**Задание для обучающихся**

**с применением дистанционных образовательных технологий**

**и электронного обучения**

Дата: 28 октября 2020г.

Группа: Эм-20

Учебная дисциплина: Материаловедение

Тема занятия: Сравнение и анализ свойств жидких диэлектриков

Форма: практическая работа

**Содержание занятия:**

1. Повторение и изучение теоретического материала
2. Выполнение работы

**Теоретический материал**

Жидкие диэлектрики нашли широкое применение в электроустановках. Ими заполняют внутреннее пространство силовых трансформаторов, высовольтных выключателей, конденсаторов, кабелей и других элементов электрооборудования.

Жидкие диэлектрики хорошо пропитывают пористую изоляцию обмоток, картоны и другие пористые материалы и намного повышают их электрическую прочность.

Кроме этого жидкие диэлектрики выполняют роль теплоотводящей среды. Например, в силовых трансформаторах изоляционное масло нагреваясь у обмоток, а затем перемещаясь к холодным стенкам бака трансформатора отдает им полученное тепло.

В масляных выключателях жидкий диэлектрик не только изолирует токоведущие части, но и гасит электрическую дугу, которая возникает между контактами при их размыкании.

В качестве жидких диэлектриков наибольшее применение получили нефтяные электроизоляционные масла.

Они делятся на три группы:

* для трансформаторов и высоковольтных выключателей.
* для пропитки бумажной изоляции конденсаторов.
* для высоковольтных кабелей.

Меньшее применение получили синтетические масла:

* совол;
* совтол;
* полиэтилсилоксановые жидкости (ПЭСЖ).

**1.Нефтяные масла**

**Основные характеристики нефтяных масел**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики | Ед.измерен | Трансформатор  ное | Конденсаторное | Кабельное |
| Плотность | **кг/м3** | 890 | 860 | 890 |
| t вспышки паров | **° С** | 135 | 135 | 135 |
| t застывания | **° С** | -45 | -45 | -45 |
| Удельн. сопротивл. | **Ом·м** | 1013 | 1014 | 1013 |
| Электр. прочность | **МВ/м** | 18 | 20 | 18 |
| Диэлектрическая проницаемость | **-** | 2,2-2,3 | 2,2 | 2,1 |
| Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 Гц | **-** | 0,005-0,018 | 0,002-0,0015 | 0,002 |

**2. Синтетические жидкие диэлектрики**

Недостатками нефтяных электроизоляционных масел является их горючесть, невысокая температура вспышки паров, малая величина диэлектрической проницаемости. Этих недостатков лишены синтетические жидкости. Типичным представителем их является **совол.** Совол применяется в бумажных конденсаторах в качестве пропитывающего вещества. Совол является негорючим веществом, что составляет его главное преимущество перед нефтяными маслами. Однако, совол имеет ряд недостатков ограничивающих его применение. У совола высокая температура застывания +5°С. Кроме того, совол обладает большой вязкостью, это исключает пропитку бумаги при комнатной температуре и его приходиться подогревать до температуры 50°С. Большим недостатком совола является его токсичность из-за присутствия в нем хлора. Поэтому совол необходимо хранить в хорошо закрывающейся таре.

Более современной изоляционной жидкостью с пониженной вязкостью является **совтол.** Он широко используется в качестве пропиточного вещества конденсаторной бумаги и в специальных трансформаторах.

Значительным достижением в области разработки синтетических жидкостей было получение изоляционных жидкостей с очень низкой температурой замерзания (- 60 °С) и стабильными характеристиками в большом диапазоне температур. К таким жидкостям относится полиэтилсилоксановая жидкость ПЭСЖ.

**Основные характеристики синтетических изоляционных жидкостей**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Характеристики** | **Ед.изм** | **Совол** | **Совтол-2** | **ПЭСЖ** |
| Плотность | **кг/м3** | 1560 | 1520 | 960 |
| t вспышки паров | **° С** | 200 | 200 | 150 |
| t застывания | **° С** | 5 | -40 | -60 |
| Удел.сопротивл | **Ом·м** | 1013 | 1012 | 1013 |
| Электр.прочность | **МВ/м** | 18 | 20 | 25 |
| Диэлектрическая проницаемость | **-** | 5,2 | 4,6 | 2,9 |
| Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 Гц | **-** | 0,005 | 0,008 | 0,03 |

**3 Трансформаторное масло**

Трансформаторным (изоляционным) маслом заполняются баки силовых трансформаторов и реакторов, масляных выключателей, измерительные трансформаторы и вводы.

