ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РОССИЙСКИЕ СЕТИ»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ПАО «РОССЕТИ»

СТО 34.01-23.1-002-2019

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОТБОРУ ПРОБ И ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ ИЗОЛЯЦИИ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Стандарт организации

Дата введения: 11.03.2019

ПАО «Россети»

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании»; объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения»; общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним - ГОСТ 1.5-2001; правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2012.

Сведения о стандарте организации

1. РАЗРАБОТАН

ООО Научно-технический центр «Электроинжиниринг, Диагностика и Сервис» (Долин А.П., Пираторов М.В., Цурпал С.В., Штэнц Н.В.) при участии Департамента оперативно-технологического управления ПАО «Россети» (Бузаев В.В.) и Департамента эксплуатации и ремонта АО «Тюменьэнерго» (Владимирова М.Н.).

2. ВНЕСЕН Акционерным обществом «Тюменьэнерго»

3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ

Распоряжением ПАО «Россети» от 11.03.2019 № 129р.

4. ВЗАМЕН РД 16 363-87 «Трансформаторы силовые. Транспортирование, разгрузка, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию» в части приложения 4 «Отбор и определение влагосодержания деталей макета твердой изоляции с использованием аппарата АКОВ-10».

ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ в части процедуры отбора образцов картона при отсутствии заложенных макетов изоляции в силовых трансформаторах классов напряжения 110 кВ и выше.

Замечания и предложения по НТД следует направлять в ПАО «Россети» согласно контактам, указанным на официальном информационном ресурсе, или на адрес электронной почты: gost.e-ecolog.ru

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ПАО «Россети». Данное ограничение не предусматривает запрета на присоединение сторонних организаций к настоящему стандарту и его использование в их производственно-хозяйственной деятельности. В случае присоединения к стандарту сторонней организации необходимо уведомить ПАО «Россети».

Содержание

1. Область применения 4
2. Нормативные ссылки 4
3. Обозначения и сокращения 5
3.1. Термины и определения 5
3.2. Обозначения и сокращения 5
4. Общие положения 5
4.1. Периодичность контроля и предельно допустимые значения влагосодержания целлюлозной изоляции 5
4.2. Требования к образцам целлюлозной изоляции 6
4.3. Требования к выполнению работ 8
5. Отбор образцов целлюлозной изоляции 9
5.1. Отбор специально заложенных образцов картона (макетов) 9
5.2. Отбор образцов картона при отсутствии макетов изоляции 10
6. Контроль влагосодержания твердой изоляции при ремонте трансформатора 22
6.1. Задачи контроля 22
6.2. Процедура контроля эффективности сушки твердой изоляции при капитальных ремонтах 22
ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное) Изоляция силовых трансформаторов 24
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Определение влагосодержания образцов целлюлозной изоляции методом дина-старка 27
Б.1. Введение 27
Б.2. Подготовка аппарата АКОВ-10 к работе 27
Б.3. Подготовка и выполнение измерения влагосодержания образцов целлюлозной изоляции 29
Б.4. Обработка полученных результатов 38
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Метод определения влагосодержания целлюлозной изоляции автоматическим кулонометрическим титрованием по Карлу Фишеру 39
В.1. Основные положения 39
В.2. Определение влагосодержания после предварительного экстрагирования воды метанолом 43
В.3. Определение влагосодержания прямым титрованием 45
В.4. Определение влагосодержания методом выделения воды 46

1. Область применения

Настоящий стандарт распространяется на силовые трансформаторы классов напряжения 110 кВ и выше и содержит процедуру отбора целлюлозной (твёрдой) изоляции при наличии или отсутствии макетов изоляции, методы определения влагосодержания образцов изоляции, а также описание процедуры выполнения контроля влагосодержания изоляции при капитальных ремонтах.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты и документы:

2.1 ГОСТ 3134-78 Уайт-спирит. Технические условия.

2.2 ГОСТ 12769-85 Бумага электроизоляционная крепированная. Технические условия.

2.3 ГОСТ 23436-83 Бумага кабельная для изоляции силовых кабелей на напряжение до 35 кВ включительно. Технические условия.

2.4 ГОСТ 3553-87 Бумага телефонная. Технические условия.

2.5 ГОСТ 4194-88 Картон электроизоляционный для трансформаторов и аппаратов с масляным заполнением. Технические условия.

2.6 ГОСТ 645-89 Бумага кабельная для изоляции кабелей на напряжение от 110 до 500 кВ. Технические условия.

2.7 ГОСТ 24874-91 Бумага электроизоляционная трансформаторная. Технические условия.

2.8 ГОСТ 8682-93 (ИСО 383-76) Посуда лабораторная стеклянная. Шлифы конические взаимозаменяемые.

2.9 ГОСТ Р МЭК 60814-2013 Жидкости изоляционные. Бумага и прессованный картон, пропитанные маслом. Определение содержания воды автоматическим кулонометрическим титрованием по Карлу Фишеру.

2.10 ГОСТ 25336-82 Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры.

2.11 СО 34.46.605-2005 (РДИ 34-38-058-91) «Типовая технологическая инструкция. Трансформаторы классов напряжения 110-1150 кВ мощностью 80 МВА и более. Капитальный ремонт».

2.12 СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования.

2.13 РД 16 363-87 Трансформаторы силовые. Транспортирование, разгрузка, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию.

2.14 ТУ 25-2024.010-88 Аппараты для количественного определения содержания воды в нефтяных, пищевых и других продуктах.

2.15 Методические указания по определению влагосодержания твердой изоляции обмоток силовых трансформаторов (шунтирующих реакторов) по результатам измерения диэлектрических характеристик. – Утверждены ОАО РАО «ЕЭС России» 21.06.2007.

2.16 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, приказ Минтруда России от 19.02.2016.

Примечание. При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил и/или классификаторов) в информационной системе общего пользования - на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта (документа) с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта (документа) с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт (документ) отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3. Обозначения и сокращения

3.1. Термины и определения

В настоящем стандарте применен следующий термин с соответствующим определением:

Канюля – полая трубка (стеклянная или металлическая), соединенная со стеклянной частью шприца и предназначенная для отбора масла.

3.2. Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применяются следующие сокращения:

ВН – высшее напряжение

НН – низшее напряжение

СН – среднее напряжение

НТД – нормативно-технический документ

РО – регулировочная обмотка

ч.д.а. – чистый для анализа

4. Общие положения

4.1. Периодичность контроля и предельно допустимые значения влагосодержания целлюлозной изоляции

4.1.1. Влагосодержание целлюлозной (твердой) изоляции является одним из важнейших показателей, по которым оценивается состояние как вновь вводимых в эксплуатацию, так и эксплуатируемых трансформаторов, а также трансформаторов, прошедших капитальный ремонт. Влага в твердых и жидких изоляционных материалах существенно снижает электрическую прочность изоляции. При повышенных температурах влага в целлюлозной изоляции ускоряет старение и разложение целлюлозы. Кроме того, высокое влагосодержание целлюлозной изоляции может привести к выделению воды в масло с образованием эмульсионной воды, что может привести к пробою и аварии. Поэтому достоверные данные о влагосодержании целлюлозной изоляции трансформаторного оборудования имеют большое значение для

безаварийной эксплуатации и увеличения срока службы силовых трансформаторов.

4.1.2. Согласно требованию п. 9.3 СТО 34.01-23.1-001, влагосодержание твердой изоляции контролируется у трансформаторов напряжением 110 кВ и выше. Влагосодержание целлюлозной (твердой) изоляции вновь вводимых трансформаторов и трансформаторов, прошедших капитальный ремонт, не должно превышать 1%, а эксплуатируемых трансформаторов - 2% по массе. Для трансформаторов, отработавших установленные нормативно-технической документацией сроки, допускается значение влагосодержания твердой изоляции трансформаторов, прошедших капитальный ремонт, - 2%, а эксплуатируемых трансформаторов – 4% по массе.

4.1.3. Определение влагосодержания целлюлозной изоляции трансформаторов согласно п. 9.3 СТО 34.01-23.1-001 проводится:

- перед вводом трансформаторов в эксплуатацию и при капитальном ремонте в случае появления признаков увлажнения, установленных измерениями и/или при продолжительности пребывания активной части трансформатора на воздухе, превышающей установленные в п. 9.1 СО 34.46.605;

- в период выполнения капитального ремонта с сушкой и промывкой твердой изоляции.

Определение влагосодержания твердой изоляции трансформаторов проводится приоритетно по анализу влагосодержания заложенных в бак образцов (макетов) изоляции (при их наличии). При отсутствии макетов порядок и зоны отбора проб (образцов) целлюлозной изоляции выполняется в соответствии с рекомендациями настоящего стандарта.

4.1.4. Влагосодержание целлюлозной изоляции в процессе эксплуатации допускается не определять, если влагосодержание масла, проба которого отобрана из трансформатора, прогретого до 60 С, не превышает 10 г/т (п.9.3 СТО 34.01-23.1-001).

4.2. Требования к образцам целлюлозной изоляции

4.2.1. Определение влагосодержания образцов изоляции проводится в случаях, указанных в п. 4.1.3. При отборе предпочтение следует отдавать образцам картона (макетам изоляции) специально заложенным в активной части (см. п. 5.1). При отсутствии этих образцов отбор картона следует проводить в активной части в соответствии с указаниями п. 5.2. Основные виды целлюлозной изоляции трансформатора приведены в приложении А.

4.2.2. В качестве образцов следует отбирать картонную изоляцию толщиной от 0,5 до 3 мм. Необходимо учитывать, что влагосодержание образцов картона меньшей толщины, отобранных у трансформаторов сразу после вывода из работы, как правило выше, чем у более толстых образцов. Если для проведения анализа на влагосодержание нет возможности отобрать образцы картона толщиной 0,5 мм, то используют образцы толщиной 2-3 мм, которые следует разделить на внутренний и внешний (соприкасающийся с маслом) слои и определение влагосодержания производить для каждого из этих

слоев. Вместе с тем следует учитывать, что после капитального ремонта с сушкой активной части (например, методом разбрызгивания масла при вакуумировании активной части) образцы с большей толщиной изоляции могут иметь более высокий уровень влагосодержания.

