

**Опыт контроля технического
состояния трансформаторов
по содержанию фурановых
производных
и другим показателям качества
трансформаторного масла**

ООО «ЭЛЕГАЗЭНЕРГОСЕРВИС»

Снеткова Ольга Викторовна

snetkova@elegazes.ru

(495) 677-6127

Трансформаторное масло
представляет собой

информационную среду,
позволяющую судить о состоянии
электрооборудования и проводить его
диагностику.

Показатели качества масла,
определяемые при эксплуатации
электрооборудования,
можно разбить **на несколько групп**,
дающих определенную информацию о
состоянии масла или электрооборудования

Группа	Характеристика группы	Показатели качества масла
1	Диагностирующие параметры (дают информацию о наличии различных дефектов в электрооборудовании)	<ul style="list-style-type: none"> – Содержание газов, растворенных в масле – Общее газосодержание масла – Содержание фурановых производных, растворенных в масле
2	Определяют влияние воды на состояние масла	<ul style="list-style-type: none"> – Пробивное напряжение – Влагосодержание – Тангенс угла диэлектрических потерь масла
3	Характеризуют степень старения масла в процессе эксплуатации	<ul style="list-style-type: none"> – Кислотное число – Содержание водорастворимых кислот – Содержание растворимого шлама – Содержание механических примесей – Содержание антиокислительной присадки

1. Диагностирующие параметры

Хроматографический анализ растворенных в масле газов.

ХАРГ является важным средством для раннего обнаружения развивающегося повреждения в трансформаторе.

Содержание фурановых производных.

позволяет косвенно оценить степень старения твердой изоляции, так как фурановые производные образуются только при разложении целлюлозных материалов.

Хроматографический анализ газов, растворенных в трансформаторном масле

РД 34.46.303-98 Методические указания по подготовке и проведению хроматографического анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов

СТО 569447007-29.180.010.094-2011 Методические указания по определению содержания газов, растворенных в трансформаторном масле

IEC 60567 (2011) Oil-filled electrical equipment - Sampling of gases and analysis of free and dissolved gases - Guidance

РД 34.43.107-95 (СО 34.43.107-95) Методические указания по определению содержания воды и воздуха в трансформаторном масле

СТО 56947007-29.180.010.007-2008 Методические указания по определению содержания кислорода и азота в трансформаторных маслах методом газовой хроматографии.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ДИАГНОСТИКЕ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ДЕФЕКТОВ
ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА ГАЗОВ, РАСТВОРЕННЫХ В МАСЛЕ**

РД 153-34.0-46.302-00

Критерий граничных концентраций

позволяет выделить из общего количества трансформаторного парка трансформаторы с возможными развивающимися дефектами.

«4.2 Для бездефектных трансформаторов концентрации газов за срок службы не должны превысить граничных значений.

4.3 Рекомендуется определять граничные концентрации растворенных газов в масле нормально работающих трансформаторов как минимум через 5 лет.

4.4 Значения граничных концентраций газов, учитывая различные условия их эксплуатации в разных регионах, рекомендуется определять для каждой энергосистемы по группам однотипных трансформаторов (блочные, сетевые, с регулированием напряжения или без регулирования, одного класса напряжения и т.д.). Рекомендуется, чтобы в каждой группе было не менее 50 трансформаторов.»

Определение граничных концентраций газов, растворенных в трансформаторных маслах различных типов, которые отличаются способом изготовления.

Определить граничные концентрации

- для современных масел гидрокрекинга (марки ГК, ВГ, Nytro и др.)
- старых масел (марок Т-1500, ТКп, ТСп и др.).

ХАРГ широко используется для диагностики маслонаполненного оборудования, в том числе при диагностики повреждения твердой изоляции.

