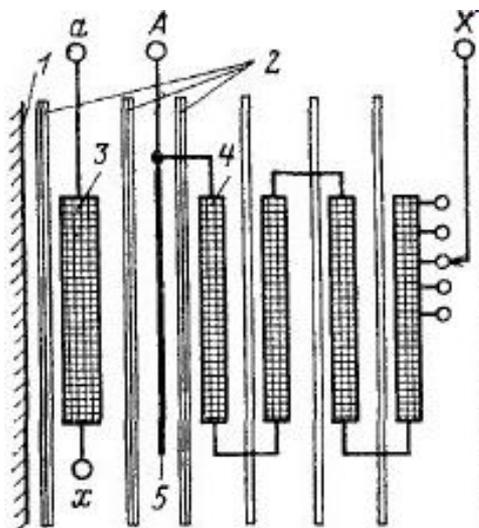
*Для защиты от перенапряжений обмоток всех трансформаторов к ним должны быть постоянно подключены разрядники (ограничители перенапряжений), обеспечивающие защиту обмоток в соответствии с уровнем их изоляции.*

*Трансформаторы напряжением 330 кВ и выше должны всегда работать с заземленной нейтралью, а для трансформаторов 220 кВ работу с изолированной нейтралью при условии защиты ее разрядником (ОПН) следует допускать только в случаях, когда изоляция нейтрали имеет испытательное напряжение 200 кВ*

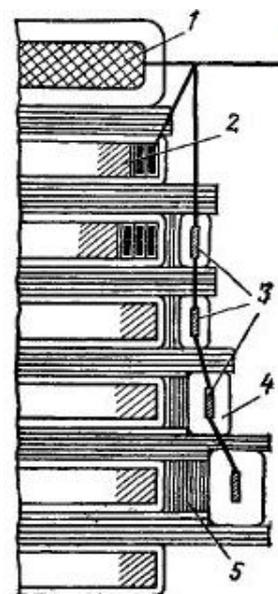
*На трансформаторах, работающих с изолированной нейтралью, следует производить предварительное заземление нейтрали перед включением и отключением трансформатора во избежание значительных коммутационных перенапряжений в момент переключения и повреждения трансформатора.*

Защита обмоток трансформаторов от атмосферных перенапряжений выполняется различными устройствами емкостной защиты. К таким устройствам относят экраны, емкостные кольца и экранирующие витки. Экраны (незамкнутые цилиндры из немагнитного металла) укладывают под внутренний слой обмотки ВН и подключают к линейному вводу (рис. 1). Экранами снабжают трансформаторы напряжением 35 кВ и ниже. Трансформаторы напряжением 110—220 кВ имеют устройство емкостной защиты, схема которого показана на рис. 2. В схему входят незамкнутое металлическое изолированное кольцо, расположенное с торца обмотки, и несколько незамкнутых экранирующих витков. Экранирующие витки электрически соединены с емкостным кольцом и подключены к линейному вводу обмотки.

Электрические емкости экранирующих витков и колец дают возможность выровнять начальное распределение импульсного напряжения по обмотке и избежать опасных воздействий перенапряжений на изоляцию первых ее витков и секций.



**Рис. 1. Схема емкостной защиты обмоток 35 кВ:**  
 1 — стержень магнитопровода;  
 2 — изоляционные цилиндры; 3 — обмотка НН;  
 4 — обмотка ВН; 5 — экран



**Рис. 2. Схема емкостной защиты обмоток 220 кВ:**  
 1 — емкостное кольцо; 2 — обмотка; 3 — экранирующие витки;  
 4 — изоляция экранирующих витков; 5 — изоляционные прокладки, образующие масляные каналы

**ПТЭ, п.5.3.22. При срабатывании газового реле на сигнал должен быть произведен наружный осмотр трансформатора (реактора), отобран газ из реле для анализа и проверки на горючесть.**

**Для обеспечения безопасности персонала при отборе газа из газового реле и выявления причины его срабатывания должны быть произведены разгрузка и отключение трансформатора (реактора). Время выполнения мероприятий по разгрузке и отключению трансформатора должно быть минимальным.**

**Если газ в реле негорючий, отсутствуют признаки повреждения трансформатора (реактора), а его отключение вызвало недоотпуск электроэнергии, трансформатор (реактор) может быть немедленно включен в работу до выяснения причины срабатывания газового реле на сигнал. Продолжительность работы трансформатора (реактора) в этом случае устанавливается техническим руководителем энергообъекта.**

**По результатам анализа газа из газового реле, хроматографического анализа масла, других измерений (испытаний) необходимо установить причину срабатывания газового реле на сигнал, определить техническое состояние трансформатора (реактора) и возможность его нормальной эксплуатации.**

*Газовое реле на трансформаторе (реакторе) срабатывает, как правило, при выделении газа вследствие развивающегося внутреннего повреждения трансформатора. Однако возможно срабатывание реле на сигнал из-за скопления воздуха в баке. Поэтому в случае появления сигнала, особенно в первый период после ввода трансформатора в работу или после доливки масла, необходимо произвести отбор газа из газового реле для химического анализа и проверки газа на горючесть.*

*Следует иметь в виду, что при развитии ряда повреждений в трансформаторе (реакторе) в первый момент выделяется негорючий газ (с малым содержанием водорода и углеводородных соединений) и поэтому только химический анализ дает возможность установить наличие или отсутствие в газе продуктов разложения изоляции.*

При обнаружении горючего газа или газа, содержащего продукты разложения изоляции, трансформаторы на напряжение 220 кВ и выше должны быть немедленно отключены, а трансформаторы на более низкие напряжения могут быть разгружены в течение 1 ч, после чего они также должны быть выведены из работы для проведения необходимых измерений и испытаний.