4.2.3. Необходимая масса отбираемых образцов изоляции зависит от метода определения влагосодержания. При определении влагосодержания твердой изоляции методом Дина-Старка, например, с помощью аппарата АКОВ (Приложение Б), необходимая масса целлюлозной изоляции составляет две навески по 40÷60 г материала образцов каждой толщины. При использовании приборов для определения содержания воды в целлюлозной изоляции автоматическим кулонометрическим титрованием по методу Карла Фишера (Приложение В) согласно ГОСТ Р МЭК 60814 масса одного образца картона не превышает 1,0 г. Значение площади образцов целлюлозной изоляции, отбираемых для проведения анализа на влагосодержание, в зависимости от используемого метода и толщины картона, приведено в таблице 1. Таким образом, при наличии соответствующего оборудования рекомендуется отдавать предпочтение определению влагосодержания целлюлозной изоляции кулонометрическим титрованием, так как при этом требуется значительно меньшая масса отбираемых образцов. Правила отбора образцов изоляции установлены разделом 5 настоящего стандарта.

Таблица 1 – Площадь образцов картона, необходимая для определения влагосодержания целлюлозной изоляции трансформаторов

Толщина картона, мм	Площадь образцов картона, $см^2$, при определении влагосодержания	
	прибором АКОВ, не менее	прибором для кулонометрического титрования (по К. Фишеру), не более
0,5	900	18
1,0	450	9
1,5	300	6
2,0	225	4,5
3,0	150	3

4.2.4. Для отбора образцов подготавливается чистый, сухой, герметичный сосуд, который должен иметь минимально возможную вместимость для снижения влагообмена между маслом и бумагой.

4.2.5. Образцы картона после отбора сразу следует поместить в сосуд (бачок или шприц) с маслом и загерметизировать. Следует использовать масло из того же трансформатора. При отсутствии масла в трансформаторе (согласно приложению 4 РД 16 363) сосуд с образцами должен быть заполнен маслом, с влагосодержанием, установленным для масел, подготовленных к заливке (то есть не более 10 г/т). Над маслом в бачке должен быть небольшой объем воздуха для компенсации его расширения при изменении температуры.

4.2.6. При отборе макетов изоляции время нахождения образцов на воздухе до герметизации не должно превышать 10 мин. При отборе образцов

из активной части (во время капитальных ремонтов) эти работы следует проводить сразу после подъема колокола или выемки активной части.

4.2.7. Если определение влагосодержания планируется проводить с помощью прибора АКОВ, то для пробоотбора используется бачок размером 100х200х200 мм и крышкой с резиновым уплотнением. При отсутствии бачка можно использовать широкогорлый стеклянный сосуд емкостью до 3 л, герметизируемый стеклянной (или капроновой) крышкой, плотно фиксируемой на горловине с помощью специальных зажимов.

4.2.8. При определении влагосодержания методом кулонометрического титрования достаточно использовать сосуд для хранения проб объемом до 0,5 л. Кроме того, в качестве сосуда для хранения и переноса образцов можно использовать шприц емкостью 50-100 мл. При использовании шприца выполняют следующую процедуру:

4.2.8.1 заполняют шприц маслом через канюлю (или плотно надетую на нее силиконовую или резиновую трубку) до тех пор, пока поршень не выдвинется из стеклянного корпуса шприца;

4.2.8.2 закрывают канюлю плотно подогнанным колпачком (или надевают иглу и герметизируют конец иглы, накалывая на нее кусок маслостойкой резины или закрывая колпачком);

4.2.8.3 вводят в шприц образец;

4.2.8.4 снова вставляют поршень в шприц, снимают с канюли (или иглы) колпачок и вдавливают поршень до тех пор, пока не выльется необходимый объем масла;

4.2.8.5 снова надевают на канюлю колпачок (или герметизируют конец надетой иглы, аналогично описанному выше);

4.2.8.6 наполненный таким образом шприц используют для транспортирования.

4.2.9. Для извлечения образца бумаги из шприца поступают следующим образом:

4.2.9.1 держа шприц иглой (канюлей) вверх, снимают колпачок с канюли (или с иглы маслостойкую резину) и выдвигают поршень до тех пор, пока он не покажется из корпуса шприца;

4.2.9.2 надевают на канюлю колпачок (или герметизируют иглу с помощью маслостойкой резины);

4.2.9.3 переворачивают шприц;

4.2.9.4 извлекают поршень из корпуса шприца и вынимают образцы бумаги предварительно просушенными металлическими щипцами.

4.2.10. Упакованные в герметичные сосуды образцы изоляции допускается транспортировать и хранить не более 7 суток.

4.3. Требования к выполнению работ

4.3.1. Все работы, связанные с отбором проб изоляции, а также выполнением анализов на их влагосодержание, должны выполняться в строгом соответствии с требованиями Правил по охране труда при эксплуатации

электроустановок, а также требований охраны труда при работе в химической лаборатории.

4.3.2. По завершении работ все места отбора, а также восстановления целлюлозной изоляции (если они выполнялись) должны быть указаны в акте ремонта трансформатора.

5. Отбор образцов целлюлозной изоляции

5.1. Отбор специально заложенных образцов картона (макетов)

5.1.1. Процесс отбора целлюлозной изоляции обычно состоит в извлечении специально заложенных на активной части трансформатора образцов картона разной толщины (образцы, как правило, закреплены на верхней ярмовой балке). Расположение макета в случае бака колокольного типа приведено на рисунке 1.

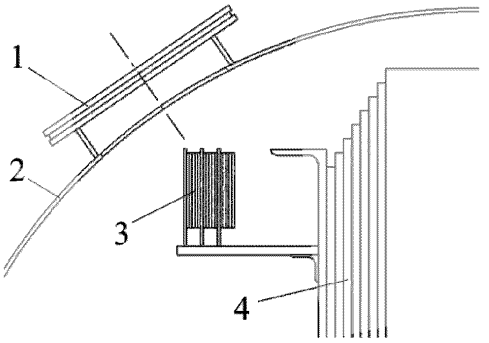


Рисунок 1– Эскиз расположения макета изоляции в баке колокольного типа:
1 – люк; 2 – бак трансформатора; 3 – макет изоляции; 4 – магнитопровод.

5.1.2. Отбор макетов изоляции можно проводить без полного слива масла из бака трансформатора, поскольку на баке в его верхней части имеется специальный люк для отбора образцов, на крышке которого есть надпись: «Макет изоляции». Если не планируется полный слив масла из трансформатора, то для доступа к макетам (образцам) излишний объем масла необходимо перекачать в расширитель или отдельно стоящую чистую емкость. Уровень масла в баке контролируется с помощью временного маслоуказателя, устанавливаемого на пробоотборнике, или визуально, когда появляется возможность открытия крышки люка «Макет изоляции». Для минимизации сливаемого объема целесообразно сливать масло до уровня нижней кромки люка «Макет изоляции» и отбирать макеты (образцы) из объема масла, соблюдая необходимую осторожность.

5.1.3. При определении влагосодержания с помощью прибора АКОВ следует извлечь один комплект образцов: 6 штук толщиной 0,5 мм, 3 штуки толщиной 1 мм и 1 штуку толщиной 3 мм. При определении влагосодержания методом кулонометрического титрования из установленного макета следует отрезать образцы толщиной 0,5, 1 и 3 мм, площадь которых указана в таблице 1.

При этом оставшуюся часть макета следует вернуть в трансформатор для возможности дальнейшего контроля влагосодержания изоляции.

5.1.4. В случае подслива масла из бака после завершения отбора образцов доливать масло в бак нужно перепуская его из расширителя и выпуская воздух через пробку в верхней точке бака трансформатора, не допуская при этом попадания воздуха в расширитель (в трансформаторе с пленочной защитой масла).

5.2. Отбор образцов картона при отсутствии макетов изоляции

5.2.1. В ряде случаев закладка макетов изоляции может быть не предусмотрена конструкцией трансформатора, а для трансформаторов с большим сроком эксплуатации заложенные макеты изоляции могут быть полностью использованы. В этом случае после слива масла из бака трансформатора и его разгерметизации возникает необходимость вырезать образцы картона из изоляционных деталей активной части или отобрать их из доступных зон с последующим восстановлением. Очень важно при отборе образцов не снизить изоляционную стойкость главной изоляции трансформатора (см. Приложение А), поскольку основными деталями для отбора образцов являются находящиеся в пределах доступности наружные элементы изоляции активной части (наружные барьеры и перегородки обмоток, барьеры на боковых ярмах, барьеры на переключающих устройствах, барьеры на шунтах на стенке бака и т.д.). Учитывая значительное разнообразие конструкций трансформаторов (даже в пределах одного типа), рекомендуется согласовывать участки отбора изоляции с заводом-изготовителем трансформатора, особенно для автотрансформаторов 500 кВ и 750 кВ и проводить эти работы под контролем шеф-инженера.

5.2.2. Следует учитывать, что поскольку обмотка ВН расположена поверх обмотки НН, то для некоторых конструкций автотрансформаторов нельзя отбирать образцы из межфазной перегородки, так как даже в нижней части обмоток имеется достаточно большая разность межфазных потенциалов и изменение изоляционной структуры перегородки может повлиять на прочность изоляции. К автотрансформаторам такой конструкции относятся, в частности, трехфазные автотрансформаторы с номинальными напряжениями ВН/СН 330/220 кВ, 330/150 кВ (а также 220/150 кВ), разработанные до 1970 года. Межфазная перегородка у них стоит на прокладках межфазной ярмовой изоляции, что связано с высокой напряженностью электрического поля. Поэтому нарушение структуры межфазной изоляции в данном случае недопустимо.

5.2.3. В автотрансформаторах с обмоткой ВН, расположенной поверх обмотки НН, более поздних конструкций (после 1970 г) используется облегающая перегородка, стоящая на прокладках под обмоткой ВН. Такая конструкция имеет более низкую напряженность электрического поля в межфазном промежутке, но вырезать образцы в межфазном промежутке и для этой конструкции не рекомендуется.

5.2.4. Кроме того, при вводе напряжения (в конструкторской документации называемого линейным напряжением, в отличие от ввода напряжения нейтрали) одновременно с верхнего и нижнего торца обмотки ВН, отбор образцов из межфазной перегородки делать нельзя. Пример такой конструкции приведен на рисунке 2. Признаком такой конструкции является, в частности, наличие экранирующих витков (зоны 1 и 2 на рисунке 2), которые устанавливают для защиты от импульсных перенапряжений в линейной зоне обмотки ВН.