Характерными газами при повреждении целлюлозной изоляции являются окись и двуокись углерода

$$\text{CO}_2/\text{CO} < 5 \text{ или } \text{CO}_2/\text{CO} > 13$$

Повреждением затронута твердая изоляция

образование
CO и CO₂

масло:

- окисление
- повреждение изоляции

целлюлоза

образование
фурановых
соединений

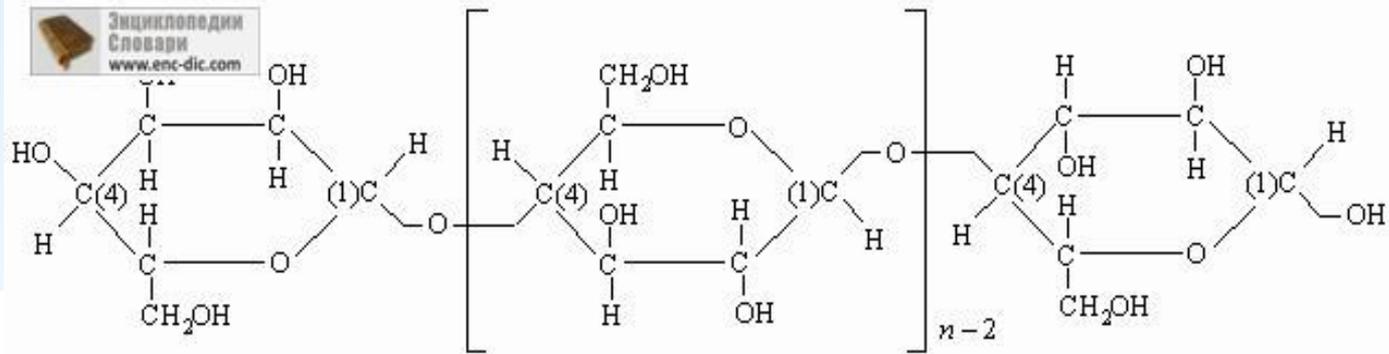


Рис. 1. СТРУКТУРА МОЛЕКУЛЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ. Это длинноцепной полисахарид, состоящий из гликозидных остатков (n указывает на большое число таких остатков), связанных между собой эфирными мостиками (1,4- β -гликозидными связями).

Гидролиз целлюлозы происходит постепенно под влиянием

- кислотных катализаторов,
- температуры,
- кислорода,
- влаги

Условия разложения целлюлозы

целлюлоза

$T = 100^{\circ}\text{C}$
в присутствии
кислорода

$T = 140-150^{\circ}\text{C}$
без доступа
кислорода

$T >$
 260°C

бурное
разложение
целлюлозы

старение
твёрдой
изоляции

```
graph TD; A[старение твёрдой изоляции] --- B[органические соединения]; B --- C[производные фурана]; B --- D[CO и CO2]; B --- E[вода];
```

органические
соединения

производные
фурана

CO и CO₂

вода

Старение бумажной изоляции

зависит от:

- Условий эксплуатации;
- Срока службы;
- Наличия высокотемпературных перегревов обмоток трансформатора;
- Наличия воды;
- Наличия кислорода.

Данные трансформатора АОДЦТГ-115000/500 (CO₂/CO > 13)

Дата	Пробивное напряжение, кВ	Кислотное число, мг КОН/г	Содержание ВРК, мг КОН/г	Влагосодержание, г/т	Содержание фурановых производных, мг/кг масла
07.09.99	38,0	0,06	Сл.кисл.	28,0	2,79
17.08.00	66,2	0,09	0,015	14,4	3,62
23.08.01	13,8	0,07	0,046	42,3	4,64
03.09.01	70,3	0,09	0,056	22,4	-
08.09.02	41,2	0,12	0,021	19,0	4,55
04.08.03	28,7	0,12	0,026	51,8	5,53

Определение содержания фурановых производных

- * ГОСТ Р МЭК 61198-2013 Масла изоляционные нефтяные. Методы определения 2-фурфурола и родственных соединений.
- * РД 34.43.206-94 (СО 34.43.206-94) Методика количественного химического анализа. Определение содержания производных фурана в электроизоляционных маслах методом жидкостной хроматографии
- * СТО 56947007-29.180.010.009-2008 Методические указания по определению содержания фурановых производных в трансформаторных маслах методом газовой хроматографии
- * МКХА 01-99 Методика количественного хроматографического анализа. Определение содержания фурановых производных и присадки ионол в трансформаторных маслах методом газожидкостной хроматографии. Свидетельство об аттестации № 2420/67-99.

