**Трансформаторные масла**

Трансформаторные масла применяют для заливки силовых и измерительных трансформаторов, реакторного оборудования, а также масляных выключателей. В последних аппаратах масла выполняют функции дугогасящей среды.

***Общие требования и свойства***

Электроизоляционные свойства масел определяются в основном тангенсом угла диэлектрических потерь. Диэлектрическая прочность трансформаторных масел в основном определяется наличием волокон и воды, поэтому механические примеси и вода в маслах должны полностью отсутствовать. Низкая температура застывания масел (-45 °С и ниже) необходима для сохранения их подвижности в условиях низких температур. Для обеспечения эффективного отвода тепла трансформаторные масла должны обладать наименьшей вязкостью при температуре вспышки не ниже 95, 125, 135 и 150 °С для разных марок.
Наиболее важное свойство трансформаторных масел — стабильность против окисления, т. е. способность масла сохранять параметры при длительной работе. В России все сорта применяемых трансформаторных масел ингибированы антиокислительной присадкой — 2,6-дитретичным бутилпаракрезолом (известным также под названиями ионол, агидол-1 и др.). Эффективность присадки основана на ее способности взаимодействовать с активными пероксидными радикалами, которые образуются при цепной реакции окисления углеводородов и являются основными ее носителями. Трансформаторные масла, ингибированные ионолом, окисляются, как правило, с ярко выраженным индукционным периодом.
В первый период масла, восприимчивые к присадкам, окисляются крайне медленно, так как все зарождающиеся в объеме масла цепи окисления обрываются ингибитором окисления. После истощения присадки масло окисляется со скоростью, близкой к скорости окисления базового масла. Действие присадки тем эффективнее, чем длительнее индукционный период окисления масла, и эта эффективность зависит от углеводородного состава масла и наличия примесей неуглеводородных соединений, промотирующих окисление масла (азотистых оснований, нафтеновых кислот, кислородсодержащих продуктов окисления масла).
. Происходящее при очистке нефтяных дистиллятов снижение содержания ароматических углеводородов, как и удаление неуглеводородных включений, повышает стабильность ингибированного ионолом трансформаторного масла.
Международная электротехническая комиссия разработала стандарт (Публикация 296) «Спецификация на свежие нефтяные изоляционные масла для трансформаторов и выключателей». Стандарт предусматривает три класса трансформаторных масел:
I — для южных районов (с температурой застывания не выше -30 °С),
II — для северных районов (с температурой застывания не выше -45 °С),
III — для арктических районов (с температурой застывания -60 °С).
Буква А в обозначении класса указывает на то, что масло содержит ингибитор окисления, отсутствие буквы означает, что масло не ингибировано.
Трансформаторные масла работают в сравнительно «мягких» условиях. Температура верхних слоев масла в трансформаторах при кратковременных перегрузках не должна превышать 95 °С. Многие трансформаторы оборудованы пленочными диафрагмами или азотной защитой, изолирующими масло от кислорода воздуха. Образующиеся при окислении некоторые продукты (например, гидроперекиси, мыла металлов) являются сильными промоторами окисления масла. При удалении продуктов окисления срок службы масла увеличивается во много раз. Этой цели служат адсорберы, заполненные силикагелем, подключаемые к трансформаторам при эксплуатации. Срок службы трансформаторных масел в значительной мере зависит также от использования в оборудовании материалов, совместимых с маслом, т. е. не ускоряющих его старение и не содержащих нежелательных примесей. Для высококачественных сортов трансформаторных масел срок службы без замены может составлять 20–25 лет и более.
Перед заполнением электроаппаратов масло подвергают глубокой термовакуумной обработке. Согласно действующему РД 34.45-51.300–97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» концентрация воздуха в масле, заливаемом в трансформаторы с пленочной или азотной защитой, герметичные вводы и герметичные измерительные трансформаторы не должна превышать 0,5 % (при определении методом газовой хроматографии), а содержание воды 0,001 % (мас. доля). В силовые трансформаторы без пленочной защиты и негерметичные вводы допускается заливать масло с содержанием воды 0,0025 % (мас. доля). Содержание механических примесей, определяемое как класс чистоты, не должно быть хуже 11-го для оборудования напряжением до 220 кВ и хуже 9-го для оборудования напряжением выше 220 кВ. При этом показатели пробивного напряжения в зависимости от рабочего напряжения оборудования должны быть равны (кВ):

|  |  |
| --- | --- |
| **Рабочее напряжение оборудования** | **Пробивное напряжение масла** |
| До 15 (вкл.) | 30 |
| Св. 15 до 35 (вкл.) | 35 |
| От 60 до 150 (вкл.) | 55 |
| От 220 до 500 (вкл.) | 60 |
| 750 | 65 |