5.2.5. Для отбора образцов картона в трансформаторах, указанных в пп. 5.2.2-5.2.4, можно использовать только подмотку в креплениях отводов НН (п.5.2.6)

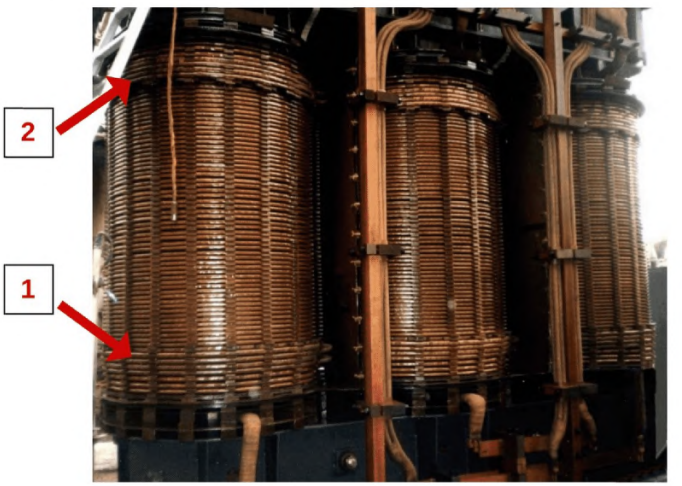
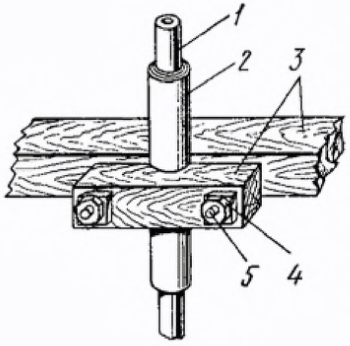
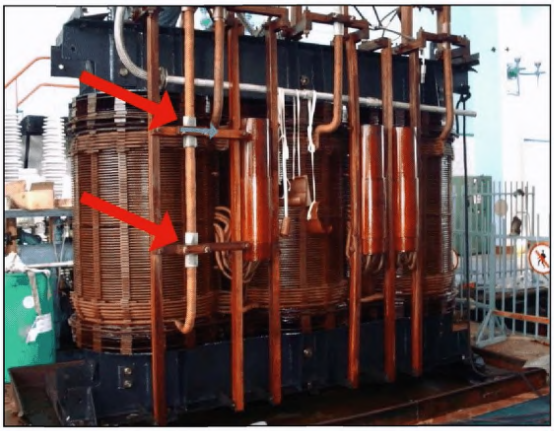


Рисунок 2 – Пример конструкции с вводом линейного напряжения с верхнего и нижнего торца обмотки ВН

5.2.6. В большинстве конструкций трансформаторов в качестве образцов могут служить полосы картона толщиной 0,5 мм, используемые для подмотки в местах крепления токоведущих отводов (рисунок 3). При отборе этой изоляции необходима последующая ее замена. При этом требуется соблюдать осторожность, особенно при креплении трехфазной конструкции отводов (рисунок 3 в) или при креплении отводов высоких классов напряжения. Состояние подмотки и правильность ее установки в планках играют важную роль в обеспечении изоляционной стойкости конструкции. Поэтому предпочтение следует отдавать отбору изоляции в местах крепления однофазных отводов НН (рисунок 3 а, б).



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Узлы крепления отводов деревянными рейками:
а – конструкция крепления: 1 – линейный изолированный отвод, 2 – электрокартонная изоляция, 3 – буковые планки, 4 и 5 – текстолитовая шпилька с гайкой;
б – место отбора изоляции;
в – пример конструкции трехфазной системы отводов НН.

5.2.7. Отобранный образец картона подмотки в местах крепления отводов необходимо заменить новым, предварительно высушенным и пропитанным маслом. При восстановлении подмотки особое внимание следует уделять соблюдению размеров подмотки, особенно величине выступа полос за кромку планок и суммарной толщине подмотки. Стыковать полосы в одной подмотке не рекомендуется. Поэтому отбор образцов изоляции в местах крепления отводов для всех уровней напряжения удобен в период капитального ремонта с последующей сушкой изоляциии (например, методом

разбрызгивания масла при вакуумировании). В результате данной процедуры происходит пропитка подмотки маслом и ее сушка.

5.2.8. Замена картона подмотки на отводах напряжением ниже 35 кВ допускается без последуюшей сушки методом разбрызгивания масла при соблюдении всех других технологических операций, предусмотренных при капитальных ремонтах трансформатора.

5.2.9. У трансформаторов с естественной циркуляцией масла рекомендуется, по возможности, выполнять отбор образцов изоляции из креплений отводов обмотки НН в верхних и нижних частях бака. Это позволит установить вариации уровня влагосодержания целлюлозной изоляции в активной части трансформатора.

5.2.10. Если картон отбирается в разных зонах, то на нём следует карандашом написать номер образца, а в рабочем журнале записать номер и место отобранного образца. При использовании для определения влагосодержания прибора АКОВ в качестве образца необходимо отбирать весь картон подмотки в месте крепления. Если масса картона окажется недостаточной, следует провести отбор образцов в месте крепления отвода соседней фазы (отвода).

5.2.11. При отсутствии креплений и изоляции подмотки отводов, а также при необходимости отбора картона толщиной 1÷3 мм отбор образцов производится из деталей наружных изоляционных барьеров активной части трансформатора. Образцы отрезают предварительно высушенным металлическим острым режущим инструментом (ножом с прочным лезвием или ножницами по металлу). Образцы отрезаются в виде ленты шириной не более 10 см соответствующей площади (см. таблицу 1). Остающиеся после реза детали не должны иметь острых углов (концентраторов напряжений) и отслаивающихся частиц.

5.2.12. Если толщина изоляции составляет 3 мм и более, то при определении влагосодержания методом кулонометрического титрования образцы можно отбирать, используя специальный режущий инструмент, состоящий из трубки с режущей кромкой на одном конце и поршня, расположенного внутри этой трубки (п.А.3.2 ГОСТ Р МЭК 60814). К инструменту должна быть прикреплена скоба, при вращении которой он входит в изоляцию. Получаемые таким образом бумажные диски собираются и после извлечения инструмента остаются внутри трубки. Образцы бумаги выталкивают из трубки поршнем и помещают в сосуд для хранения согласно требованиям п. 4.2.4 и 4.2.5. Таким режущим инструментом можно за один прием получить образцы на глубине от 2 до 3 мм.

5.2.13. Зоны изоляции, из которых допускается отбирать образцы картона без ослабления изоляционной стойкости трансформатора, зависят от конструкции трансформатора. Можно выделить следующие основные конструктивно подобные группы трансформаторов по зонам отбора образцов изоляции:

I. Трансформаторы классов напряжения 110 и 150 кВ:

I-1 – типа ТДН(Г), ТДТН(Г), ТРДН и ТРДНС – с наружной РО;

I-2 – типа ТДГ - с наружной обмоткой ВН;

I-3 – типа ТДЦ(Г) - с наружной одноконцентрической обмоткой ВН и боковыми ярмами.

II. Трансформаторы и автотрансформаторов класса напряжения 220 кВ:

II-1 – типа ТДЦ - с наружной одноконцентрической обмоткой ВН и боковыми ярмами;

II-2 – типа ТДЦ - с наружной двухконцентрической обмоткой ВН и боковыми ярмами;

II-3 – типа ТДЦ(Г) - с наружной двухконцентрической обмоткой ВН без боковых ярем;

II-4 – типа ТДТН, ТРДН, ТРДЦН, ТРДНС – с наружной РО класса 35 кВ;

II-5 – типа АТДЦТГ, АТДЦТН - с наружной последовательной частью обмотки ВН;

II-6 – типа АТДЦТН – с наружной РО класса 110 кВ.

III. Трансформаторы и автотрансформаторы класса напряжения 330 кВ:

III-1 – типа ТДЦ - с наружной одноконцентрической обмоткой ВН и боковыми ярмами;

III-2 – типа ТДЦ, ТЦ - с наружной двухконцентрической обмоткой ВН и боковыми ярмами;

III-3 – типа ТДЦ - с наружной двухконцентрической обмоткой ВН без боковых ярем;

III-4 – типа АТДЦТГ, АТДЦТН - с наружной последовательной частью обмотки ВН;

III-5 – типа АОДЦТН - с наружной последовательной частью обмотки ВН и РО на боковом стержне.

IV. Трансформаторы и автотрансформаторы класса напряжения 500 кВ:

IV-1 – типа ТДЦ, ТЦ, ТНЦ - с наружной одноконцентрической обмоткой ВН и боковыми ярмами;

IV-2 – типа ОДЦ, ОРДЦ, ОЦ, ОРЦ – двухстержневой с двухконцентрической обмоткой ВН и боковыми ярмами;

IV-3 – типа АТДЦТН – с наружной последовательной частью обмотки ВН с боковыми ярмами;

IV-4 – типа АОДЦТН - с наружной последовательной частью обмотки ВН и РО на боковом стержне.

V. Трансформаторы и автотрансформаторы класса напряжения 750 кВ:

V-1 – типа ОРЦ – двухстержневой с наружной одноконцентрической обмоткой ВН и боковыми ярмами;

V-2 – типа АОДЦТН – одностержневой с наружной последовательной частью обмотки ВН и РО на боковом стержне;

V-3 – типа АОДЦТН – двухстержневой с наружной последовательной частью обмотки ВН и РО на боковом стержне.

5.2.14. Необходимо учитывать, что в конструкциях трансформаторов, выпущенных после 1980 г., наружные барьеры на стержнях и боковых ярмах в основном выполняются из картона толщиной 3 мм, стяжные пояса – из картона 3 мм, дистанцирующие вертикальные полосы – из картона 2 мм. В

трансформаторах более старых конструкций наружные барьеры и межфазные перегородки выполнялись из нескольких слоев картона толщиной 1,5 мм. Крепящие элементы на перегородках (уголки) – из картона 3 мм. Ниже приводятся рекомендуемые зоны барьерной изоляции, откуда могут быть отобраны образцы изоляции для указанных выше конструкций трансформаторов.