Масло в трансформаторах и реакторах используется в качестве охлаждающей среды и изоляции. На трансформаторных подстанциях находят применение масла различных марок, выпускаемые по стандартам и техническим условиям. Масла различных марок существенно отличаются по своим диэлектрическим свойствам, поэтому каждое из них предназначается для заливки в оборудование определенных классов напряжения.

Трансформаторное масло подразделяется на:

* - свежее сырое (без присадок или стабилизированное присадкой) в том виде, в каком оно поставляется заводом;
* - регенерированное;
* - чистое сухое (свежее сырое или регенерированное масло либо смесь этих масел после подсушки);
* - эксплуатационное (показатели которого соответствуют нормам на масло, находящееся в эксплуатации с момента ввода в эксплуатацию до момента слива на регенерацию);
* - отработавшее (у которого после некоторого периода эксплуатации показатели не соответствуют нормам на эксплуатационное масло).

Основные физико-химические и диэлектрические свойства трансформаторных масел следующие.

*Электрическая прочность* является одной из основных характеристик масла, которая определяется по пробивному напряжению. Для свежего масла пробивное напряжение должно быть не менее 30 кВ. Снижение пробивного напряжения свидетельствует, как правило, о загрязнении масла водой, воздухом, волокнами и другими примесями.

*Тангенс угла диэлектрических потерь* (tg 6) характеризует свойства трансформаторного масла как диэлектрика. Диэлектрические потери характеризуют его качество и степень очистки свежего масла, а в процессе эксплуатации - степень его загрязнения и старения. Ухудшение диэлектрических свойств (увеличение tg 5) приводит к снижению изоляционных характеристик трансформатора в целом.

*Цвет масла* у большинства масел светло-желтый. Темный цвет свежего масла характеризует отклонения в технологии его изготовления на заводе. Цвет масла используется для ориентировочной оценки его качества как в отечественной, так и в зарубежной практике.

*Механические примеси* - нерастворенные вещества, содержащиеся в масле в виде осадка или во взвешенном состоянии. Это - волокна, пыль, продукты растворения в масле компонентов, применяемых в конструкции трансформатора (лаков, красок и т.п.). Другие примеси появляются в масле после внутренних повреждений трансформатора (электрической дуги, мест перегревов) в виде обуглившихся частиц. По мере старения в масле накапливается шлам, который, осаждаясь на изоляции, ухудшает ее диэлектрические свойства.

*Влагосодержание* как показатель состояния масла тщательно контролируется в эксплуатации. Ухудшение этого показателя свидетельствует о потере герметичности трансформатора или о его работе в недопустимом нагрузочном режиме (интенсивном старении изоляции под воздействием значительных температур).

*Температура вспышки масла* характеризует степень его испаряемости. В эксплуатации она постепенно увеличивается за счет улетучивания легких фракций. Температура вспышки для обычных трансформаторных товарных масел колеблется в пределах 130... 150°С и зависит от упругости их насыщенных паров. В отношении пожарной безопасности большую роль играет *температура самовоспламенения —* это температура, при которой масло при наличии воздуха над поверхностью загорается самопроизвольно без поднесения пламени, температура самовоспламенения трансформаторных масел составляет 350...400°С.

*Кислотное число масла -* это количество едкого кали (КОН), выраженного в миллиграммах, необходимое для нейтрализации свободных кислот в 1 г масла. Этот показатель характеризует степень старения масла, о чем свидетельствует появление в нем кислотных соединений. Кислотное число не должно превышать 0,25 мг КОН на 1 г масла.

*Водорастворимые кислоты и щелочи*, содержащиеся в масле, свидетельствуют о его низком качестве. Они могут образовываться в процессе изготовления масла при нарушении технологии производства, а также в процессе эксплуатации в результате его окисления. Эти кислоты вызывают коррозию металла и ускоряют старение изоляции.