Непосредственно после заливки масла в оборудование допустимые значения пробивного напряжения на 5 кВ ниже, чем у масла до заливки. Допускается ухудшение класса чистоты на единицу и увеличение содержания воздуха на 0,5 %.
В этом же РД указаны значения показателей масла, по которым состояние эксплуатационного масла оценивается как нормальное. При превышении этих значений должны быть приняты меры по восстановлению масла или устранению причины ухудшения показателя. Помимо этого даны значения показателей, при которых масло подлежит замене. В табл. 5.4 приведены требования к эксплуатационным маслам. Сорбенты в термосифонных и адсорбционных фильтрах трансформаторов согласно РД 34.20.501–95 «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» следует заменять в трансформаторах мощностью свыше 630 кВ·А при кислотном числе масла более 0,1 мг КОН/г, а также при появлении в масле растворенного шлама, водорастворимых кислот и (или) повышении тангенса угла диэлектрических потерь выше эксплуатационной нормы. В трансформаторах мощностью до 630 кВ·А адсорбенты в фильтрах заменяют во время ремонта или при эксплуатации при ухудшении характеристик твердой изоляции. Содержание влаги в сорбенте перед загрузкой в фильтры не должно превышать 0,5 %.

***Ассортимент трансформаторных масел***

Нефтеперерабатывающая промышленность выпускает несколько сортов трансформаторных масел (таблица). Они различаются по используемому сырью и способу получения.
**Масло ТКп** (ТУ 38.101890–81) вырабатывают из малосернистых нафтеновых нефтей методом кислотно-щелочной очистки. Содержит присадку ионол. Рекомендуемая область применения — оборудование напряжением до 500 кВ включительно.
**Масло селективной очистки** (ГОСТ 10121–76) производят из сернистых парафинистых нефтей методом фенольной очистки с последующей низкотемпературной депарафинизацией; содержит присадку ионол. Рекомендуемая область применения — оборудование напряжением до 220 кВ включительно.
**Масло Т-1500У** (ТУ 38.401-58-107-97) вырабатывают из сернистых парафинистых нефтей с использованием процессов селективной очистки и гидрирования. Содержит присадку ионол. Обладает улучшенной стабильностью против окисления, имеет невысокое содержание сернистых соединений, низкое значение тангенса угла диэлектрических потерь. Рекомендовано к применению в электрооборудовании напряжением до 500 кВ и выше.
**Масло ГК** (ТУ 38.1011025–85) вырабатывают из сернистых парафинистых нефтей с использованием процесса гидрокрекинга. Содержит присадку ионол. Полностью удовлетворяет требованиям стандарта МЭК 296 к маслам класса IIА. Обладает хорошими диэлектрическими свойствами, высокой стабильностью против окисления и рекомендовано к применению в электрооборудовании высших классов напряжении.
**Масло ВГ** (ТУ 38.401978–98) вырабатывают из парафинистых нефтей с применением гидрокаталитических процессов. Содержит присадку ионол. Удовлетворяет требованиям стандарта МЭК 296 к маслам класса IIА. Обладает хорошими диэлектрическими свойствами, высокой стабильностью против окисления и рекомендовано к применению в электрооборудовании высших классов напряжений.
**Масло АГК** (ТУ 38.1011271–89) вырабатывают из парафинистых нефтей с применением гидрокаталитических процессов. Содержит присадку ионол. По низкотемпературной вязкости и температуре вспышки является промежуточным между маслами классов IIА и IIIА стандарта МЭК 296. Обладает хорошими диэлектрическими свойствами, высокой стабильностью против окисления. Предназначено для применения в трансформаторах арктического исполнения.
**Масло МВТ** (ТУ 38.401927–92) вырабатывают из парафинистых нефтей с применением гидрокаталитических процессов. Содержит присадку ионол. Удовлетворяет требованиям стандарта МЭК 296 к маслам класса IIIА. Обладает уникальными низкотемпературными свойствами, низким тангенсом угла диэлектрических потерь и высокой стабильностью против окисления. Рекомендовано к применению в масляных выключателях и трансформаторах арктического исполнения.