5.2.15. Группа **I-1, I-2**. Отбор допускается производить только в нижней части межфазной перегородки (при вводе напряжения с верхнего торца обмотки ВН и схеме соединения обмоток в «звезду») – зона 1 на рисунке 4. При этом при анализе полученных результатов следует учитывать, что в трансформаторах с естественной циркуляцией масла температура изоляции в нижней части будет значительно ниже температуры в верхней части.

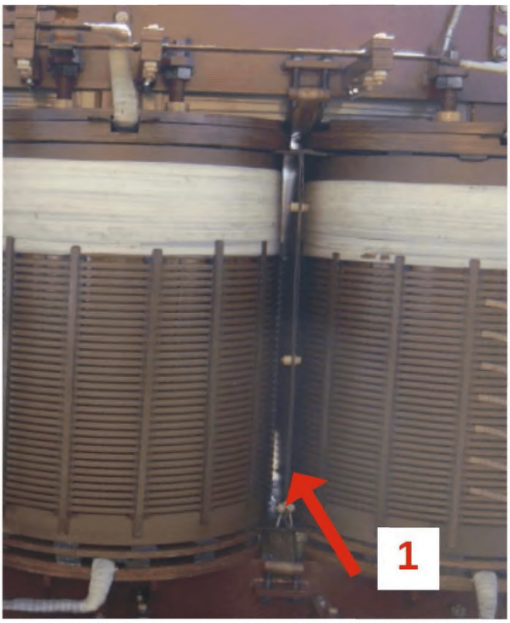


Рисунок 4 – Пример конструкции с вводом напряжения с верхнего торца обмотки ВН

5.2.16. Группа **I-3** – при обмотке ВН с вводом напряжения в середину обмотки и многослойной межфазной перегородке – образцы следует отбирать из средних листов перегородки в верхней ее части – зона 1 на рисунках 5 и 6. В качестве образца допускается отбирать также один из уголков в узле верхнего крепления наружных барьеров (но не в месте выреза под отвод ВН) – зона 2 на рисунках 5 и 7. По возможности после отбора уголок следует заменить.

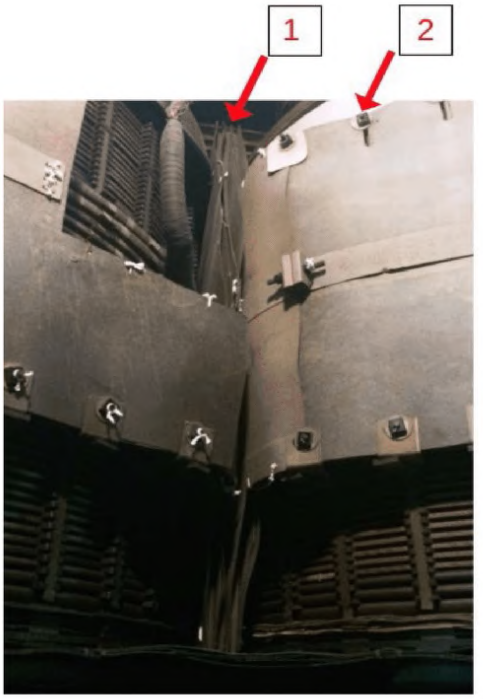


Рисунок 5 – Пример конструкции с многослойной межфазной перегородкой и зоны отбора образцов

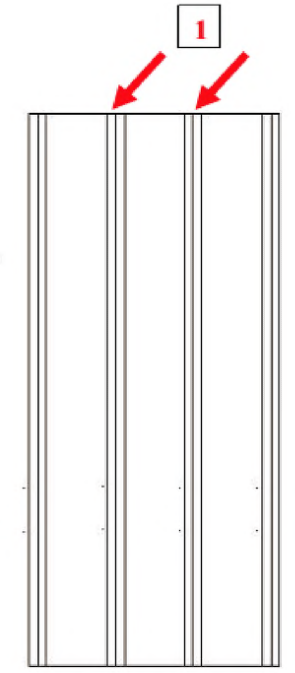


Рисунок 6 – Эскиз верхней части перегородки и зоны отбора образцов

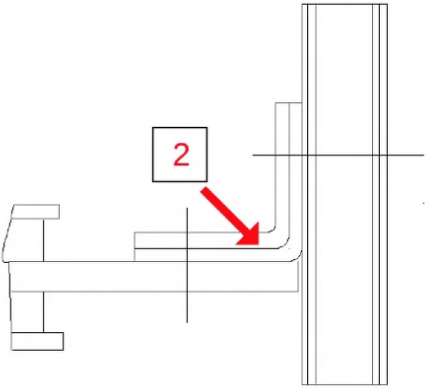


Рисунок 7 – Эскиз крепления укороченного наружного барьера и зона отбора образцов

5.2.17. Группа **II-1, III-1, IV-1** – образцы можно отбирать из наружных барьеров обмоток ВН в верхней или нижней их части – зона 1 на рисунке 8, зона 3 на рисунке 9, из барьеров на боковых ярмах (от которых отрезается нижний

угол, желательно со стороны НН) – зона 1 на рисунке 9. Допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров обмоток ВН (при этом остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунках 8 и 9. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров на обмотках ВН в нижней их части (при этом ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 4 на рисунке 9. Не допускается отбирать образцы в зоне установки ввода.

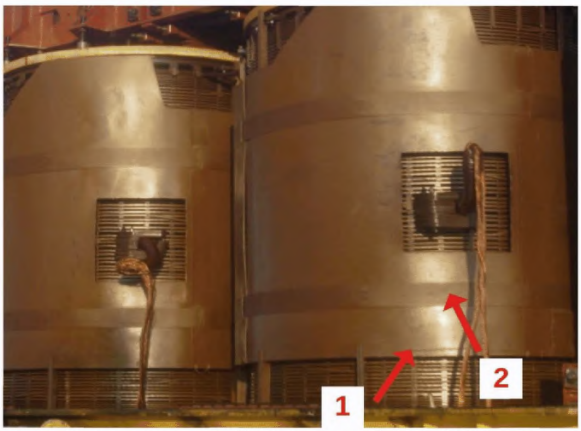


Рисунок 8 – Пример конструкции с облегающими обмотки ВН барьерами и зоны отбора образцов

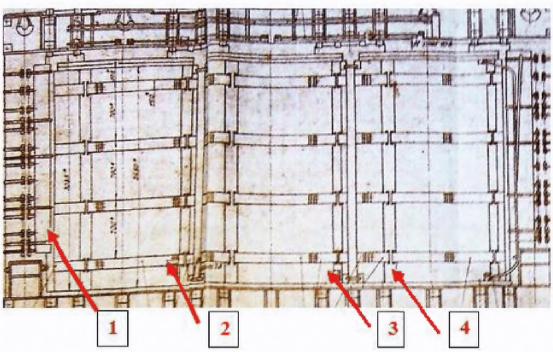


Рисунок 9 – Эскиз конструкции с облегающими обмотки ВН барьерами, барьерами на боковых ярмах и зоны отбора образцов

5.2.18. Группа **II-2** и **III-2** – при наличии наружных барьеров на обмотке ВН по всей ее высоте. Образцы можно отбирать из барьеров на боковых ярмах (отрезается нижний угол, желательно со стороны НН) – зона 1 на рисунке 9. Допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров

обмоток ВН (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунке 9. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров на обмотках ВН в нижней их части (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 4 на рисунке 9.

5.2.19. При укороченных наружных барьерах обмоток ВН и многослойных межфазных перегородках в трансформаторах группы **II-2** и **III- 2**, образцы можно отбирать из барьеров на боковых ярмах (отрезается нижний угол, желательно со стороны НН) – зона 1 на рисунке 9. Образцы можно также отбирать из средних листов межфазной перегородки в верхней ее части – зона 1 на рисунках 5 и 6. В качестве образца допускается отбирать один из уголков в узлах верхнего крепления наружных барьеров – зона 2 на рисунках 5 и 7 (за исключением выреза под отвод ВН). По возможности после отбора уголок следует заменить.

5.2.20. Группа **II-3** и **III-3** – при наличии наружных барьеров на обмотке ВН по всей ее высоте допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров обмоток ВН (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунке 9. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров на обмотках ВН в нижней их части (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 4 на рисунке 9.

5.2.21. При укороченных наружных барьерах обмоток ВН и многослойных межфазных перегородках в трансформаторах группы **II-3** и **III- 3** образцы можно отбирать из средних листов межфазной перегородки в верхней ее части – зона 1 на рисунках 5 и 6. В качестве образца допускается отбирать также один из уголков в узлах верхнего крепления наружных барьеров (за исключением выреза под отвод ВН) – зона 2 на рисунках 5 и 7. По возможности после отбора уголок следует заменить.

5.2.22. Группа **II-4** – при наружных барьерах обмоток по всей высоте образцы можно отбирать из наружных барьеров обмоток в нижней их части (за исключением выхода отводов РО) – зона 3 на рисунке 9. Допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров обмоток (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунке 9. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров на обмотках в нижней их части, но не в месте выхода отводов РО (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 4 на рисунке 9.

5.2.23. При наличии только межфазной перегородки в трансформаторах группы **II-4** отбор допускается только в нижней части перегородки (при вводе линейного напряжения в верхней или средней части обмотки ВН) – зона 1 на рисунке 4 и зона 1 на рисунке 10. Если трансформатор имеет систему охлаждения М или Д (с естественной циркуляцией масла), то при анализе

результатов измерений нужно учитывать, что температура изоляции в нижней части будет значительно ниже, чем в ее верхней части.

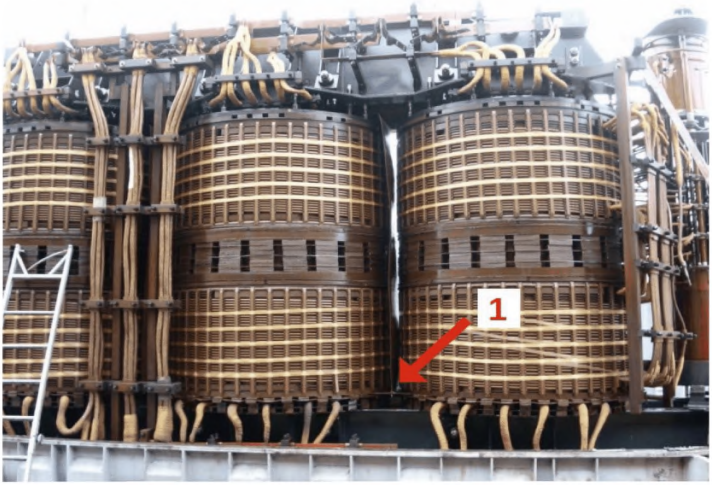


Рисунок 10 – Пример конструкции с наружной РО класса 35 кВ

5.2.24. Группа **II-5** – образцы можно отбирать из средних листов межфазной перегородки в верхней ее части – зона 1 на рисунках 5 и 6. В качестве образца допускается отбирать также один из уголков в узлах верхнего крепления наружных барьеров (за исключением выреза под отвод ВН) – зона 2 на рисунках 5 и 7 (по возможности с последующей заменой уголка).