Требование производить осмотр трансформатора и отбор газа после срабатывания «на сигнал» газового реле только после отключения трансформатора (реактора) вызвано необходимостью обеспечить безопасность персонала во время взятия пробы газа из газового реле и осмотра трансформатора, так как иначе развитие повреждения может привести к разрушению трансформатора и травмированию находящихся вблизи людей.

Если проверкой будет установлено, что выделяется негорючий газ, то трансформаторы напряжением 330 кВ и выше следует тем не менее разгрузить и отключить. Если отключение вызовет недоотпуск электроэнергии, то они могут быть оставлены в работе на срок, установленный техническим руководителем энергообъекта.

Данное требование связано с тем, что трансформаторы данных типов не имеют достаточных запасов в изоляции, и появление газовых пузырьков в масле может приводить к возникновению ползущих разрядов в изоляции или пробоя маслобарьерной изоляции. Поэтому при работе газового реле на сигнал вследствие попадания воздуха в бак, что устанавливается на основании химического анализа газа из газового реле, трансформаторы (реакторы) напряжением 330 кВ и выше необходимо выводить из работы до полного удаления воздуха из бака и устранения причины появления воздуха.

Трансформаторы на более низкие напряжения могут быть оставлены в работе при условии наблюдения за их работой и последующим выделением газа. При учащении появления газа в реле и работы защиты на сигнал трансформатор следует отключить.

**ПТЭ, п.5.3.23. В случае автоматического отключения трансформатора (реактора) действием защит от внутренних повреждений трансформатор (реактор) можно включать в работу только после осмотра, испытаний, анализа газа, масла и устранения выявленных нарушений.**

**В случае отключения трансформатора (реактора) защитами, действие которых не связано с его повреждением, он может быть включен вновь без проверок.**

*В случае автоматического отключения трансформатора действием защит от внутренних повреждений, необходимо включить резервный трансформатор, провести внешний осмотр и проверку отключенной трансформаторной установки для выяснения причин отключения трансформатора (реактора).*

*Включение отключенного трансформатора возможно только после его осмотра, испытаний, анализа масла, проверки газа из газового реле и устранения неисправностей.*

*Включать в работу трансформатор, имеющий признаки повреждений, не допускается.*

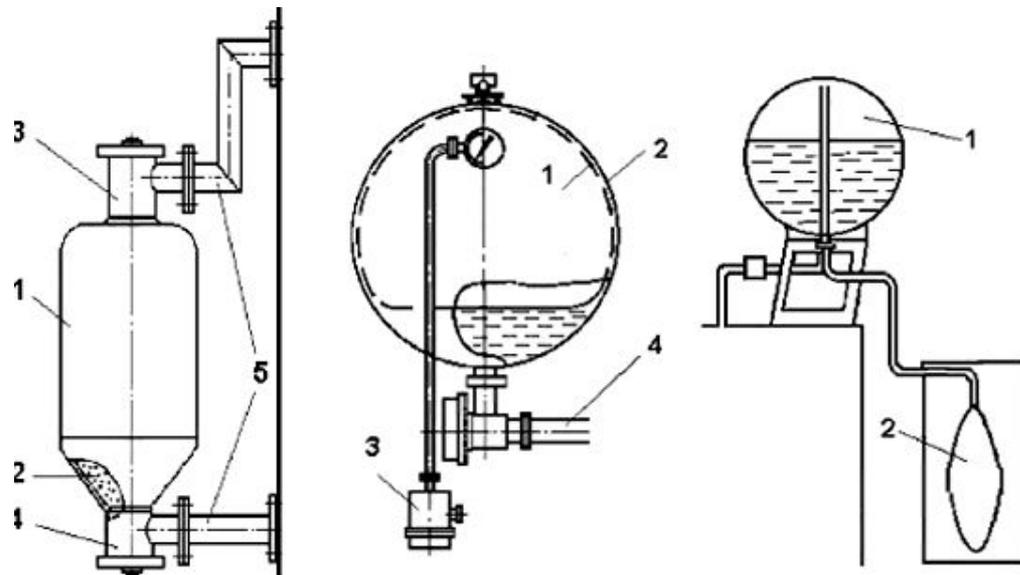
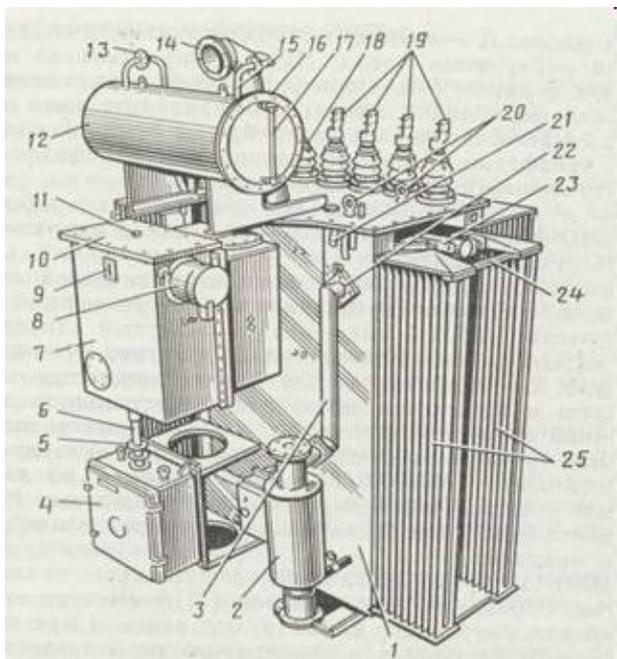
*Если трансформатор не имеет признаков повреждения, а его отключение произошло от устройств релейной защиты или электроавтоматики, действие которых не связано с его повреждением, трансформатор после устранения причины отключения может быть включен в работу без предварительных проверок и испытаний.*