*Стабильность* проверяется в эксплуатации при получении партий свежего масла путем проведения его искусственного старения (окисления) в специальных аппаратах. Стабильность масла характеризует его долголетие, т.е. срок службы, и определяется двумя показателями - процентным содержанием осадка и кислотным числом.

*Температура застывания* проверяется для трансформаторных масел, работающих в северных районах. Это наибольшая температура, при которой масло застывает настолько, что при наклоне пробирки под углом 45° его уровень в течение 1 мин остается неизменным. Недопустимое повышение вязкости масла из-за снижения температуры окружающего воздуха может стать причиной повреждения подвижных элементов конструкции трансформатора (маслонасосов, РПН), а также ухудшает теплообмен, что приводит к перегреву и старению изоляции (особенно витков) токоведущих частей трансформатора.

*Газосодержание масла* в герметичных трансформаторах должно соответствовать нормам. Измерение суммарного газосодержания производится с помощью хроматографа. Косвенно по этому показателю определяется герметичность трансформатора. Повышение содержания газа (в том числе воздуха) в масле приводит к ухудшению его свойств: возрастанию интенсивности окисления масла кислородом воздуха и, кроме того, некоторому снижению электрической прочности изоляции активной части трансформатора.

*Плотность* определяется для расчета массы поступившего на предприятие масла. Она характеризует содержание ароматических углеводородов, т.е. восприимчивость масел к присадкам, их гигроскопичность, сопротивляемость воздействию электрического поля и др.

*Вязкость* характеризует подвижность масла при температурных колебаниях в трансформаторе. Из-за ухудшения вязкости нарушается теплообмен в трансформаторе, ускоряется старение изоляции, возрастает сопротивление подвижным элементам конструкции трансформатора (например, устройств РПН).

*Показатель преломления* для контроля содержания в масле нафтеноароматических углеводородов.

В процессе эксплуатации отдельные качественные показатели и свойства трансформаторного масла меняются оно стареет. Старение трансформаторного масла в процессе эксплуатации определяется по изменению кислотного числа, по количеству образующегося в нем шлама, и по реакции водной вытяжки.

Кислотным числом трансформаторного масла называют количество миллиграмм калия необходимого для нейтрализации всех свободных кислых соединений, входящих в состав одного грамма масла. По величине кислотного числа судят о степени старения трансформаторного масла и о возможности оставления его в работе. При определенной степени окисления трансформаторного масла, изоляция обмоток трансформатора ухудшает свои качества и может разрушиться.

Шлам выпадает из масла в результате его старения и отлагается в каналах охлаждения, изоляции, на сердечниках трансформаторов и другого электрооборудования, ухудшая условия охлаждения данного оборудования. При этом изоляция этого электрооборудования быстрее стареет и разрушается, что может привести к авариям, например витковым замыканиям в обмотках трансформаторов.

Реакция водной вытяжки служит для определения присутствия растворенных в воде кислот и щелочей с помощью специальных индикаторов, которые способны менять цвет от наличия в трансформаторном масле кислот и щелочей. Эти кислоты, способствуя быстрому окислению трансформаторного масла, могут вызвать металла и изоляции в электрооборудовании или в аппарате.

## Способы очистки и регенерации

В современном трансформаторном оборудовании масло работает в достаточно жестких условиях: высокая напряженность электрического поля, высокая температура и др. В процессе эксплуатации трансформаторные масла подвергаются термохимическому и электрическому старению, что приводит к снижению их эксплуатационных характеристик. После замены отработанное масло подлежит либо утилизации, либо регенерации. Ниже приведены основные способы очистки и регенерации трансформаторных масел.

**Отстаивание** — один из наиболее простых методов очистки трансформаторных масел. Он заключается в выпадании из масла взвешенных твердых частиц и микрокапель воды под действием силы тяжести, если эти включения имеют достаточные размеры, а их плотность значительно превышает плотность масла.

**Обработка центрифугированием** — этот способ обработки трансформаторного масла заключается в удалении из масла влаги и взвешенных механических частиц при воздействии на них центробежной силы[[9]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%BE#cite_note-%D0%91%D1%80%D0%B0%D0%B9_%D0%98.%D0%92._%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB._%E2%80%94_%D0%9C.:_%D0%A5%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F,_1972._%E2%80%94_168_%D1%81.-9). Можно удалить из трансформаторного масла только влагу, находящуюся в состоянии эмульсии и твердые частицы, удельная масса которых больше удельной массы обрабатываемого трансформаторного масла. Центрифугирование применяется в основном при подготовке масла для заливки в силовые трансформаторы напряжением до 35 кВ, либо в качестве предварительной очистки масла. Длительная обработка масла способствует окисляемости чистого масла из-за возможного удаления антиокислительных присадок.