|  |
| --- |
| **Характеристики трансформаторных масел** |
| **Показатели** | **ТКп** | **Масло селективной очистки** | **Т-1500У** | **ГК** | **ВГ** | **АГК** | **МВТ** |  |
| Кинематическая вязкость, мм2/с, при температуре: |  |
| 50 °С | 9 | 9 | - | 9 | 9 | 5 | - |  |
| 40 °С | - | - | 11 | - | - | - | 3,5 |  |
| 20 °С | - | 28 | - | - | - | - | - |  |
| -30 °С | 1500 | 1300 | 1300 | 1200 | 1200 | - | - |  |
| -40 °С | - | - | - | - | - | 800 | 150 |  |
| Кислотное число, мг КОН/г, не более | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |  |
| Температура, °С: |  |
| вспышки в закрытом тигле, не ниже | 135 | 150 | 135 | 135 | 135 | 125 | 95 |  |
| застывания, не выше | -45 | -45 | -45 | -45 | -45 | -60 | -65 |  |
| Содержание: |  |
| водорастворимых кислот и щелочей | Отсутствие | - | - | - | - | - |  |
| маханических примесей | Отсутствие | - | Отсутствие | - | Отсутствие |  |
| фенола | - | Отсутствие | - | - | - | - | - |  |
| серы, % (мас. доля) | - | 0,6 | 0,3 | - | - | - | - |  |
| сульфирующихся веществ, % (об.), не более | - | - | - | - | - | - | 10 |  |
| Стабильность, показатели после окисления, не более: |  |
| осадок, % (мас. доля) | 0,01 | Отсутствие | 0,015 | 0,015 | Отсутствие |  |
| летучие низкомолекулярные кислоты мг КОН/г | 0,005 | 0,005 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |  |
| кислотное число, мг КОН/г | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |  |
| Стабильность по методу МЭК, индукционный период, ч, не менее | - | - | - | 150 | 120 | 150 | 150 |  |
| Прозрачность | - | Прозрачно | - | - | - | - |  |
| при 5 °С | при 20 °С |  |
| Тангенс угла диэлектрических потерь при 90 °С, %, не более | 2,2 | 1,7 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |  |
| Цвет, ед. ЦНТ, не более | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 1 | - |  |
| Коррозия на медной пластинке | Выдерживает | - | Выдерживает |  |
| Показатель преломления, не более | 1,505 | - | - | - | - | - | - |  |
| Плотность при 20 °С, кг/м3, не более | 895 | - | 885 | 895 | 895 | 895 | - |  |

Примечание. Условия окисления при определении стабильности по методу ГОСТ 981-75:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Масло** | **Температура, °С** | **Длительность, ч** | **Расход кислорода, мл/мин** |
| ТКп и масло селективной очистки | 120 | 14 | 200 |
| Т-1500У | 135 | 30 | 50 |
| ГК и АГК | 155 | 14 | 50 |
| ВГ | 155 | 12 | 50 |

1 г масла, не более

0,05

0,01

0,01

0,01

По ГОСТ 5985

3. Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже

135

135

135

135

По ГОСТ 12.1.044

4. Содержание водорастворимых кислот и щелочей

Отсутствие

По ГОСТ 6307

5. Содержание механических примесей

То же

По ГОСТ 6307

6. Температура застывания, °С, не выше

Минус 45

Минус 55

Минус 45

Минус 45

По ГОСТ 20287

7. Натровая проба, оптическая плотность, не более

1,8

0,4

0,4

0,4

По ГОСТ 19296 и п.5.2 настоящего стандарта

8. Прозрачность при 5 °С

Выдерживает

По п.5.3 настоящего стандарта

9. Испытание коррозионного воздействия на пластинки из меди марки Ml или М2 по ГОСТ 859

-

Выдерживает

-

Выдерживает

По ГОСТ 2917

10. Цвет на колориметре ЦНТ, единицы ЦНТ, не более

-

1

1,5

0,5

По ГОСТ 20284

11. Стабильность против окисления, не более:

По ГОСТ 981 и п.5.4 настоящего стандарта

масса летучих низкомолекулярных кислот, мг КОН на 1 г масла

0,005

0,04

0,04

0,02

массовая доля осадка, %

0,1

Отсутствие

кислотное число окисленного масла, мг КОН на 1 г масла

0,35

0,15

0,2

0,1

12. Стабильность ингибированного масла по методу МЭК, не менее:

По публикации № 474, МЭК

индукционный период окисления, ч

-

-

-

120

По ГОСТ 2917 с дополнением по п. 4.3 настоящего стандарта

13. Тангенс угла диэлектрических потерь, %, не более:

при 70 °С

2,5

-

-

-

По ГОСТ 6381 и п.5.5 настоящего стандарта

при 90 °С

-

0,5

0,5

0,5

14. Плотность при 20 °С, г/см3, не более

0,900

0,895

0,885

0,895

По ГОСТ 3900

|  |
| --- |
| П р и м е ч а н и я : 1. Для трансформаторного масла марки ТК, вырабатываемого из эмбенеких нефтей и их смеси с анастасьевской нефтью, при испытании на стабильность против окисления по ГОСТ 981 допускается масса летучих низкомолекулярных кислот 0,012 мг КОН на 1 г масла, кислотное число окисленного масла - не более 0,5 мг КОН на 1 г масла. 2. При выработке трансформаторных масел из бакинских парафинистых нефтей допускается применение карбамидной депарафинизации. 3. **(Исключен, Изм. № 2).****(Измененная редакция, Изм. № 2, 3).** |

|  |
| --- |
| **3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ** |
| 3.1. Трансформаторные масла являются малоопасными продуктами и по степени воздействия на организм человека относятся к 4-му классу опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.007.3.2. Трансформаторные масла представляют собой в соответствии с ГОСТ 12.1.044 горючие жидкости с температурой вспышки 135 °С.3.3. Помещение, в котором производятся работы с маслом, должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией.3.4. Предельно допустимая концентрация паров углеводородов масел в воздухе рабочей зоны 300 мг/м3 - в соответствии с ГОСТ 12.1.005.3.5. При работе с трансформаторными маслами должны применяться индивидуальные средства защиты согласно типовым правилам, утвержденным в установленном порядке.3.6. При загорании масел используют следующие средства пожаротушения: распыленную воду, пену; при объемном тушении - углекислый газ, состав СЖБ, состав 3,5, пар. Разд.3. **(Измененная редакция, Изм. № 3).** |

|  |
| --- |
| **4. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ** |
| 4.1. Трансформаторное масло принимают партиями. Партией считают любое количество масла, изготовленного в ходе технологического процесса, однородного по показателям качества, сопровождаемого одним документом о качестве, содержащим данные по ГОСТ 1510. **(Измененная редакция, Изм. № 3).**4.2. Объем выборок - по ГОСТ 2517.4.3. При получении неудовлетворительных результатов испытания хотя бы по одному из показателей проводят повторные испытания вновь отобранной пробы из той же выборки. Результаты повторных испытаний распространяются на всю партию. **(Измененная редакция, Изм. № 3).** |