5.2.25. Группа **II-6** – образцы допускается отбирать из наружных барьеров обмоток в нижней их части (за исключением места выхода отводов ВН и РО и зоны прохождения регулировочных отводов других фаз) – зона 3 на рисунке 9. Кроме того, допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров обмоток (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунке 9. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров на обмотках в нижней их части, но не в месте выхода отводов ВН и РО (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 4 на рисунке 9.

5.2.26. Группа **III-4** – при наличии наружных барьеров на последовательной части обмотки ВН по всей ее высоте допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров обмоток ВН (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунке 9. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров на обмотках ВН в

нижней их части (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 4 на рисунке 9.

5.2.27. При укороченных наружных барьерах обмоток ВН и многослойных межфазных перегородках у трансформаторов группы **III-4** образцы можно отбирать из средних листов межфазной перегородки в верхней ее части – зона 1 на рисунках 5 и 6. В качестве образца допускается отбирать также один из уголков в узлах верхнего крепления наружных барьеров – зона 2 на рисунках 5 и 7 (но не в месте выреза под отвод ВН), по возможности с последующей заменой уголка.

5.2.28. Группа **III-5** – образцы можно отбирать из барьера на боковом ярме (отрезается нижний угол, желательно со стороны НН) – зона 1 на рисунке 9. Допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров на основном и регулировочных стержнях (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунке 9. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров в нижней их части (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 4 на рисунке 9. Не допускается вырезать образцы в зонах прохождения отводов.

5.2.29. Группа **IV-2** – допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров на главных стержнях (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунке 11. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров в нижней их части (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 3 на рисунке 11. Нельзя вырезать образцы в зонах прохождения отводов.

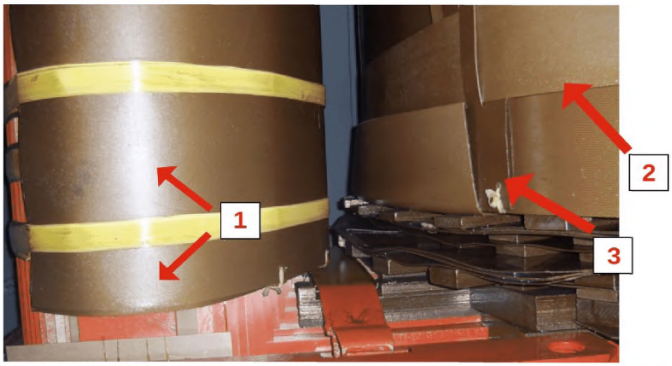


Рисунок 11 – Пример конструкции с барьером по всей высоте обмотки ВН, барьером на боковом ярме и зоны отбора образцов

5.2.30. Группа **IV-3** – образцы можно отбирать из барьеров на боковых ярмах (отрезается нижний угол, желательно со стороны НН) – зона 1 на рисунке 11. Допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров обмоток ВН (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна

быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунке 11. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров на обмотках ВН в нижней их части (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 3 на рисунке 11. Нельзя вырезать образцы в зонах прохождения отводов.

5.2.31. Группа **IV-4** – образцы можно отбирать из барьера на боковом ярме (отрезается нижний угол, желательно со стороны НН) – зона 1 на рисунке 12. Допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров на основном и регулировочных стержнях (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зоны 2 и 4 на рисунке 12. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров в нижней их части (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 3 на рисунке 12. Нельзя вырезать образцы в зонах прохождения отводов и в местах минимального расстояния до стенки бака и до цилиндра ввода.

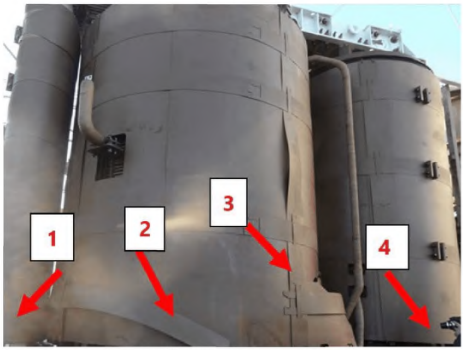


Рисунок 12 – Пример конструкции с барьерами на главном и регулировочных стержнях. барьером на боковом ярме и зоны отбора образцов

5.2.32. Группа **V-1** – образцы рекомендуется отбирать из барьеров на боковом ярме (для чего отрезается нижний угол, желательно со стороны НН) – зона 1 на рисунке 11. Допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров на главных стержнях (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 на рисунке 11. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров в нижней их части (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 3 на рисунке 11. Нельзя вырезать образцы в местах минимального расстояния до стенки бака, до бокового ярма и цилиндра ввода 750 кВ. Отбирать образцы из барьеров на стенке бака можно только в зонах с минимальной напряженностью промежутков (которые следует согласовывать с заводом-изготовителем трансформатора).

5.2.33. Группа **V-2** и **V-3** – образцы рекомендуется отбирать из барьера на боковом ярме (отрезается нижний угол, желательно со стороны НН) – зона 1 на рисунке 12. Допускается вырезание образцов из стяжных поясов наружных барьеров на главных и регулировочном стержнях (остающаяся ширина поясов в месте отбора не должна быть меньше 75% первоначальной ширины) – зона 2 и 4 на рисунке 12. Разрешается вырезать образцы из фиксирующих стяжные пояса вертикальных полос наружных барьеров в нижней их части (ширина полос после отбора не должна быть менее 50% первоначальной ширины) – зона 3 на рисунке 12. Нельзя вырезать образцы в местах прохождения отводов, в местах минимального расстояния до стенки бака, до бокового ярма и цилиндра ввода 750 кВ. Отбирать образцы из барьеров на стенке бака можно только в зонах с минимальной напряженностью промежутков (которые может указать специалист). Нежелательно отбирать образцы из планок крепления вертикальных отводов, особенно в средней по высоте зоне обмоток ВН (зона линейного потенциала).

5.2.34. Существуют и другие участки изоляции, не указанные выше, где допустимо отбирать образцы изоляции. Однако такие участки должны быть определены или согласованы заводом-изготовителем трансформатора.

6. Контроль влагосодержания твердой изоляции при ремонте трансформатора

6.1. Задачи контроля

6.1.1. Определение влагосодержания целлюлозной изоляции при капитальном ремонте позволяет обеспечивать контроль состояния изоляции согласно требованиям п. 4.1.2.

6.1.2. Контролировать качество ремонтных работ, проведения сушки изоляции посредством сопоставления влагосодержания контрольных образцов твердой изоляции в начале разгерметизации активной части и после завершения работ в активной части.

6.2. Процедура контроля эффективности сушки твердой изоляции при капитальных ремонтах

6.2.1. Образцы для определения влагосодержания при ремонте трансформатора отбираются согласно требованиям разделов 4 и 5 сразу после разгерметизации активной части. Отобранные образцы для контроля качества ремонтных работ подвешиваются с помощью киперной ленты в средней части трансформатора как можно ближе к обмотке. Свободный конец киперной ленты крепится к элементам активной части (буковым рейкам, отводам, элементам магнитной системы и т.п.) таким образом, чтобы было доступно и просто отвязать ленту через один из люков перед заливкой масла в трансформатор.

6.2.2. Для контроля влагосодержания изоляции после сушки активной части согласно п. 4.2.2 рекомендуется использовать картон толщиной 2÷3 мм. Вместе с тем допустимо использовать образцы толщиной 0,5 мм, отобранные из креплений отводов деревянными рейками (п. 5.2.6). В этом случае подвешиваемый в активной части образец следует скрутить в несколько

достаточно плотных витков. При этом толщина цилиндров скрученной изоляции должна быть не менее 4 мм.

6.2.3. Если сушка изоляции не предусмотрена технологией ремонта трансформатора, скручивать образцы картона толщиной 0,5 мм не рекомендуется. При этом можно ожидать, что влагосодержание образца будет соответствовать влагосодержанию поверхностной части изоляции большей толщины.

6.2.4. Для объективного сопоставления влагосодержания целлюлозной изоляции до и после капитального ремонта необходимо чтобы образцы, подвешиваемые при ремонте в активной части и контролируемые в начале разгерметизации трансформатора, имели одинаковое влагосодержание. С этой целью отбираемые образцы должны быть разделены примерно на равные части, находящиеся в одинаковых условиях эксплуатации (равная температура и идентичная площадь поверхности соприкосновения с маслом). Например, подмотку картонной изоляции толщиной 0,5 мм, отобранную из узла крепления отводов деревянными рейками (п. 5.2.6), следует разрезать вдоль на две равные части.

6.2.5. Образцы картона толщиной 2÷3 мм, отобранные из барьеров в трансформаторах, прежде всего, с естественной циркуляцией масла для контроля влагосодержания до и после ремонта, следует разделить на равные части, располагающиеся в активной части на одинаковой высоте.

6.2.6. Контрольные образцы изоляции (п.6.2.1) вынимаются из бака после установки колокола или крышки трансформатора и выполнения сушки активной части (если она предусмотрена технологией проведения ремонта) перед заливкой трансформатора маслом.

6.2.7. Хранение образцов после выемки выполняется согласно указаниям п.4.2.5.

6.2.8. Сопоставление влагосодержания изоляции до и после ремонта трансформатора проводится для каждой пары идентичных образцов.

Приложение А (справочное)
Изоляция силовых трансформаторов

Изоляция силовых трансформаторов разделяется на внешнюю и внутреннюю. *Внешняя изоляция* состоит из воздушных промежутков между силовыми вводами, между силовыми вводами и заземленным баком, а также включает в себя поверхности фарфоровых покрышек вводов. К *внутренней изоляции* относится изоляция обмоток, изоляционные промежутки внутри бака, масляная часть вводов, отводов и вспомогательных устройств.