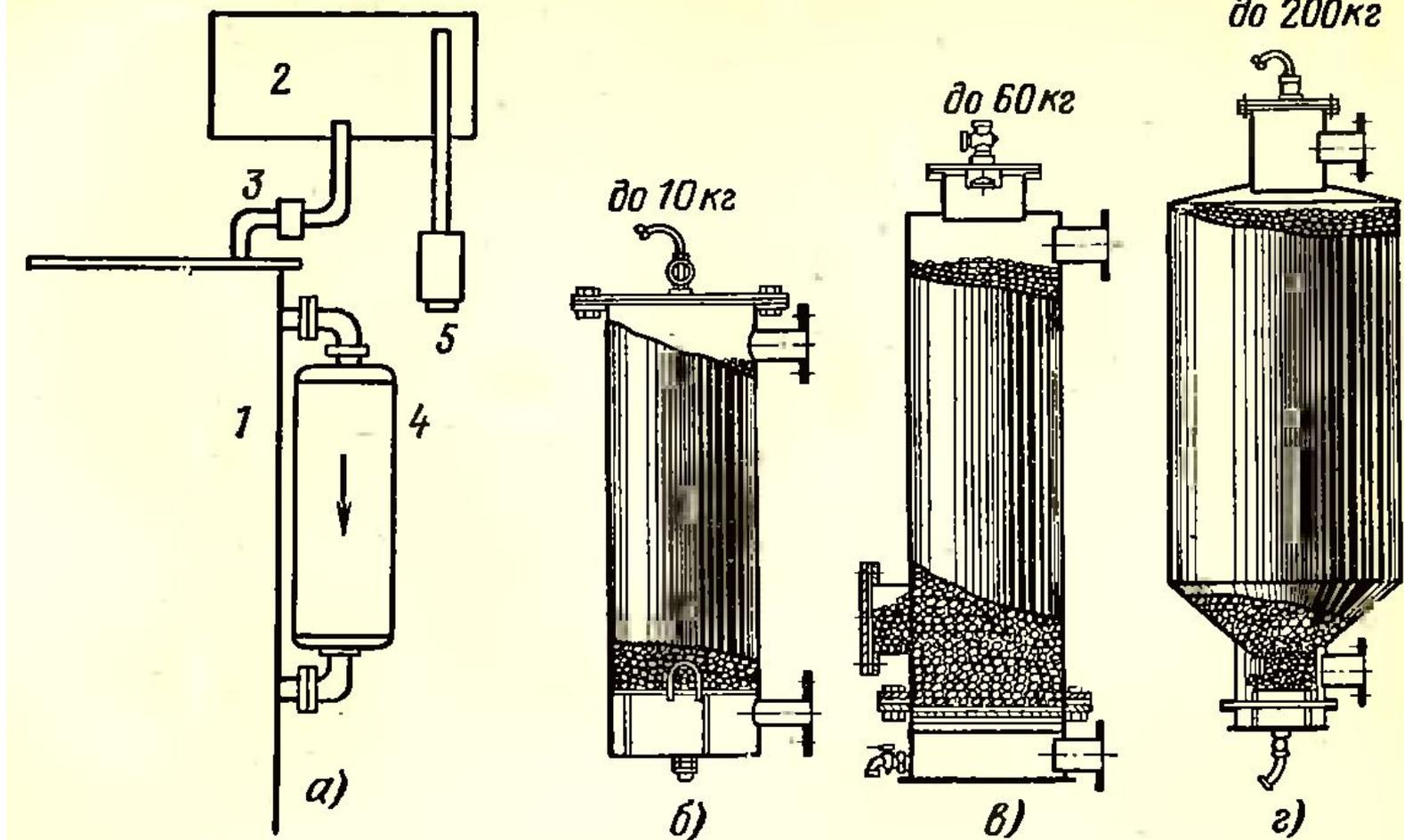
**ПТЭ, п.5.3.24.** Трансформаторы мощностью 1МВА и более и реакторы должны эксплуатироваться с системой непрерывной регенерации масла в термосифонных или адсорбционных фильтрах.

Масло в расширителе трансформаторов (реакторов), а также в баке или расширителе устройства РПН должно быть защищено от непосредственного соприкосновения с окружающим воздухом.

У трансформаторов и реакторов, оборудованных специальными устройствами, предотвращающими увлажнение масла, эти устройства должны быть постоянно включены независимо от режима работы трансформатора (реактора).

Эксплуатация указанных устройств должна быть организована в соответствии с инструкциями завода-изготовителя. Масло маслonaполненных вводов должно быть защищено от окисления и увлажнения.





Устройство для непрерывной регенерации масла в трансформаторах (а) и конструкции термосифонных фильтров (б — г).

1 — бак трансформатора; 2 — расширитель; 3 — газовое реле; 4 — термосифонный фильтр; 5 — воздухоосушитель.

