

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

**ИНСТРУКЦИЯ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРА ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ
ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО АНАЛИЗУ ГАЗА ИЗ ГАЗОВОГО РЕЛЕ**

РД 34.46.502

УДК 621.315.615.2(083.96)

СОДЕРЖАНИЕ

- [1. Общие указания](#)
- [2. Отбор пробы газа из газового реле](#)
- [3. Основные указания по химическому анализу газа](#)
- [4. Проведение анализа газа с помощью хроматографа лхм-8мд](#)
- [5. Интерпретация результатов анализа газа](#)
- [Приложения](#)

СОСТАВЛЕНА инженерами А.И. Якимовым и С.Н. Толчельниковым (водно-химический цех ПО "Союзтехэнерго")

УТВЕРЖДЕНА заместителем начальника Главтехуправления, главным специалистом-электриком К.М. Антиповым 18 декабря 1979 г.

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Указаниями настоящей Инструкции следует руководствоваться при эксплуатации маслонаполненных трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов*, оборудованных газовым реле.

* Трансформаторы, автотрансформаторы, реакторы - далее везде для сокращения трансформаторы.

1.2. В Инструкции приведены указания по отбору проб газа из газового реле трансформатора, анализу газа и определению характера внутренних повреждений трансформаторов на основании данных анализа.

1.3. При появлении газа в газовом реле трансформатора необходимо без промедления отобрать пробу газа из газового реле. Проба в возможно короткий срок должна быть подвергнута химическому или хроматографическому анализу. Дополнительно из трансформатора должна быть отобрана проба масла для определения цвета масла, температуры вспышки, пробивного напряжения, тангенса угла диэлектрических потерь, содержания механических примесей (угля).

Кроме того, из трансформаторов на напряжение 110-750 кВ всех мощностей, трансформаторов собственных нужд энергоблоков 200 МВт и более и реакторов на напряжение 500 кВ и более следует отбирать пробу масла для анализа растворенных в масле газов в соответствии с "Методическими указаниями по обнаружению повреждений в силовых трансформаторах с помощью анализа растворенных в масле газов" (СПО Союзтехэнерго, 1979).

При каждом последующем появлении газа в газовом реле трансформатора, оставленного временно в работе, необходимо выполнять анализ газа из реле и масла из трансформатора в указанном выше объеме*.

* Хроматограф следует приобретать в том случае, если он будет использоваться для анализа растворенных в масле газов или для других целей.

1.4. Характер внутреннего повреждения трансформатора с большой вероятностью определяется на основании результатов полного анализа газа из газового реле. Данные анализа масла и внешнего осмотра трансформатора могут служить дополнительным подтверждением наличия внутреннего повреждения.

Решение о возможности дальнейшей временной эксплуатации трансформаторов, указанных в п.1.3, следует принимать на основании анализа растворенных в масле газов.

1.5. Минимальная определяемая концентрация каждого из характерных газов (двуокиси углерода, окиси углерода, водорода, метана, этана, этилена и ацетилена) при применении для анализа хроматографа - не менее $1 \cdot 10^{-2}$ об.%. Относительная погрешность определения указанных газов - не более 15%.

При проведении анализа газа на химическом газоанализаторе минимальная определяемая концентрация каждого из компонентов (двуокиси углерода, окиси углерода, суммы непредельных углеводородов) не менее 0,1 об.%, водорода и метана - не менее 0,2 об.%. Расхождения между параллельными определениями содержания компонентов не должны превышать следующих значений:

- при определении двуокиси углерода, окиси углерода, суммы непредельных углеводородов - 0,2 абс.%;

- при определении водорода и метана - 0,3 абс.%

1.6. На электростанциях, анализ газа из газового реле (химический или хроматографический) должен выполняться персоналом химического цеха; на предприятиях электрических сетей - персоналом химической лаборатории предприятия или химической службы районного энергоуправления.

2. ОТБОР ПРОБЫ ГАЗА ИЗ ГАЗОВОГО РЕЛЕ

2.1. Отбор пробы газа из газового реле следует производить с помощью прибора (рис.1), состоящего из пипетки 1 вместимостью 500 мл и уравнильной склянки 2, которая соединяется резиновой трубкой 3 с нижним краном 5 пипетки. Прибор для отбора проб газа размещается в деревянном футляре.