Изоляцию обмоток разделяют на главную и продольную. *Главная изоляция* состоит из изоляции между обмотками, между обмотками и магнитопроводом, междуфазной изоляции между наружными катушками двух соседних стержней и изоляции наружной катушки от стенки бака.

К *продольной изоляции* относят изоляционные промежутки между витками, между слоями витков и между катушками одной обмотки. Габариты главной и продольной изоляции при напряжениях до 220 кВ включительно определяются грозовыми перенапряжениями.

Конструкция изоляции должна обеспечивать охлаждение активных частей трансформатора.

Главная изоляция выполняется преимущественно маслобарьерного типа и представляет собой трансформаторное масло с барьерами из электротехнического картона. Она обладает высокой импульсной электрической прочностью и обеспечивает интенсивное охлаждение обмоток и магнитопровода. Общий вид маслобарьерной изоляции показан на рисунке А1. В трансформаторах используются барьеры трех основных видов: цилиндрический барьер, плоская шайба и угловая шайба.

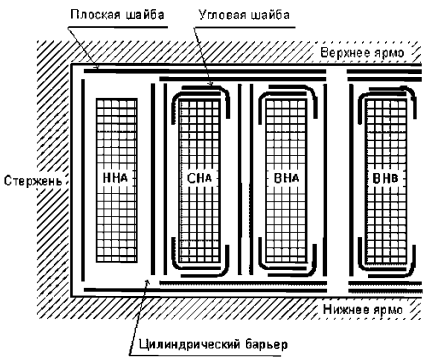


Рисунок А1 – Общий вид главной изоляции обмоток трансформаторов

Барьеры служат для разделения одного масляного промежутка большого объема на несколько промежутков меньшего объема, это приводит к увеличению общего пробивного напряжения. Для достижения наибольшего

эффекта барьеры должны располагаться перпендикулярно силовым линиям электрического поля.

Комбинация масляных каналов с барьерами в виде изоляционных цилиндров, плоских и угловых шайб может изменяться в зависимости от класса напряжения трансформатора, его мощности и других конструктивных особенностей.

В качестве основной твердой изоляции масляных трансформаторов применяют волокнистые материалы из целлюлозы. К ним относятся электрокартон, бумага и ткани.

Электрокартон применяется для изготовления главной изоляции цилиндров, перегородок, щитов, угловых шайб, ярмовой изоляции и для изготовления продольной изоляции – межкатушечных прокладок и реек.

Электроизоляционная (кабельная) бумага в трансформаторе применяется для витковой изоляции обмоточного провода и дополнительной изоляции катушек (продольная изоляция).

Картон электроизоляционный в соответствии с ГОСТ 4194 выпускается следующих марок:

АМ – гибкий эластичный, имеющий повышенную стойкость к воздействию поверхностных разрядов, применяется для изготовления деталей главной изоляции трансформаторов класса напряжения 750 кВ и выше;

А – гибкий эластичный, стойкий к воздействию поверхностных разрядов, применяется для изготовления деталей главной изоляции трансформаторов класса напряжения до 750 кВ;

Б – средней плотности с повышенными электрическими характеристиками, применяется для изготовления главной изоляции в трансформаторах класса напряжения до 220 кВ;

В – повышенной плотности с малой усадкой под давлением, с высокой электрической прочностью, применяется для изготовления продольной и главной изоляции трансформаторов;

Г – средней плотности с повышенным сопротивлением расслаиванию, применяется для получения склеенного картона и изготовления изоляционных деталей.

Картон марок АМ и А выпускается с толщиной листов (2,00±0,15) мм., (2,50±0,15) мм. и (3,00±0,20) мм.; марки Б – (1,00±0,10) мм., (1,50±0,10) мм., (2,00±0,15) мм., (2,50±0,15) мм., (3,00±0,20) мм., (4,00±0,30) мм., (5,00±0,35) мм., (6,00±0,40) мм.; марки В – (1,20±0,09) мм., (1,60±0,11) мм., (2,00±0,10) мм., (2,50±0,12) мм., (3,00±0,15) мм., (4,00±0,20) мм., (6,00±0,30) мм., (8,00±0,40) мм., марки Г – (0,50±0,05) мм.

Плотность картона марки АМ составляет 0,85÷1,0 г/см^3; марки А – 0,90÷1,00 г/см^3; марки Б – 0,9÷1,20 г/см^3; марки В – 1,1÷1,35 г/см^3; марки Г - 0,90÷1,15 г/см^3.

Электроизоляционная (кабельная) бумага выпускается по ГОСТ 645, ГОСТ 23436, ГОСТ 24874 толщиной от 0,08 до 0,17 мм.

Крепированная электроизоляционная бумага по ГОСТ 12769 марок ЭКТМ и ЭКТМУ-70 имеет поперечный креп (гофрировку) и при натяжении

удлиняется не менее 75 %. Толщина бумаги составляет 0,44 мм. Благодаря эластичности и механической прочности крепированную бумагу применяют в качестве изоляции отводов, мест паек, изгибов вместо дорогостоящей лакоткани.

Телефонная бумага по ГОСТ 3553 марок КТ-50 толщиной 50 мкм (ранее и КТ-40 толщиной 48 мкм) применяется в качестве витковой изоляции обмоточного провода класса изоляции А.

Кроме того, в трансформаторах в качестве основной изоляции отдельных узлов может использоваться лакоткань (для изоляции концов обмоток при изготовлении емкостных колец, отводов), лакошелк (для изолирования отводов), ленты хлопчатобумажные киперные и тафтяные (для защиты основной изоляции от механических повреждений и механического крепления деталей, отводов и пр.).

Приложение Б (обязательное)
Определение влагосодержания образцов целлюлозной изоляции методом Дина-Старка

Б.1. Введение.

При определении влагосодержания образцов целлюлозной изоляции можно применять аппарат для количественного определения содержания воды в нефтяных, пищевых и других продуктах АКОВ-10 (приложение 4 РД 16 363). В составе АКОВ-10 допускается использовать колбы типа К-1-500-29/32 ТС или К-1-1000-29/32 ТС по ГОСТ 25336, холодильник типа ХТП-1-300-14/23 по ГОСТ 25336, приемник-ловушку емкостью 10 $см^3$.

Б.2. Подготовка аппарата АКОВ-10 к работе

Б.2.1. На рис. Б-1 в качестве примера представлен аппарат для количественного определения содержания воды в нефтяных, пищевых и других продуктах типа АКОВ-10 по ТУ 25-2024.010-88

Б.2.2. Перед началом сборки аппарата АКОВ-10 (см. рисунок Б-1) холодильник, приемник-ловушка и колба должны быть предварительно промыты и просушены.

Б.2.3. Для нагрева колбы подготовить специальный электрический колбонагреватель или электроплитку с закрытой спиралью, имеющие возможность плавной регулировки температуры нагрева, и стеклоткань или асбестовую ткань для теплоизоляции.

Б.2.4. Подготовить лабораторный штатив для сборки аппарата АКОВ-10.

Б.2.5. Сборку аппарата АКОВ-10 и последующую работу с ним проводить в вытяжном шкафу, встроенном в приточно-вытяжную вентиляцию.

Б.2.6. Установить лабораторный штатив на ровную поверхность в вытяжном шкафу.

Б.2.7. На основание лабораторного штатива установить колбонагреватель.

Б.2.8. Предварительно высушенную колбу типа К-1-500-29/32 ТС аппарата АКОВ-10 установить в колбонагреватель и закрепить на штативе с помощью лапки.

Б.2.9. На колбу аппарата АКОВ-10 установить предварительно высушенные ловушку с делениями и холодильник, соединив все элементы аппарата с помощью пружинных фиксаторов. Холодильник закрепить на штативе с помощью лапки. Сверху на холодильник установить патрон с осушителем.

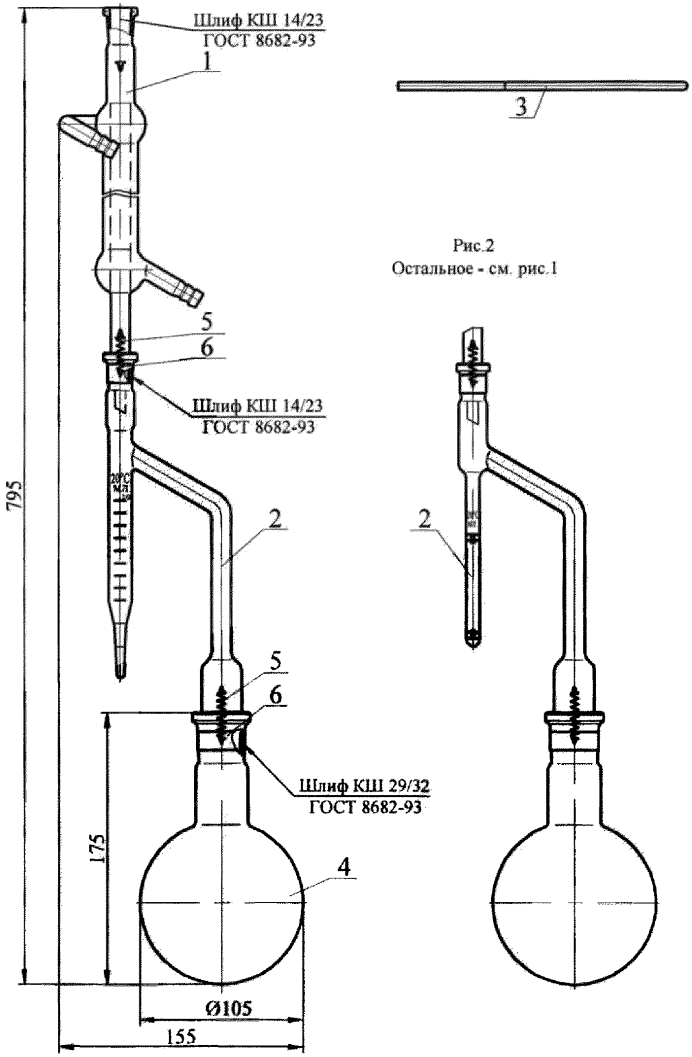
Б.2.10. Подключить холодильник аппарата АКОВ-10 к крану холодной воды с помощью резиновых шлангов.