**Обработка масла фильтрованием** — обработка трансформаторного масла фильтрованием заключается в пропускании его через пористые перегородки, на которых задерживаются имеющиеся в нём примеси.

**Адсорбционная обработка** — процесс очистки трансформаторного масла при помощи адсорбции основан на поглощении воды и других примесей различными адсорбентами. В основном для этого применяются синтетические цеолиты, которые имеют высокую адсорбентную способность, особенно к молекулам воды. Обработка трансформаторного масла с помощью цеолитов позволяет удалить из него влагу, находящуюся в растворенном состоянии[[10]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%BE#cite_note-%D0%9A%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B5%D0%B2_%D0%92.%D0%9D._%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B_%D0%B0%D0%B4%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%B1%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8._%E2%80%94_%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B2%D0%B0:_%D0%A5%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F,_1984._%E2%80%94_592_%D1%81.-10).

**Обработка в вакуумных установках**. Основным элементом является дегазатор. Сырое трансформаторное масло предварительно нагревается до температуры 50-60°С, после чего распыляется в первой ступени дегазатора[[11]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%BE#cite_note-%D0%A2%D0%B8%D1%85%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2_%D0%9F.%D0%9C._%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D0%B5%D1%82_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2._%E2%80%94_%D0%9C.:_%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F,_1976._%E2%80%94_544_%D1%81.-11). Затем оно тонким слоем стекает по поверхности колец Рашига. Одновременно первая ступень вакуумируется вакуум-насосом. Откачка выделяющихся паров влаги и газа осуществляется через цеолитовый патрон и воздушный фильтр. Из полости первой ступени дегазатора трансформаторное масло самотёком поступает в полость второй ступени, где происходит его окончательная осушка и дегазация. Далее трансформаторное масло через фильтр тонкой очистки подается в трансформатор или ёмкость.

При очистке и регенерации масел могут применяться комбинированные методы, основанные на одновременном использовании нескольких из вышеперечисленных подходов.

**Задание:**

1. Повторите теоретический материал.
2. Выполните задания:

1)Заполните таблицу 1, и среди перечисленных масел выберите обладающее наименьшей плотностью, наибольшей электрической прочностью и наименьшей диэлектрической проницаемостью. Укажите область применения этого масла.

Таблица 1 – Основные характеристики нефтяных изоляционных масел

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | Трансформаторное масло | Конденсаторное масло | Кабельное масло |
| Плотность, кг/м3 |  |  |  |
| Температура вспышки паров, 0С |  |  |  |
| Температура застывания, 0С |  |  |  |
| Удельное электрическое сопротивление, Ом⋅м |  |  |  |
| Диэлектрическая проницаемость |  |  |  |
| Электрическая прочность, МВ/м |  |  |  |

2)Заполните таблицу 2, и среди перечисленных жидкостей выберите обладающую наименьшей температурой вспышки паров, наибольшей электрической прочностью. Укажите область применения этой жидкости.

Таблица 2 – Основные характеристики синтетических изоляционных жидкостей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | Совол | Совтол | ПЭСЖ |
| Плотность, кг/м3 |  |  |  |
| Температура вспышки паров, 0С |  |  |  |
| Температура застывания, 0С |  |  |  |
| Удельное электрическое сопротивление, Ом⋅м |  |  |  |
| Диэлектрическая проницаемость |  |  |  |
| Тангенс угла диэлектрических потерь |  |  |  |
| Электрическая прочность, МВ/м |  |  |  |

3) Перечислите способы очистки масла.

4) Почему нефтяные диэлектрики нашли большее применение, чем синтетические?

5) Объясните, какие примеси образуются при старении масла и как от них избавляться?

**Форма отчета.**

1. Сделать фото выполненной работы в тетради
2. **Срок выполнения задания** 28.10.2020г.
3. **Получатель отчета.** Сделанные фото высылаем в Google Класс.