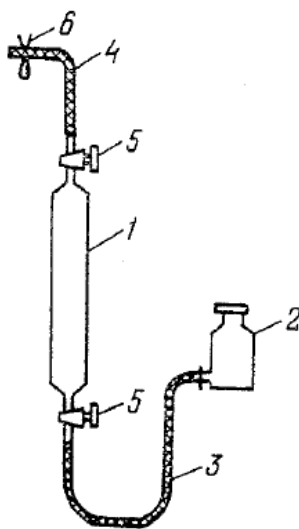


Рис.1. Прибор для отбора проб газа

2.2. Перед отбором пробы пипетку и резиновую трубку, надетую на верхний кран пипетки, необходимо заполнить затворной жидкостью. Для этого открывают верхний и нижний краны пипетки и поднимают уравнильную склянку выше верхнего крана. При заполнении пипетки необходимо следить, чтобы в ее верхней части не оставалось пузырьков воздуха. Когда жидкость начнет вытекать из резиновой трубки 4, краны пипетки следует закрыть, а на резиновую трубку надеть зажим 6.

2.3. В качестве затворной жидкости в летнее время может быть использован 22%-ный раствор поваренной соли, подкисленный серной кислотой (5-6 капель серной кислоты) и подкрашенный метиловым оранжевым индикатором. В зимнее время допускается применять водный раствор глицерина (1:1 по объему) или трансформаторное масло.

2.4. Для отбора в пипетку пробы газа свободный конец резиновой трубки 4 необходимо присоединять к штуцеру крана газового реле, опустить пипетку ниже крана, установить уравнильную склянку на высоте нижнего крана пипетки, затем открыть краны пипетки и снять зажим с верхней резиновой трубки. Убедившись в отсутствии подсоса воздуха в пипетку

при закрытом кране газового реле (уровень затворной жидкости в пипетке не должен опускаться), следует открыть этот кран и отобрать газ в пипетку. Отбор газа следует производить до тех пор, пока уровень масла в газовом реле не достигнет верхней отметки на смотровом стекле или пока пипетка не заполнится газом. Затем необходимо закрыть кран газового реле и поднять уравнительную склянку на высоту верхнего крана пипетки для создания в пипетке избыточного давления. После этого следует закрыть нижний и верхний краны пипетки, снять резиновую трубку со штуцера газового реле. Пробу газа следует доставить на анализ.

2.5. В некоторых случаях (неудобства при отборе проб, неблагоприятные метеорологические условия) допускается отбирать пробу газа в пипетку без уравнительной склянки с выбросом затворной жидкости.

2.6. В случае транспортировки пробы газа на значительное расстояние краны пипетки необходимо дополнительно герметизировать, заливая их расплавленным парафином.

3. ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ХИМИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ГАЗА

3.1. В пробе газа из газового реле трансформатора необходимо определить содержание углекислого газа, непредельных углеводородов, кислорода, окиси углерода, водорода и предельных углеводородов.

Для химического анализа газа следует применять газоанализатор ГХЛ-1 (ГОСТ 7018-75) или газоанализатор ВТИ-2.

При выполнении анализа газа следует руководствоваться инструкцией по проведению анализа, приложенной к газоанализатору.

3.2. При оценке результатов анализа газа, выполненного с помощью химического газоанализатора, следует учитывать следующие факторы, которые могут внести ошибку в результаты анализа.

Раствор едкого калия в некоторой степени поглощает ацетилен, содержащийся в газе.

При температуре ниже 15 °С резко снижается скорость поглощения кислорода пирогаллолом. При повышении температуры до 35 °С возможно выделение окиси углерода.

Раствор однохлористой меди, предназначенной для определения окиси углерода, поглощает также незначительные количества метана при большой его концентрации в анализируемом газе.