Б.2.11. Отсоединить ловушку с холодильником от колбы, предварительно ослабив удерживающую холодильник лапку штатива и сняв пружинные фиксаторы, залить в колбу 300-350 мл уайт-спирита по ГОСТ 3134 с температурой кипения при атмосферном давлении в пределах 443-463 К (170-190 ^{0}С).

Б.2.12. Установить ловушку с холодильником на колбу и закрепить холодильник с помощью лапки штатива и пружинных фиксаторов.

Б.2.13. Включить подачу холодной воды в холодильник.

Б.2.14. Накрыть колбу с уайт-спиритом стеклотканью или асбестовой тканью. Сверху на холодильник установить патрон с осушителем.



1 - холодильник; 2 - приемник-ловушка; 3 - трубка для распыления; 4 - колба; 5 - пружины; 6 - хомутики

Рисунок Б-1 – Аппарат для количественного определения содержания воды в нефтяных, пищевых и других продуктах АКОВ-10

Б.2.15. Включить колбонагреватель, задать с помощью регулятора нагрева и теплоизоляции верхней части колбы стеклотканью (или асбестовой тканью) режим кипячения уайт-спирита (рисунок Б-2), обеспечивающий выделение из нижнего кососрезанного конца холодильника 2-4 капли жидкости в секунду. Кипячение уайт-спирита в аппарате АКОВ-10 продолжать в течение 1,5-2 часов.



Рисунок Б-2 – Аппарат АКОВ-10 в вытяжном шкафу в процессе кипячения уайт-спирита (верхняя часть колбы закрыта стеклотканью)

Б.2.16. По истечении 1,5-2 часов выключить колбонагреватель, снять стеклоткань (или асбестовую тканью) и охлаждать аппарат не менее 1 часа;

Б.2.17. Прекратить подачу воды в холодильник.

Б.2.18. Колбу с просушенным уайт-спиритом закрыть пробкой. Просушенный уайт-спирит может быть использован для измерения воды в целлюлозной изоляции до трех раз.

Б.2.19. По окончании осушки уайт-спирита требуется промыть и просушить ловушку и холодильник.

Б.3. Подготовка и выполнение измерения влагосодержания образцов целлюлозной изоляции

Б.3.1. На рисунке Б-3 показан доставленный в лабораторию стеклянный сосуд с завинчивающейся крышкой, в котором находятся в трансформаторном масле отобранные из силового трансформатора образцы целлюлозной изоляции.



Рисунок Б-3 – Стеклянный сосуд с завинчивающейся крышкой с образцами целлюлозной изоляции в масле и подготовленное рабочее место

Б.3.2. При отборе образца целлюлозной изоляции масло в сосуд, предпочтительно, должно быть залито непосредственно из трансформатора.

Б.3.3. Перед снятием крышки с сосуда необходимо подготовить рабочее место (см. рисунок Б-3):

– кювету с фильтровальной бумагой,

– большой пинцет,

– скальпель,

– ножницы по металлу,

– стеклянный химический стакан емкостью 250 мл.

Б.3.4. При проведении опыта необходимо руководствоваться следующими указаниями:

– разделку образцов рекомендуется проводить в противне или чашке с трансформаторным маслом или в сухом помещении, предварительно вымытыми сухими руками;

– неиспользованные в опыте образцы хранить в тех же сосудах, в которых их транспортировали;

– для образцов каждой толщины проводить анализ по двум параллельным пробам.

ВНИМАНИЕ! Общее время нахождения образцов на воздухе (в процессе разделки) до их помещения в колбу с уайт-спиритом не должно превышать 15 минут.

Б.3.5. До вскрытия сосуда с образцами необходимо предварительно взвесить на аналитических весах, имеющих точность не менее 0,01 г, пустой химический стакан (см. рисунок Б-4) и зафиксировать его вес с точностью не менее 0,01г. После этого приступают к извлечению образца изоляции из сосуда с маслом (рисунок Б-5) и разрезают связывающий образцы шнур (рисунок Б-6).

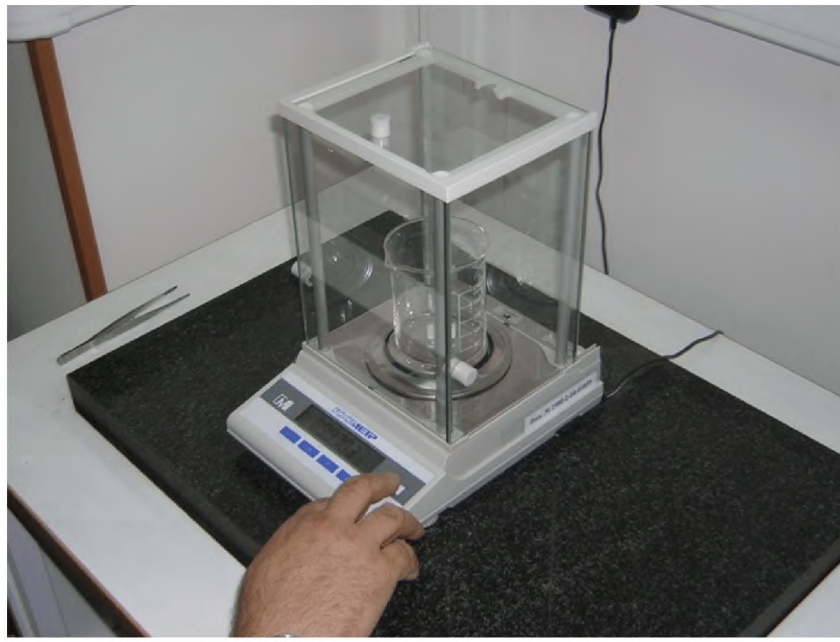


Рисунок Б-4 – Взвешивание химического стакана



Рисунок Б-5 – Извлечение образца целлюлозной изоляции из сосуда



Рисунок Б-6 – Разрезание шнура, связывающего образец

Б.3.6. Перед взвешиванием образец необходимо протереть чистой сухой ветошью или фильтровальной бумагой (см. рисунки Б-7 и Б-8).

Б.3.7. После этого необходимо замерить толщину образцов и зафиксировать ее в журнале и по окончании работы отразить в протоколе (см. рисунок Б-9).



Рисунок Б-7 – Протирка образца фильтровальной бумагой

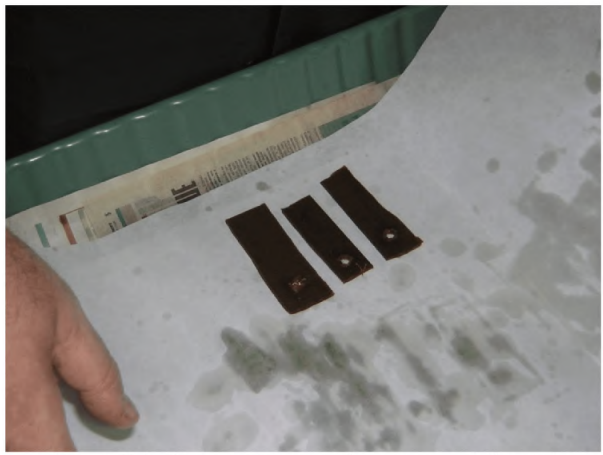


Рисунок Б-8 – Протирка изоляции фильтровальной бумагой



Рисунок Б-9 – Измерение толщины образцов изоляции



Рисунок Б-10 – Подготовка навески образца изоляции

Б.3.8. Подготовить две навески массой 40÷60 г образцов каждой толщины. Взвесить их с точностью до 0,1 г. Части образцов с приклеенными дистанционными прокладками при проведении опыта не используются.

Б.3.9. Далее с помощью ножниц по металлу разрезать образцы на куски, размером примерно 10х10 мм (образец толщиной 3 мм ножом расслоить) (рисунок Б-10). Из разрезанных образцов готовятся по две навески массой 40÷60 г материала образцов каждой толщины. Рекомендуется провести взвешивание с точностью до 0,1 г (рисунок Б-11).

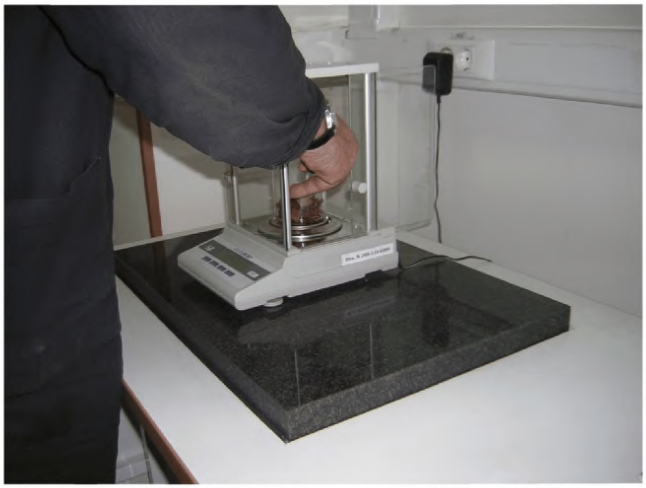


Рисунок Б-11 – Взвешивание навески образца изоляции



Рисунок Б-12 – Перемещение разрезанного образца изоляции из стакана в колбу с просушенным уайт-спиритом

Б.3.10. Сразу после взвешивания разрезанный образец целлюлозы должен быть перемещен из стакана в колбу (см. п.Б.2.18) с предварительно просушенным уайт-спиритом (рис. Б-12).

ВНИМАНИЕ! Температура уайт-спирита, в который помещается разрезанный образец изоляции, не должна превышать 313÷323 К (40÷50 °С) во избежание испарения воды из образцов до начала анализа.

Б.3.11. На основание лабораторного штатива установить колбонагреватель.

Б.3.12. Колбу с разрезанным образцом целлюлозной изоляции в просушенном уайт-спирите установить в колбонагреватель и закрепить на штативе с помощью лапки.

Б.3.13. Затем на колбу с образцом установить предварительно высушенные ловушку с делениями и холодильник, соединив все элементы аппарата с помощью пружинных фиксаторов. Холодильник закрепить на штативе с помощью лапки. Сверху на холодильник установить патрон с осушителем (рисунок Б-13).

Б.3.14. Подключить холодильник аппарата АКОВ-10 к крану холодной воды с помощью резиновых шлангов.

Б.3.15. Включить подачу холодной воды в холодильник.