- * Методика выполнения измерений массовой доли производных фурана: 5-гидроксиметилфурфурола, фурфурола, 2-ацетилфурана, 5-метилфурфурола, и ингибитора окисления «Агидол-1» («Ионол») в образцах минеральных энергетических электроизоляционных масел методом ВЭЖХ. Свидетельство об аттестации № 34-08 от 04.03.2008, код регистрации в Федеральном реестре методик измерений - ФР.1.31.2008.04635.
- * РД 34.51.304-94 Методические рекомендации по применению в энергосистемах тонкослойной хроматографии для оценки остаточного ресурса твердой изоляции по наличию фурановых соединений в трансформаторном масле

Периодичность отбора проб

- * - в эксплуатации - 1 раз в 4 года;
- * - при установлении по результатам ХАРГ диагноза «перегрев» или «повреждение твердой изоляции»
- * - при неудовлетворительных значениях хотя бы одного из следующих показателей качества масла по результатам ФХА: кислотное число, влагосодержание, тангенс угла диэлектрических потерь;
- * - после полной или частичной замены масла для определения начальных концентраций с целью последующего сравнения;
- * - после замены силикагеля в термосифонном фильтре для определения начальных концентраций с целью последующего сравнения;
- * - через год после замены масла или силикагеля для трансформаторов со сроком службы более 15 лет (для определения скорости роста концентраций фурановых производных);
- * - после капитального ремонта.

Факторы, вызывающие уменьшение содержания фурановых производных

- Замена силикагеля;
- Полная или частичная замена масла;
- Дегазация масла.

Дата ВЭЖХ	Содержание фурановых производных, мг/кг масла					
	5НMF	2FAL	2ACF	5MEF	2FOL	Σ F
07.2000	0,11	3,41	0	0,1	0	3,62
08.2001	0,12	4,3	0	0,22	1,79	6,43
09.2002	0,15	3,9	0,29	0,21	0,73	4,55
08.2003	0,29	4,81	0	0,43	2,84	8,37
Долив масла						
05.2004	0,05	3,17	0	0,1	0	3,32
08.2004	0,1	3,38	0	0,27	0,8	3,75
07.2005	0,11	3,1	0,04	0,17	1,16	4,58

Фурановые производные	Содержание фурановых производных, мг/кг масла				
	14.05.2005	08.12.2009	08.08.2012	22.04.2014*	16.09.2015
5-гидроксиметилфурфурол (5HMF)	<0,05	<0,05	0,09	<0,05	<0,05
Фурфурол (2FAL)	2,09	4,57	3,13	0,99	2,72
2-ацетилфуран (2ACF)	0,2	<0,05	<0,05	<0,05	0,28
5-метилфурфурол (5MEF)	0,06	0,07	0,07	<0,05	0,08
Фурфуриловый спирт (2FOL)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Сумма фурановых производных (ΣF)	2,35	4,64	3,29	0,99	3,08