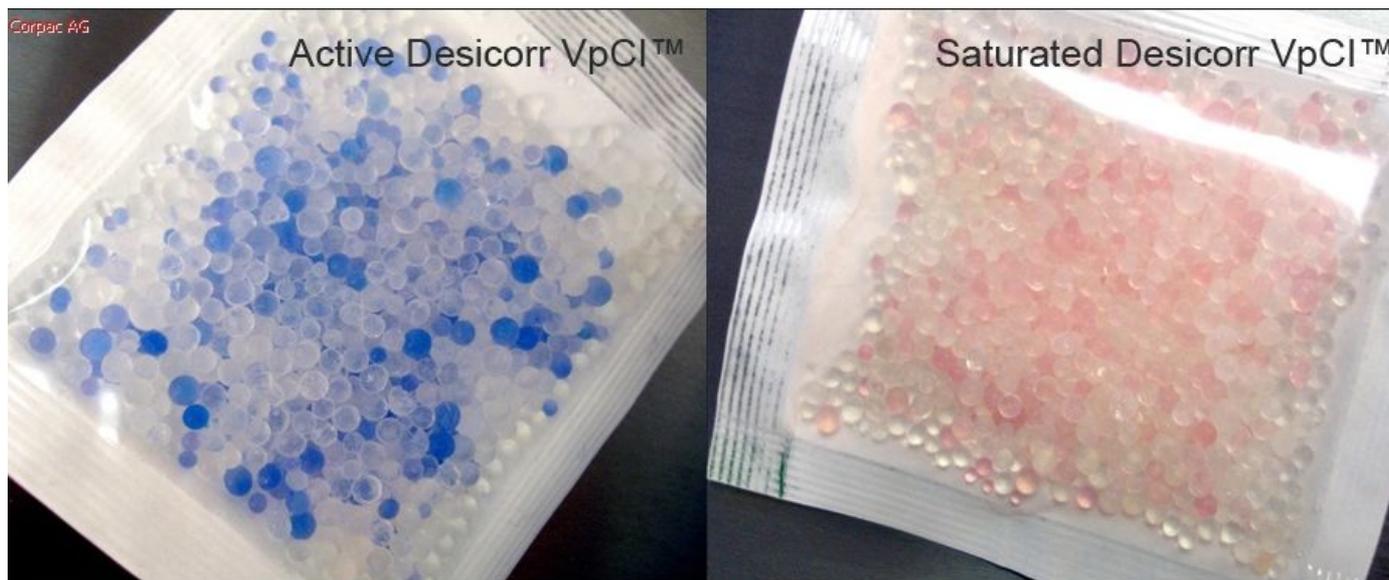
Силикагель - твёрдый адсорбент, высушенный гель поликремниевой кислоты. По своей структуре силикагель является высокопористым телом, образованным мельчайшими сферическими частицами, по химическому составу - двуокисью кремния  $\text{SiO}_2$  (кремнезёмом).

Получают технический силикагель следующим образом: путем взаимодействия раствора силиката натрия или калия (жидкое стекло) с соляной или серной кислотой получают гель, который высушивают, а затем разламывают на куски, промывают водой, снова сушат, измельчают, фракционируют и прокаливают до полного удаления влаги. Товарный силикагель выпускают в виде зёрен или шаровидных гранул.



Индикаторный силикагель - это силикагель КСМГ, пропитанный солями кобальта. По мере впитывания влаги и снижения активности, гранулы изменяют окраску с голубой на розовую.

© Салаватский катализаторный завод



**ПТЭ, п.5.3.25. Включение в сеть трансформатора (реактора) должно осуществляться толчком на полное напряжение. Трансформаторы, работающие в блоке с генератором, могут включаться вместе с генератором подъемом напряжения с нуля.**

*При включении трансформатора толчком на полное напряжение в трансформаторе может возникнуть весьма большой кратковременный бросок тока намагничивания, превышающий в десятки раз ток намагничивания холостого хода при нормальной работе, а в реакторе - ток, превышающий в несколько раз номинальный ток реактора.*

*Так как после включения ток намагничивания не превышает в крупных трансформаторах доли процента, а в мелких трансформаторах - нескольких процентов номинального тока трансформатора, то максимальное значение броска намагничивающего тока в худшем случае не превышает нескольких кратностей номинального тока трансформатора.*

*С точки зрения стойкости обмоток к токам КЗ броски тока намагничивания в трансформаторах и токи при включении реакторов безопасны, так как обмотки их рассчитаны на большие кратности токов.*

*Защита трансформаторов и реакторов отстраивается от упомянутых бросков тока с помощью применения соответствующих устройств (насыщающихся трансформаторов тока и др.).*

**ПТЭ, п.5.3.26. Осмотры трансформаторов (реакторов) без отключения производятся в сроки, устанавливаемые техническим руководителем энергообъекта в зависимости от их назначения, места установки и технического состояния.**

*При осмотре трансформаторов (реакторов) необходимо обращать внимание на уровень масла в расширителе по показаниям маслоуказателя, которые должны соответствовать температуре верхних слоев масла в баке, а также на уровень масла во вводах и в баках контакторов и давление во вводах (для герметичных вводов).*

*Одновременно следует проверять отсутствие течей масла в местах уплотнений трансформатора: под крышкой, радиаторами, кранами, задвижками и охладителями.*

*При внимательном осмотре вводов могут быть обнаружены их загрязнение, появление на поверхностях трещин, сколов и другие дефекты.*

*У трансформаторов (реакторов) с искусственным охлаждением проверяется исправность работы вентиляторов дутья, насосов и охладителей. Изменение гула трансформатора (реактора) по сравнению с обычным, появление периодических разрядов внутри бака (могут быть услышаны при отключенной системе дутья) может свидетельствовать об обрыве заземлений деталей активной части внутри бака, работе трансформатора в неполнофазном режиме (обрыв цепи одной из фаз со стороны питания), распрессовке магнитопровода или возникновении повреждения.*

*При возникновении сомнений в нормальной работе трансформатора (реактора) следует на некоторое время отключить двигатели системы охлаждения и провести более внимательное прослушивание трансформатора (реактора) или установить усиленное наблюдение за его работой.*

*При осмотре необходимо проверить показания приборов, указывающих температуру верхних слоев масла трансформатора и реактора, температуру масла на входе и выходе из охладителей и давления масла и воды на охладителях при принудительном маслосводяном охлаждении, а также число работающих охладителей.*

*В закрытых трансформаторных установках проверяется состояние дверей и замков, освещения, вентиляции, перекрытий, а также температура воздуха в помещении.*

*Указанные выше осмотры проводятся дежурным персоналом. Кроме того, трансформаторные установки должны периодически осматриваться более квалифицированным персоналом, отвечающим за эксплуатацию в целом.*

*Осмотры также должны производиться в случае резкого изменения погоды, стихийных явлений или действия сигнализации о ненормальных явлениях в трансформаторах и реакторах или их системах охлаждения.*