|  |
| --- |
| **5. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ** |
| 5.1. Пробы трансформаторных масел отбирают по ГОСТ 2517. Для объединенной пробы берут по 3 дм3 масла каждой марки.**(Измененная редакция, Изм. № 1).**5.2. Натровую пробу для масел марок Т-750 и Т-1500 определяют в кювете 20 мм, для масла марки ТК - в кювете 10 мм5.3. Прозрачность трансформаторных масел определяют в стеклянной пробирке диаметром 30-40 мм. Масло при температуре 5 °С должно быть прозрачным в проходящем свете.5.4. Показатель осадка и кислотное число для масла марки ТК определяют по ГОСТ 981 при следующих условиях: температура - 120 °С, катализатор - медная пластинка, расход кислорода - 200 см3/мин, длительность окисления при определении осадка и кислотного числа - 14 ч.Показатель низкомолекулярных летучих кислот допускается определять при условиях: температура - 120 °С, катализатор - шарики диаметром (5±1) мм, один из низкоуглеродистой стали, один из меди марки МОк или М1к по ГОСТ 859; расход воздуха - 50 см3/мин, длительность окисления - 6ч.Стабильность против окисления масел марок Т-750 и Т-1500 определяют по ГОСТ 981 при следующих условиях: температура для масла марки Т-750 - 130 °С, для масла марки Т-1500 - 135 °С, катализатор - медная пластинка, расход кислорода - 50 см3/мин, длительность окисления - 30 ч.Стабильность против окисления перспективного масла гидрокрекинга определяют по ГОСТ 981 при следующих условиях: температура - 145 °С; катализатор - медная пластинка; расход кислорода - 50 см3/мин; длительность окисления - 30 ч. **(Измененная редакция, Изм. № 1, 2, 3).**5.5. Тангенс угла диэлектрических потерь трансформаторных масел определяют без подготовки или после подготовки одним из следующих способов: а) 100 см3 масла выдерживают 30 мин при 50 °С при остаточном давлении 666,6 Па (5 мм рт.ст.) в сосуде со свободной поверхностью, равной 100 см2; б) масло выдерживают в кристаллизаторе, помещенном в эксикатор с прокаленным хлористым кальцием, не менее 12 ч при толщине слоя не более 10 мм. При разногласиях, возникающих при оценке качества продукции, подготовку масла перед определением тангенса угла диэлектрических потерь проводят по подпункту а. Для определения тангенса угла диэлектрических потерь применяют электроды, изготовленные из нержавеющей стали марки 12Х18Н9Т или 12Х18Н10Т по ГОСТ 5632. При изготовлении электродов из меди по ГОСТ 859 и латуни по ГОСТ 17711 рабочие поверхности электродов должны покрываться никелем, хромом или серебром. Определение проводят при напряженности электрического поля 1 кВ/мм. |

|  |
| --- |
| **6. УПАКОВКА, МАРКИРОВКА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ** |
| 6.1. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение трансформаторных масел - по [ГОСТ 1510](http://www.vtormet.vn.ua/info/g_1510-84.htm).6.2. На документе, удостоверяющем качество трансформаторного масла марок Т-750 и Т-1500 высшей категории, и на таре должен быть изображен государственный Знак качества. **(Измененная редакция, Изм. № 2).** |

|  |
| --- |
| **7. ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ** |
| 7.1. Изготовитель гарантирует соответствие качества трансформаторного масла требованиям настоящего стандарта при соблюдении условий транспортирования и хранения.7.2. Гарантийный срок хранения трансформаторных масел - пять лет со дня изготовления. **(Измененная редакция, Изм. № 2).** |

|  |
| --- |
| **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ** |
| **1. РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Министерством нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР****2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24.11.80 № 5525****3. ВЗАМЕН ГОСТ 982-68, ГОСТ 5.1710-72****4. Стандарт соответствует стандарту МЭК, публикация 296, в части масел класса НА.****4. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ** |

|  |  |
| --- | --- |
| **Обозначение НТД, на который дана ссылка** | **Номер пункта** |
| ГОСТ 12.1.005-88 | 3.4 |
| ГОСТ 12.1.007-76 | 3.1 |
| ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) | 2.2, 3.2 |
| ГОСТ 33-2000 | 2.2 |
| ГОСТ 859-2001 | 2.2, 5.4, 5.5 |
| ГОСТ 981-75 | 2.2, 5.4 |
| ГОСТ 1510-84 | 4.1, 6.1 |
| ГОСТ 2517-85 | 4.2, 5.1 |
| ГОСТ 2917-76 | 2.2 |
| ГОСТ 3900-85 | 2.2 |
| ГОСТ 5632-72 | 5.5 |
| ГОСТ 5985-79 | 2.2 |
| ГОСТ 6307-75 | 2.2 |
| ГОСТ 6370-83 | 2.2 |
| ГОСТ 6581-75 | 2.2 |
| ГОСТ 17711-93 | 5.5 |
| ГОСТ 19296-73 | 2.2 |
| ГОСТ 20284-74 | 2.2 |
| ГОСТ 20287-91 | 2.2 |

|  |
| --- |
| **6. Ограничение срока действия снято по протоколу № 2-92 Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации (ИУС 2-93)****7. ИЗДАНИЕ с Изменениями № 1, 2, 3, утвержденными в марте 1982 г., марте 1985 г., марте 1989 г. (ИУС 7-82, 6-85, 6-88)** |