4. ПРОВЕДЕНИЕ АНАЛИЗА ГАЗА С ПОМОЩЬЮ ХРОМАТОГРАФА ЛХМ-8МД

4.1. Подготовка хроматографа к работе (приложение 1 и 2)

4.1.1. Для анализа газа из газового реле следует применять хроматограф ЛХМ-8МД (1-я модификация), допускается применение хроматографа "Цвет" и др.

4.1.2. Для работы необходим баллон с гелием или азотом. Давление в баллоне не должно быть менее 1 МПа (10 кгс/см²).

На баллон с газом следует установить редуктор. Редуктор должен обеспечивать постоянство низкого давления. Утечка газа недопустима.

4.1.3. Следует открыть вентиль баллона и установить давление после редуктора 0,4-0,5 МПа.

4.1.4. Дросселями, относящимися соответственно к I и II колонкам, необходимо установить расход газа-носителя 30-40 мл/мин. Давление газа 0,3-0,35 МПа. Расход газа следует контролировать пенным расходомером, а давление - манометром, вмонтированным в газовый блок.

4.1.5. Анализ газа необходимо проводить при температуре от 18 до 35 °С.

4.1.6. Ручку "Множитель" следует установить в положение "0", при этом включается в работу нить катарометра. Ручкой установки рабочего тока необходимо установить ток 100-150 мА при использовании гелия в качестве газа-носителя (100 мА для азота).

4.1.7. Ручку "Множитель" на блоке катарометра необходимо переключить в положение "1", а ручками установок нуля "Грубо" и "Точно" установить перо самописца на нулевую линию. При этом переключатель рода работ должен находиться в положении "Катарометр". Через 2 ч после включения прибор выходит на режим. После этого дрейф нулевой линии при положении ручки "Множитель" 1 не должен превышать 6% максимального значения шкалы. Прибор считается готовым к работе.

4.2. Проведение анализа

4.2.1. Определение содержания метана, двуокиси углерода, этилена, ацетилена и этана необходимо проводить на колонке № 1 длиной 6 м, заполненной полисорбом-1. Порядок выхода

газов следующий: метан, двуокись углерода, этилен, ацетилен, этан.

При использовании в качестве газа-носителя азота нулевую линию прибора следует установить на 1/3 шкалы от начала, так как пик CO_2 будет в этом случае отрицательным.

4.2.2. В пипетке с пробой газа с помощью уравнительной склянки следует создать избыточное давление $2 \cdot 10^3$ - $3 \cdot 10^3$ Па (200-300 мм вод.ст.). К верхнему концу пипетки присоединить стеклянную трубку, наполненную прокаленным хлористым кальцием, на другой конец которой надета трубка из вакуумной или полувакуумной резины длиной 40 мм с заглушкой.

4.2.3. Ручку "Множитель" поставить в положение "1", включить диаграммную ленту, установить скорость ее движения 2400 мм/ч.

4.2.4. Дозу газа для анализа следует отбирать с помощью медицинского шприца на 5 мл. Вытеснив полностью воздух из шприца, проколоть стенку резиновой трубки, набрать полный шприц анализируемого газа и вытеснить его в атмосферу. Операцию выполнить два раза. Затем набрать полный шприц газа, вытеснить в атмосферу избыточное количество его, оставив 5 мл. Отобранную дозу газа ввести в колонку № 1 через устройство для ввода пробы, расположенное на верхней панели прибора. Операция ввода газа (продвижение поршня в крайнее нижнее положение) должна занимать около 10 с. Иглу шприца после этого не извлекать из устройства для ввода пробы еще в течение 20-30 с.

4.2.5. Если пик одного из газов выходит за пределы диаграммной ленты или имеются пики незначительной высоты, анализ следует повторить, изменяя положение ручки "Множитель". Если пик не умещается на диаграммной ленте при положении ручки "Множитель" 1:100, следует произвести разбавление газа в шприце воздухом перед вводом пробы в прибор. При определенных положениях ручки "Множитель" и разбавлении газа анализ повторяют.

4.2.6. Для разбавления газа в шприце следует переместить поршень шприца от деления 5 мл до деления с меньшим значением (в зависимости от желаемого разбавления) и далее вернуть его в исходное положение, набрав воздух из атмосферы.