**ПТЭ, п.5.3.28. Профилактические испытания трансформаторов (реакторов) должны быть организованы в соответствии с «Объемом и нормами испытания электрооборудования» и заводскими инструкциями.**

*В целях проверки состояния изоляции и масла и своевременного обнаружения в трансформаторе развивающихся дефектов проводятся профилактические (межремонтные) испытания трансформаторов согласно объему и нормам испытаний электрооборудования.*

*Во время этих испытаний особое внимание уделяется проверке характеристик изоляции обмоток и масла (сопротивление изоляции,  $\text{tg}\delta$  и др.), так как они в наибольшей степени претерпевают изменения в условиях эксплуатации вследствие старения и увлажнения изоляции, а также состоянию устройства РПН.*

*Одним из наиболее информативных методов диагностики состояния силовых трансформаторов, позволяющих выявить возникающие дефекты на ранней стадии, является хроматографический анализ растворенных в масле газов.*

*Также при профилактических испытаниях производится проверка изоляции и масла негерметизированных вводов, так как они достаточно быстро увлажняются в процессе эксплуатации, масло в них быстро стареет, а в изоляции могут развиваться перекрытия по поверхности вводов из-за повышенных токов утечки, связанных с увлажнением наружных слоев изоляции остова вводов.*

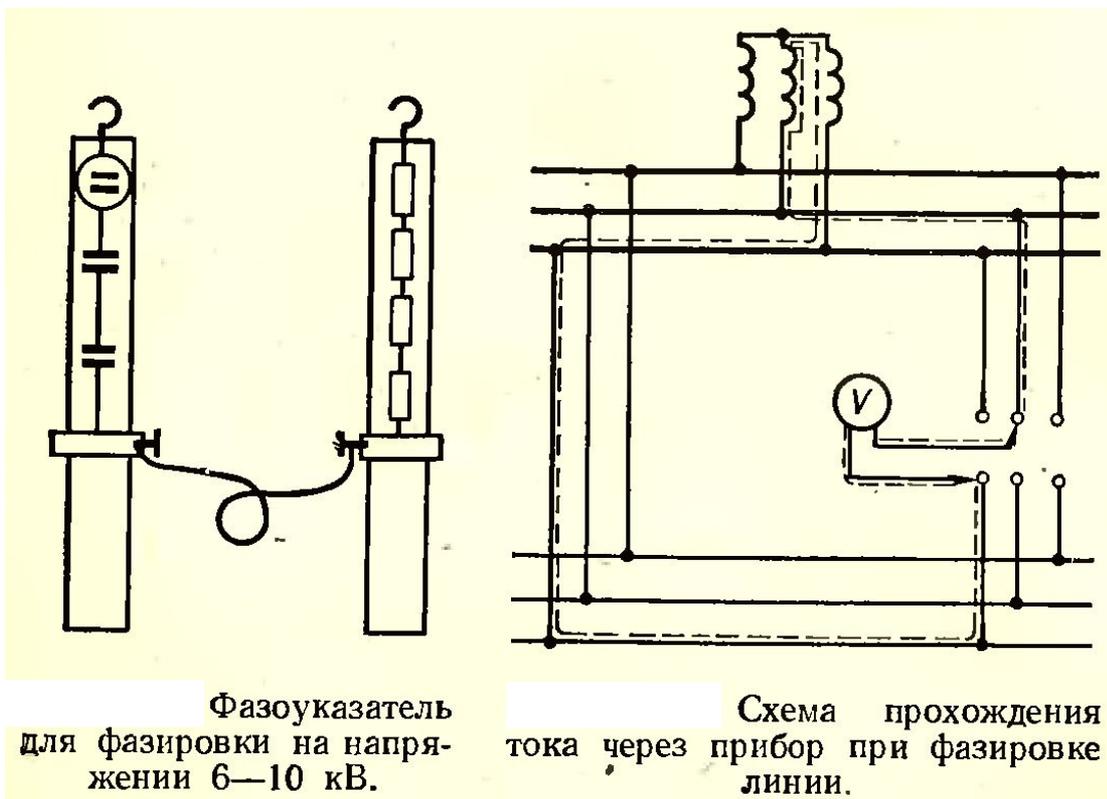
*В целях получения наиболее полной информации о состоянии силового трансформатора на момент проведения профилактического обследования и, как следствие этого, сокращения материальных затрат, связанных с проведением ремонтов (а иногда и замены) трансформатора, рекомендуется проводить комплексное обследование силовых трансформаторов с привлечением специализированных организаций.*

*Данный вид обследования исходя из опыта эксплуатации силовых трансформаторов наиболее целесообразен:*

- для трансформаторов, отработавших нормативный срок службы - с целью принятия решения о возможности дальнейшей работы и условиях, при которых эта работа возможна;*
- для трансформаторов, отработавших 8-12 лет - с целью принятия решения о необходимости и объеме капитального ремонта;*
- для трансформаторов, результаты периодических испытаний которых выходят за нормируемые значения, или при других показаниях, свидетельствующих о наличии внутреннего дефекта.*

## Фазировка трансформаторов

Независимо от проверки группы соединения обмоток включение трансформатора на параллельную работу после монтажа, капитального ремонта, а также при изменениях в схемах его подсоединения допускается только после проведения фазировки. Фазировка состоит в определении одноименности фаз, соединяемых между собой. Очевидно, что при этом необходимо убедиться в отсутствии напряжения между парами зажимов вторичных обмоток, включаемых на одни шины. В установках до 380 В для контроля отсутствия напряжения применяются вольтметры. В установках высокого напряжения — специально приспособленные указатели напряжения или вольтметры, подключаемые к трансформаторам напряжения.



1. Проверяется симметрия напряжений на каждой из фазуемых сторон, всего шесть измерений между фазами. При наличии разницы в измерениях, большей 10%, фазировка прекращается.