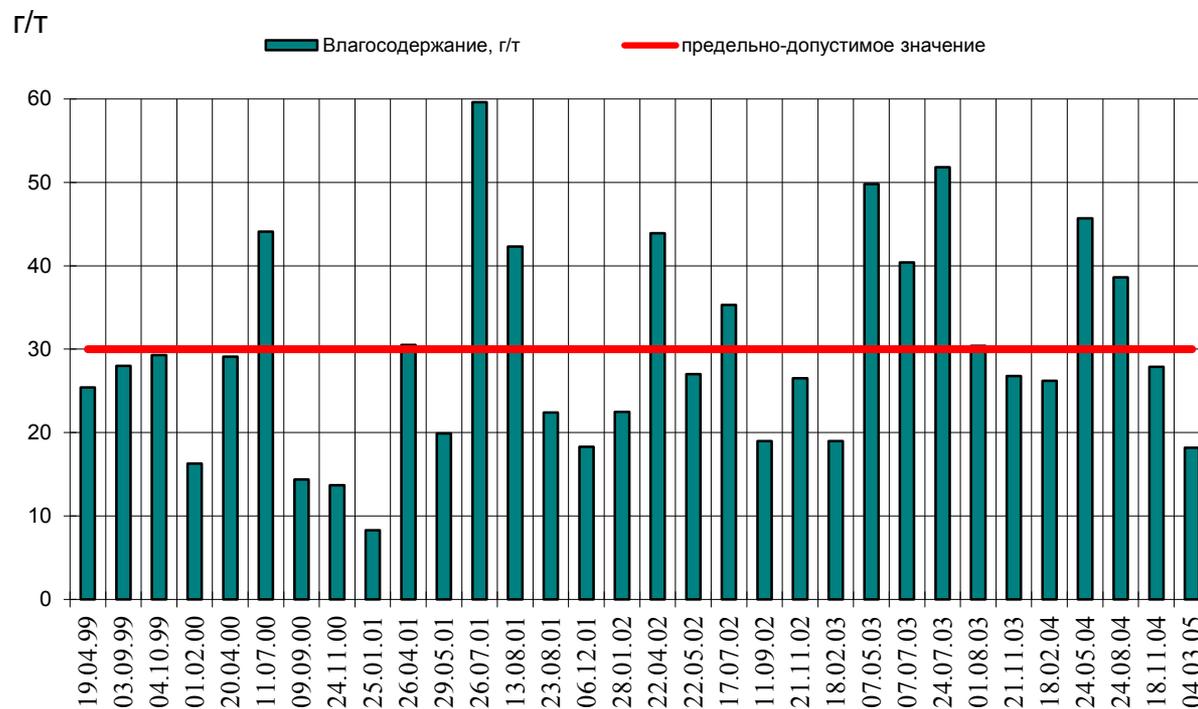
* Сушка трансформаторного масла в 2012-2013гг.

2. Вода в масле

Динамическое равновесие всех форм

Растворенная	Связанная	Эмульсионная	Осажденная
При изменении температуры масла возможен переход в эмульсионное состояние	Может заметно повышать диэлектрические потери в масле	Сильно снижает электрическую прочность масла Возможно резкое повышение T_g δ масла	Может растворяться в масле, поглощаться изоляционными материалами

Измерение влагосодержания масла трансформатора АОДЦТГ-115000/500



3. Старение масла в процессе эксплуатации

Зависит от:

- температуры
- содержания кислорода
- электрического поля
- наличия меди (катализатор)

При этом образуются:

- вода
- полярные продукты окисления, растворимые в масле
- продукты окисления, нерастворимые в масле
- шлам

Темное нефтяное эксплуатационное трансформаторное масло обладает специфическими свойствами.

Продукты разложения и окисления масла **СИЛЬНО ИСКАЖАЮТ** результаты определения физико-химических свойств масла (кислотное число, ВРК, фураны, присадка), что затрудняет их определение по существующим методикам.

Выводы:

1. Метод определения содержания фурановых производных, растворенных в трансформаторном масле электрооборудования, позволяет косвенно оценить степень старения твердой изоляции.
2. Можно рекомендовать проведение сравнительных анализов содержания фурановых производных различными методами (ВЭЖХ, ГХ, ТСХ и др.).
3. Арбитражным методом определения содержания фурановых производных согласно ГОСТ Р 54331-2011 является МЭК 61198 (ГОСТ Р МЭК 61198).



Доложенные результаты были получены в аккредитованной испытательной лаборатории ООО «ЭЛЕГАЗЭНЕРГОСЕРВИС»

Адрес: 115432, г.Москва, 2-ой Кожуховский проезд, д.29, корп.2, стр.13

info@elegazes.ru

**Опыт контроля технического
состояния трансформаторов
по содержанию фурановых
производных
и другим показателям качества
трансформаторного масла**

ООО «ЭЛЕГАЗЭНЕРГОСЕРВИС»

Снеткова Ольга Викторовна

snetkova@elegazes.ru

(495) 677-6127

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