Например, при уменьшении объема газа в шприце от 5 до 2 мл и последующем заборе воздуха до 5 мл разбавление составит 5:2, или 2,5.

4.2.7. На основании полученной хроматограммы вычисляют площадь пика каждого компонента S_K , по формуле

$$S_K = ahMN,$$

где a - ширина пика на половине высоты, см;

h - высота пика, см;

M - множитель;

N - разбавление.

По калибровочному графику находят концентрацию компонента в дозе газа.

4.2.8. Определение содержания водорода и окиси углерода необходимо проводить на колонке № 2 длиной 3 м, заполненной цеолитом марки NaA. Порядок выхода газов следующий: водород, кислород, азот, метан, окись углерода.

Порядок работы на колонке № 2 и № 1 аналогичны.

4.3. Обслуживание хроматографа следует производить в соответствии с указаниями заводской инструкции к прибору.

5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ГАЗА

5.1. Результаты химического или хроматографического анализа газа из газового реле трансформатора необходимо сопоставить с обобщенными данными по составу газа, выделяющегося при различных внутренних повреждениях трансформатора (см. таблицу).

Средний состав газа, выделяющегося в газовом реле при различных внутренних повреждениях трансформаторов

Номер группы	Причина появления газов	Содержание компонентов, об.%				
		Водород	Сумма предельных углеводородов	Сумма непредельных углеводородов	Окись углерода	Углекислый газ
1	Электрическая дуга в масле	40-65	0,1-5	0,1-5	0-0,2	0,1-3
2	Разложение электрической	30-65	0,5-10	0,2-5	1-25	0,2-5

	дугой масла и твердой изоляции						
3	Разложение масла при нагреве	0,5-30	3-10	0,2-10	0-0,02	0,1-2,0	
4	Разложение масла и твердой изоляции при нагреве, а также под действием частичных разрядов	2-25	2-10	0,1-10	0,2-15	0,2-5	

При этом следует учитывать характерные отличия состава газа при разных повреждениях.

При анализе газа с помощью хроматографа за сумму предельных углеводородов принимается сумма концентраций метана и этана, а непредельных - ацетилена и этилена.

5.2. При действии электрической дуги в масле выделяется преимущественно водород. Предельных и непредельных углеводородов содержится меньшее количество. Из непредельных преобладает ацетилен, который в данном случае является характерным газом. Присутствие небольших количеств углекислого газа и окиси углерода обусловлено в основном окислением масла кислородом воздуха.

5.3. При разложении масла и твердой изоляции под действием электрической дуги также выделяется преимущественно водород. Однако в этом случае в отличие от предыдущего окись углерода и углекислый газ выделяются в заметном количестве.

Основными примерами повреждений двух рассмотренных видов являются перекрытие в переключателе и межвитковое замыкание, при которых происходит бурное выделение газа и газовая защита, как правило, срабатывает на отключение и нередко происходят выброс масла из выхлопной трубы.

5.4. Отличительной особенностью газа, выделяющегося в результате разложения масла при нагреве (под действием "горячей точки"), является высокое по сравнению с содержанием водорода содержание углеводородов, а также практическое отсутствие окиси углерода (менее 0,3%). Углекислый газ присутствует в незначительном количестве. Содержание водорода в газе заметно меньше, чем в случае разложения изоляционных материалов электрической дугой. В состав непредельных углеводородов входит главным образом этилен.

5.5. Газ, выделяющийся при разложении масла и твердой изоляции при нагреве, отличается от газа, образующегося при разложении только масла, заметным содержанием окиси углерода и углекислого газа. При этом концентрация окиси углерода превышает, как правило, содержание углекислого газа.

При частичных разрядах выделяются метан, водород, окись углерода и углекислый газ.

При повреждениях последних двух групп газ выделяется с небольшой скоростью и газовая защита срабатывает, как правило, "на сигнал".

5.6. При действии частичных разрядов в масле образующийся газ состоит в основном из водорода, метана и небольшого количества углекислого газа.