2. Определяются зажимы на разных фазуемых сторонах, между которыми нет напряжения. Если они не находятся непосредственно друг против друга, фазировка прекращается, напряжение снимается и производится изменение в монтаже проводников.

3. Производится проверка совпадения фаз. При измерении между одноименными фазами должны получиться нулевые показания, при остальных — линейные напряжения.

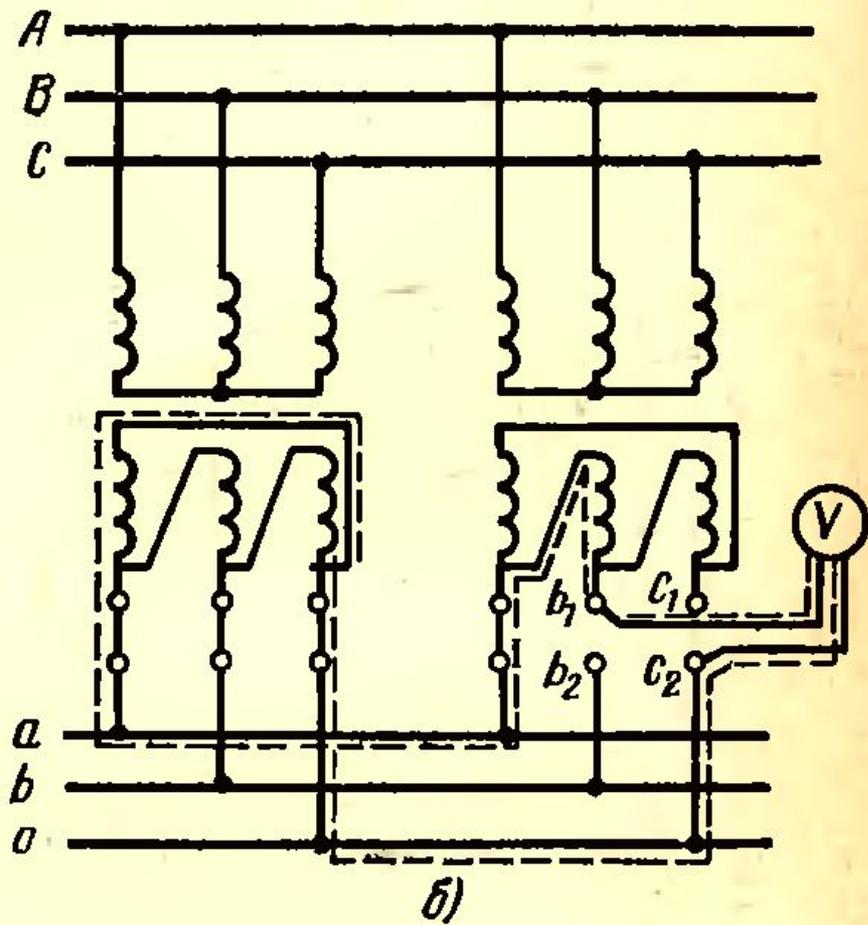
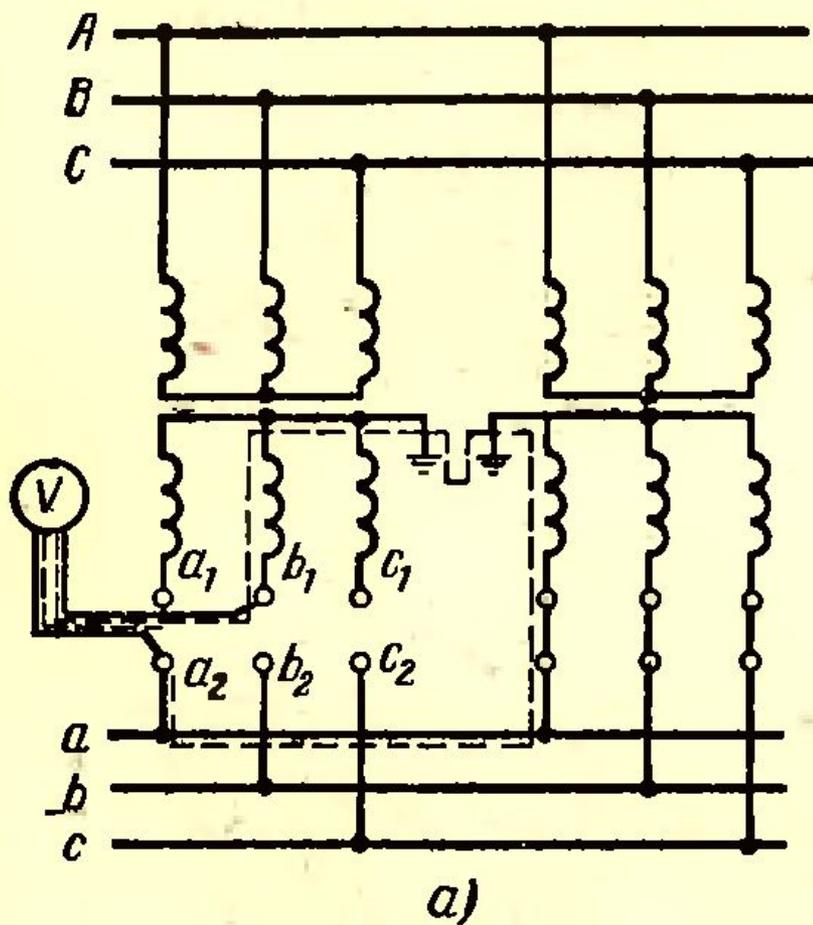
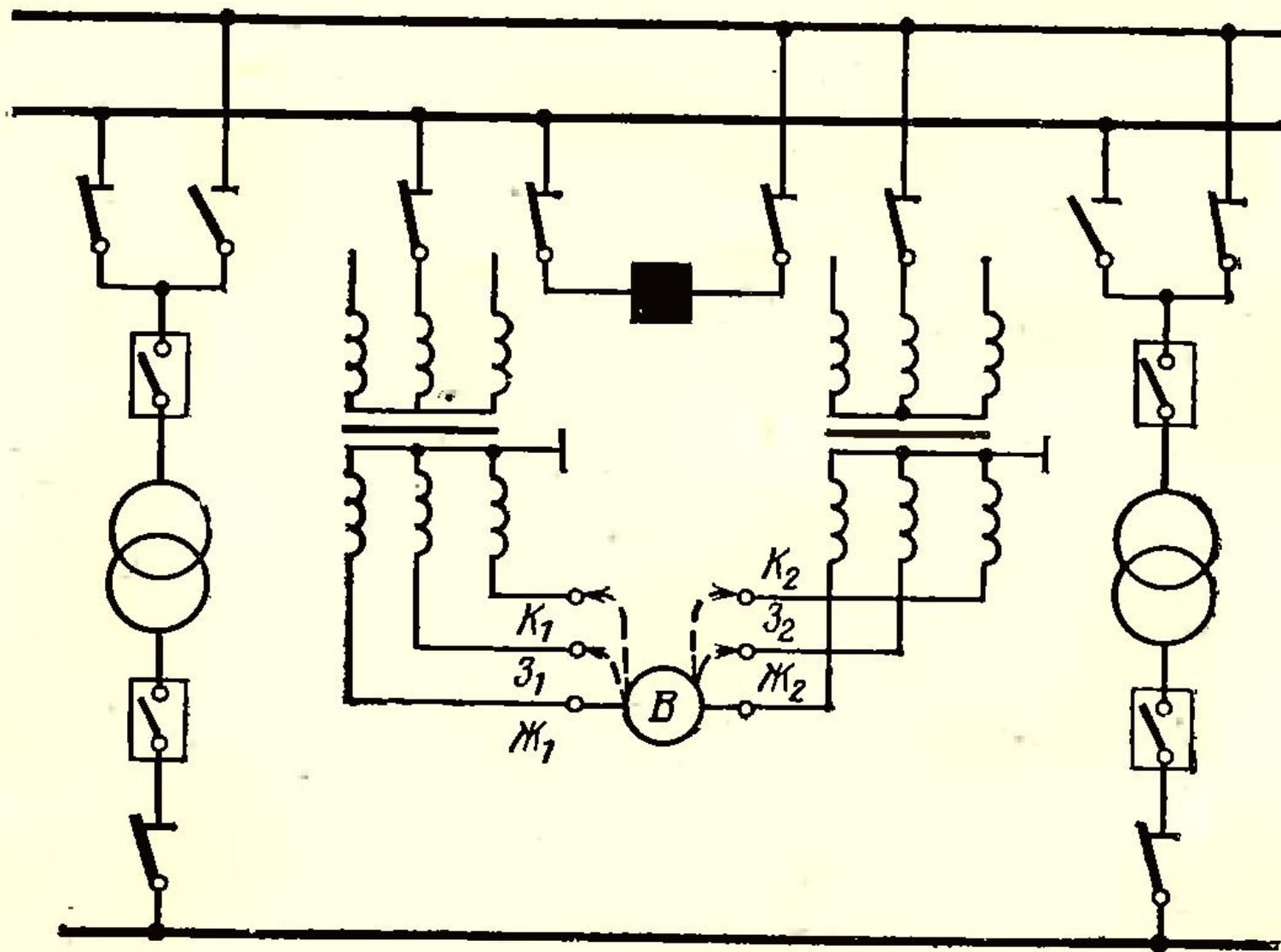


Схема прохождения тока через прибор при фазировке трансформаторов.

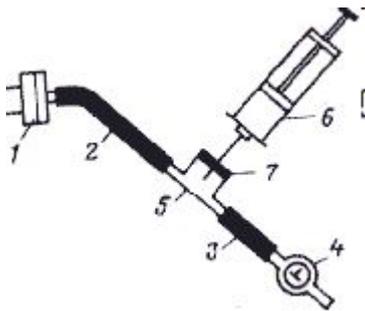
*a* — с заземленными нейтральными; *б* — с изолированными нейтральными.



Фазировка трансформаторов при помощи шинных трансформаторов напряжения

# Хроматографический анализ растворенных газов (ХАРГ)

*В последнее десятилетие для диагностики состояния трансформатора получил широкое распространение и показал удовлетворительные результаты хроматографический анализ растворенных в масле газов. От электротехнического персонала и электромонтеров требуется правильно отобрать пробу масла и доставить ее в лабораторию, а после выполнения анализа правильно истолковать его результаты и принять решение о дальнейшей эксплуатации трансформатора.*



*Отбор пробы масла в шприц*

*При анализе определяют содержание углекислого газа  $CO_2$ , окиси углерода  $CO$ , водорода  $H_2$  и углеводородов - метана  $CH_4$ , ацетилена  $C_2H_2$ , этилена  $C_2H_4$ , этана  $C_2H_6$ , а также кислорода  $O_2$  и азота  $N_2$ . Однако чаще производится анализ не по всем перечисленным газам, а по части из них, например углекислому газу, ацетилену и этилену. Естественно, чем меньшая номенклатура газов учитывается, тем меньше возможности своевременно выявить начинающееся повреждение трансформатора.*

*В настоящее время с помощью хроматографического анализа можно определить две группы повреждений силовых трансформаторов:*

*1) дефекты твердой изоляции (перегревы и ускоренное старение твердой электрической изоляции, частичные разряды в бумажно-масляной изоляции), 2) перегревы металла и частичные разряды в масле (дефекты токоведущих частей, особенно контактных соединений, магнитопровода и конструктивных частей, в том числе с образованием короткозамкнутых контуров и др.).*