5.7. Нарушения в работе трансформаторов, при которых повреждена изоляция, являются наиболее опасными.

Такие трансформаторы должны выводиться из эксплуатации для ревизии или ремонта.

5.8. Трансформаторы, кроме указанных в п.1.3, имеющие внутренние повреждения, в результате которых разлагается масло, но не повреждена твердая изоляция, могут быть временно оставлены в работе с учетом местных условий. Масло из этих трансформаторов следует подвергать контролю не реже одного раза в месяц в объеме сокращенного анализа и определения $tg\delta$. При учащении появления газа в газовом реле, потемнении масла, увеличении $tg\delta$, понижении температуры вспышки масла трансформатор следует вывести из работы.

Капитальный ремонт трансформаторов, указанных в п.1.3, у которых установлено наличие повреждения, приводящего к разложению только масла, следует производить в сроки, приведенные в "Методических указаниях по обнаружению повреждений в силовых трансформаторах с помощью анализа растворенных в масле газов".

5.9. При отсутствии в газе из газового реле компонентов, образующихся при разложении масла или твердой изоляции в результате внутреннего повреждения трансформатора, однократном выделении этого газа, а также при соответствии качества масла по показателям, указанным в п.1.3 настоящей Инструкции, требованиям на эксплуатационное масло трансформатор может быть оставлен в работе.

В случае многократного выделения газа, не содержащего этих компонентов, вопрос об отключении трансформатора решается в соответствии с "Инструкцией по эксплуатации трансформаторов" (СПО Союзтехэнерго, 1976).

ПОДГОТОВКА АДСОРБЕНТОВ И ЗАПОЛНЕНИЕ КОЛОНОК

1. Для заполнения колонки № 1 следует применять полисорб-1, фракция 0,25-0,5 мм. Адсорбент перед загрузкой в колонку следует просушить под вакуумом (остаточное давление не более 2700 Па, примерно 20 мм рт.ст.) при температуре 200-250 °С в течение 2-3 ч.
2. Заполнение колонок адсорбентом следует производить с помощью сухого сжатого азота из баллона. Колонка считается заполненной, когда под давлением струи азота в нее уже не поступает адсорбент.
3. Заполненную адсорбентом колонку следует смонтировать в термостате хроматографа с помощью имеющихся на ней накидных гаек и дополнительно просушить продувкой газом-носителем в течение 24 ч при температуре 200 °С. Расход газа 50 мл/мин.
При продувке следует принять меры для предотвращения попадания в коммуникации и детектор твердых частиц, которые приводят к выходу прибора из строя. После охлаждения до комнатной температуры колонка считается готовой к работе.
4. Для заполнения колонки № 2 следует применять цеолиты марки NaX или CaX, фракция 0,25-0,50 мм.
5. Цеолиты перед загрузкой в колонку следует прокалить под вакуумом (остаточное давление не более 2700 Па) при температуре 350 °С в течение 5 ч и далее охладить в эксикаторе.
6. Заполнение колонки цеолитом произвести по п.2.
7. Заполненную колонку следует смонтировать в термостате хроматографа и продуть газом-носителем при температуре 150 °С в течение 6-10 ч, после охлаждения колонку следует проверить на разделительную способность.

ПОСТРОЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ГРАФИКОВ

1. Перед началом проведения анализа хроматограф следует откалибровать по различным газам.
2. Для калибровки следует подготовить четыре различные концентрации каждого газа из характерных для внутренних повреждений трансформаторов (водород, метан, окись углерода, двуокись углерода, ацетилен).
Например, водород - 0,1; 1; 10; 70%; метан - 0,1; 1; 5; 10%; окись углерода - 0,1; 1; 5; 25%; ацетилен - 0,1; 0,5; 2; 10%; двуокись углерода - 0,1; 0,5; 2; 5%.
Каждый газ определенной концентрации приготавливается в отдельной калиброванной газовой пипетке вместимостью 500 мл.
Точный объем каждой пипетки следует определить по разности масс пипетки до и после заполнения водой.
Схема установки для приготовления смеси показана на рис.2.

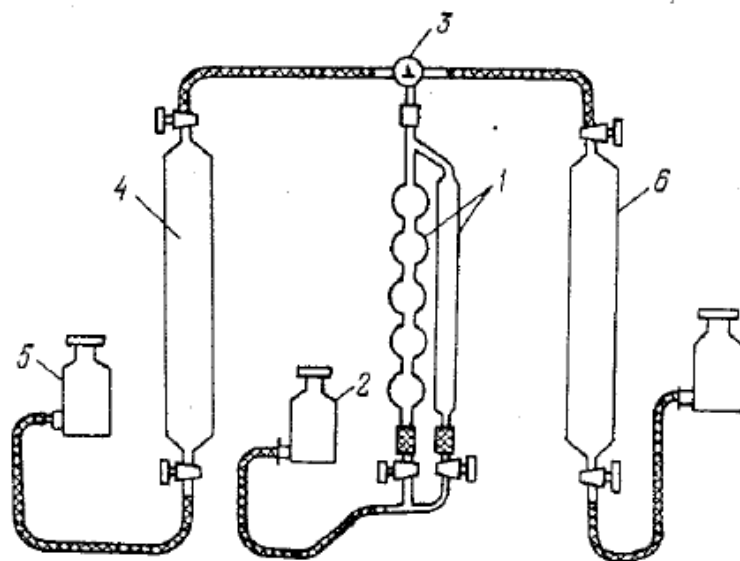


Рис.2. Схема установки для приготовления контрольных смесей

Измерительная бюретка 1 должна иметь цену деления 0,05 мл. Допускается использование бюретки газоанализатора ГХЛ-1 или ВТИ-2.

Объем каждого газа исходной концентрации рассчитывается по формуле

$$v = \frac{wc}{k},$$

где v - объем индивидуального газа, мл;

w - объем пипетки, мл;

c - концентрация газа в калибровочной смеси, %;

k - чистота индивидуального газа, %.

К отрезку трехходового крана 3 присоединяют резиновой трубкой пипетку 6 с исходным газом.

Из бюретки вытесняют воздух, пользуясь уравнительной склянкой 2. Опуская склянку 2 при повернутом кране 3 (бюретка сообщается с пипеткой 6) проверяют плотность соединений. Два-три раза продувают резиновую трубку, забирая по 10-12 мл газа из пипетки и выбрасывая его в атмосферу при соответствующем повороте крана 3. После этого в бюретку отбирают газ на 3-4 мл больше рассчитанного. Поднятием склянки совмещают уровень жидкости в склянке с делением бюретки, соответствующим рассчитанному объему газа, и сбрасывают избыточное количество газа в воздух. Совмещают уровни жидкости в бюретке и склянке и через 1 мин отсчитывают объем газа.

3. Калиброванную пипетку 4 заполняют затворной жидкостью, соединяют с краном 3 резиновой трубкой. Опускают склянку 5 до уровня нижнего крана пипетки и открывают оба крана.

При отсутствии подсосов воздуха в пипетку (уровень жидкости в пипетке остается постоянным в течение 3 мин) переводят пробы газа из бюретки, повернув соответствующим образом кран 3. Поднимая склянку 2, заполняют затворной жидкостью трубку, соединяющую бюретку с пипеткой 4, закрывают кран 3. При опущенной склянке 5 снимают трубку с отрезка крана 3 и набирают в пипетку воздух.

В конце операции устанавливают уровень жидкости в склянке 5 на отметке нижнего крана пипетки 4.

Когда уровень жидкости в пипетке перестанет понижаться, закрывают ее краны и перемешивают смесь, переворачивая пипетку в течение 3 мин.

4. После проведения анализа полученных калибровочных смесей строятся калибровочные графики для каждого индивидуального газа. Графики строят в координатах: площадь пика, приведенная к коэффициенту 1, - концентрация газа, выраженная в процентах. За площадь пика принимается среднее значение двух-трех определений.

5. При длительных перерывах в работе хроматографа (одна-две недели) целесообразно проверить разделительную способность колонок путем анализа калибровочной смеси газов (водород, метан, окись углерода, двуокись углерода, ацетилен).