*Для дефектов первой группы характерно выделение углекислого газа и окиси углерода. Для трансформаторов с открытым дыханием и азотной защитой масла в качестве критерия оценки состояния используется концентрация углекислого газа. Установлено, что опасные дефекты первой группы имеют место при концентрациях  $CO_2$ , превышающих указанные в табл. 3.*

**Таблица 3. Предельные концентрации растворенных в масле газов для трансформаторов с открытым дыханием и азотной защитой масла**

| Группа дефектов | Защита масла                     | Среднегодовая температура масла, °С | Характерный газ               | Предельная концентрация, % |
|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Первая          | Воздухоосушитель с гидрозатвором | <40                                 | CO <sub>2</sub>               | 0,6                        |
|                 |                                  | >40                                 | CO <sub>2</sub>               | 1                          |
|                 | Азотная                          | <40                                 | CO <sub>2</sub>               | 0,3                        |
|                 |                                  | >40                                 | CO <sub>2</sub>               | 0,5                        |
| Вторая          | Всех систем                      | -                                   | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 0,008                      |
|                 |                                  |                                     | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 0,01                       |
|                 |                                  |                                     | CH <sub>4</sub>               | 0,01                       |

*При выводе в ремонт поврежденная часть твердой изоляции имеет черно-коричневый цвет и отчетливо выделяется на фоне остальной части изоляции. На ней могут быть видны ветвистые побеги, представляющие собой следы разряда.*

*Дефекты второй группы наиболее опасны в том случае, если они расположены в непосредственной близости от твердой изоляции, также при неисправности токоведущих соединений. Если повреждение затронуло твердую изоляцию, это может быть установлено по росту концентрации углекислого газа, особенно при сравнении с данными анализа для соседнего такого же трансформатора. Опасная неисправность токоведущих частей определяется измерением электрического сопротивления обмоток постоянному току.*

*Такие трансформаторы следует выводить в ремонт в первую очередь, как и при повреждениях первой группы. В общем случае повышенное содержание этилена и ацетилена при нормальном содержании углекислого газа указывает на перегревы конструктивных частей или магнитопровода. В этом случае капитальный ремонт следует провести в ближайшие 6 мес. Естественно, при решении вопроса о выводе в ремонт нужно учитывать возможность появления газов по иным причинам, не связанным с дефектом самого трансформатора, повреждение двигателей электронасосов системы охлаждения, проникновение газов из контактора устройства РПН и др.*

*При выводе в ремонт трансформаторов с повреждениями второй группы в месте повреждения находят вязкие или твердые продукты разложения масла черного цвета.*

*Для трансформаторов, имеющих пленочную защиту масла, а также для других трансформаторов, в которых на основании анализа предполагалось повреждение твердой изоляции, но оно не было выявлено при капитальном ремонте, проводится расширенный анализ растворенных в масле газов.*

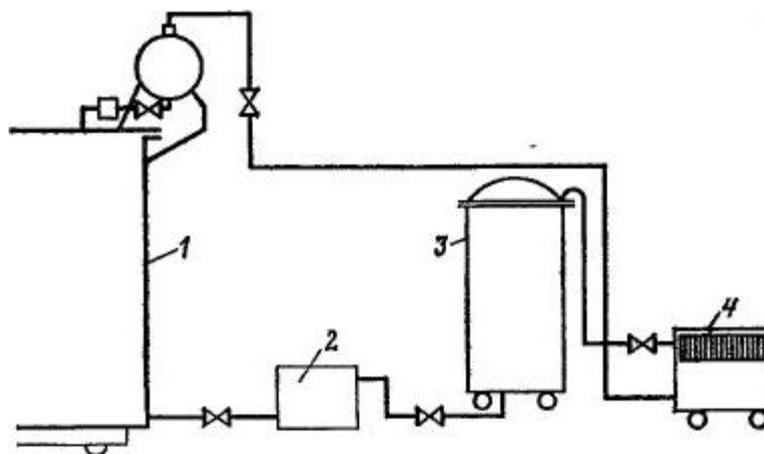
*Оценка степени опасности предполагаемого повреждения производится по отношению концентрации газов в соответствии с данными табл. 4.*

*Наиболее опасным дефектом является повреждение твердой изоляции, которое сопровождается частичными разрядами в ней. Предположить его наличие можно в том случае, если на него указывают не менее двух отношений в приведенной таблице. Эксплуатация таких трансформаторов допускается только с согласия завода-изготовителя.*

**Таблица 4. Опасные отношения концентраций растворенных в масле газов в трансформаторах с пленочной защитой масла**

| Отношение концентраций газов                                  | Отношение концентрации при наличии |                    |   |
|---|------------------------------------|--------------------|---|
|   | частичных разрядов                 |                    | перегревов токоведущих соединений и элементов конструкции |
|   | в масле                            | в твердой изоляции |   |
|   | Основные показатели                |                    |   |
| CH <sub>4</sub> : H <sub>2</sub>                              | 0,4-1                              | менее 0,4          | более 1   |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> : C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | более 1                            | менее 1            | менее 0,5   |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> : C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | менее 0,5                          | менее 0,5          | более 0,5   |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> : CH <sub>4</sub>               | менее 0,2                          | менее 0,2          | более 0,2   |
| CO <sub>2</sub> : CO  | менее 3                            | более 10           | менее 10  |
|   | Дополнительные показатели          |                    |   |
| CH <sub>4</sub> : C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>               | более 5                            | 1-5                | -   |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> : C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 1-5                                | более 5            | -   |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> : CH <sub>4</sub>               | менее 0,4                          | менее 0,4          | -   |

## Регенерация масла в трансформаторе, находящемся в работе



1 — трансформатор; 2 — подогреватель; 3 — адсорбер; 4 — фильтр-пресс