Рисунок Б-13 – Патрон с осушителем, установленным на холодильнике аппарата АКОВ-10

Б.3.16. Накрыть колбу с уайт-спиритом стеклотканью или асбестовой тканью.

Б.3.17. Включить колбонагреватель, задать с помощью регулятора нагрева и теплоизоляции верхней части колбы стеклотканью (или асбестовой тканью) режим кипячения уайт-спирита (рисунок Б-2), обеспечивающий выделение из нижнего кососрезанного конца холодильника 2-4 капли жидкости в секунду. Кипячение уайт-спирита в аппарате АКОВ-10 продолжать в течение 1,5-2 часов.

Б.3.18. По истечении 1,5-2 часов выключить колбонагреватель, снять стеклоткань (рисунок Б-14) или асбестовую тканью и охладить аппарат в течение 1 часа.



Рисунок Б-14 – Колба с образцами в колбонагревателе после удаления стеклоткани

Б.3.19. Прекратить подачу воды в холодильник.

Б.3.20. Удалить с холодильника осушительный патрон и снять ловушку с холодильником с колбы. Осушительный патрон убрать в эксикатор. С

помощью стеклянной палочки длиной около 50 см с резиновым наконечником (кусок резиновой трубки) или металлического прутка с фторопластовым или резиновым наконечником переместить капельки с внутренней стенки холодильника в ловушку.

Б.3.21. Разделить холодильник и ловушку (рисунок Б-15), затем с помощью того же прутка переместить капельки воды со стенок на дно ловушки.

Б.3.22. Если на дне ловушки воды немного, а уайт-спирит мутный, то ловушку поместить на 30 мин в горячую воду из-под крана для осветления и затем охладить до температуры окружающего воздуха (рисунок Б-16).



Рисунок Б-15 – Удаление холодильника с ловушкой
(справа открытая колба в колбонагревателе)



Рисунок Б-16 – Ловушка, помещенная в стакан с горячей водой

Б.3.23. С помощью делений на ловушке измерить количество воды, выделившееся из образца целлюлозной изоляции (рисунок Б-17) в мл (г).



Рисунок Б-17 – Определение количества выделенной воды по рискам после охлаждения ловушки

Б.4. Обработка полученных результатов

Б.4.1. Вычислить содержание воды (Х) в пробе, в процентах, по формуле:

$$X = \frac{У - \Delta}{P_1 \times K} \times 100 \quad , \qquad (3.1)$$

где $У$ – масса воды, собравшейся в ловушке, г;

P_1 – масса испытуемого материала до разделки, г;

P_2 – масса испытуемого материала после разделки, г;

$\Delta = P_2 - P_1$ – прирост массы образца за время разделки, г;

К – коэффициент, учитывающий массу масла, пропитавшего образец (для пропитанного образца К = 0,7, для непропитанного К = 1,0).

Б.4.1. Вычислить остаточную влажность образцов каждого вида материала как среднее арифметическое двух проб:

$$X_{ср} = \frac{X_1 + X_2}{2}, \qquad (3.2)$$

где X_1 и X_2 — влагосодержание двух проб, %.

Примечания:

1. Одну и ту же порцию уайт-спирита можно использовать в анализах до трех раз.

2. После окончания анализа уайт-спирит из колбы можно слить в сосуд с чистым уайт-спиритом.

3. При подготовке и проведении анализов в АКОВ-10 также можно использовать колбу типа К-1-1000-29/32 ТС по ГОСТ 25336-82.

4. Настоящее приложение подготовлено с учетом материалов РД 16 363 (приложение 4).

Приложение В (обязательное)
Метод определения влагосодержания целлюлозной изоляции автоматическим кулонометрическим титрованием по Карлу Фишеру

В.1. Основные положения

В.1.1. Диапазон определения влагосодержания целлюлозной изоляции автоматическим кулонометрическим титрованием с реактивом Карла Фишера составляет от 0,1% масс. до 20% масс.

В.1.2. Происходящие при титровании методом Карла Фишера химические процессы являются достаточно сложными и включают, в основном, взаимодействие воды с йодом, диоксидом серы, органическим основанием и спиртом в органическом растворителе. В состав исходного реактива Карла Фишера входят пиридин и метанол. Основные реакции, происходящие при титровании по Карлу Фишеру, можно записать следующим образом:

$$H_2O + I_2 + SO_2 + 3C_5H_5N \rightarrow 2C_5H_5N \cdot HI + C_5H_5N \cdot SO_3; \qquad (В.1)$$

$$C_5H_5N \cdot SO_3 + CH_3OH \rightarrow C_5H_5NH \cdot SO_4 \cdot CH_3. \qquad (В.2)$$

В.1.3. В процессе титрования по Карлу Фишеру пробу перемешивают с раствором основание-спирт, содержащим ионы йода и диоксид серы. При электролизе образуется йод, который вступает в реакцию с водой и диоксидом серы в присутствии основания согласно уравнениям (В.1) и (В.2). По закону Фарадея количество образовавшегося йода пропорционально количеству электричества в соответствии с уравнением:

$$2I^- - 2e \rightarrow I_2. \qquad (В.3)$$

В.1.4. Один моль йода реагирует с одним молем воды стехиометрически, согласно уравнению (В.3), при этом 1 мг воды эквивалентен 10,72 Кл. На основании этого можно определить количество воды по количеству электричества, пошедшего на электролиз.

В.1.5. Определение воды титрованием по Карлу Фишеру выполняют с помощью сосуда для титрования, имеющего конфигурацию электролитической ячейки с двумя отделениями, обычно разделенными пористой перегородкой. Анодное отделение содержит смесь растворителя (реактива) и пробы (анодный раствор), а катодное отделение (сборка генератора) содержит безводный реактив (катодный раствор). По обе стороны пористой перегородки расположены электроды для проведения электролиза.

В.1.6. Йод, образовавшийся при электролизе по уравнению (В.3), реагирует с водой по уравнениям реакций (В.1) и (В.2). Момент окончания реакции определяют с помощью двойного платинового электрода, погруженного в анодный раствор. По окончании титрования избыток йода деполяризует двойной платиновый электрод, изменяя соотношение

ток/напряжение, что приводит к активации индикатора конечной точки и остановке интегратора тока.

В.1.7. Интегратор тока суммирует ток, использованный в процессе электролиза, вычисляет эквивалент воды по закону Фарадея и выводит на дисплей количество воды в микрограммах.

В.1.8. В потенциометрических титраторах Карла Фишера, имеющихся в продаже, обычно используются оригинальные патентованные схемы.

В.1.9. Далее в качестве примера рассмотрим описание типового варианта исполнения автоматического титратора Карла Фишера. На рисунке В-1 изображена типовая блок-схема автоматического титратора, включающая прибор и основные компоненты. Пример сосуда для титрования в сборе приведен на рисунке В-2.

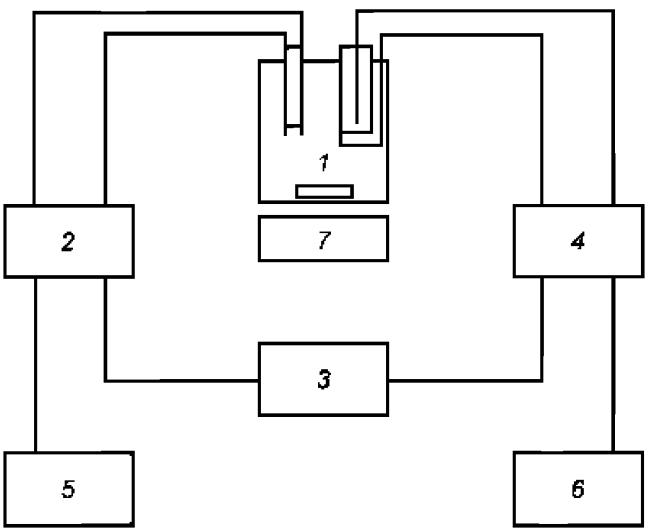


Рисунок В-1. Блок-схема автоматического титратора-генератора в сборе (комбинированной электролитической ячейки) *е*, состоящего из стеклянной трубки, закрытой с нижнего конца диафрагмой и оснащенной платиновыми электродами по обе стороны диафрагмы.

1 - сосуд для титрования в сборе; *2* - схема детектора; *3* - схема регулирования силы тока; *4* - схема питания (электролиз); *5* - дисплей, отображающий конечную точку титрования; *6* - интегратор тока; *7* - электромагнитная мешалка.

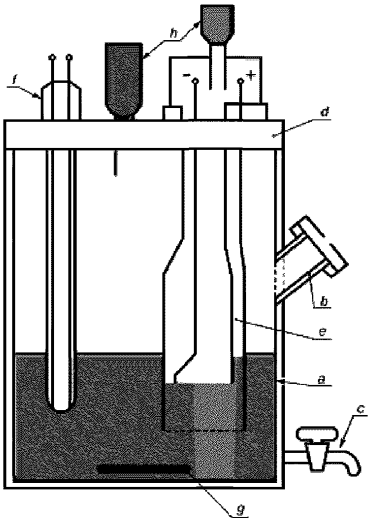


Рисунок В-2. Подходящий сосуд для титрования в сборе.

a - сосуд для титрования (анодное отделение); *b* - ответвление для ввода пробы; *c* - сливной кран; *d* - политетрафторэтиленовая крышка; *e* - генератор в сборе (катодное отделение); *f* - двойной платиновый электрод для измерения потенциала; *g* - магнитная мешалка с политетрафторэтиленовым покрытием; *h* - осушающие трубки.

Примечания:

1. Некоторые приборы имеют встроенные вычислительные устройства и выводят на дисплей концентрацию воды для конкретного количества пробы.

2. Для предотвращения диффузии обоих растворов можно использовать диафрагму из ионообменной мембраны, пористого диска, керамического фильтра или другого материала, обеспечивающего достаточную проводимость тока для электролиза.

В.1.10. В автоматических титраторах Карла Фишера имеются следующие основные функциональные элементы:

- схема обнаружения, где прямой ток постоянного напряжения или переменный ток постоянной силы подают на электроды детектора (двойной платиновый измерительный электрод) так, чтобы можно было обнаружить конечную точку по изменению поляризации тока или напряжения;

- схема регулятора силы тока, которая контролирует электролиз по сигналу от детектора цепи;

- источник постоянного тока для электролиза;

- индикатор конечной точки, показывающий достижение конечной точки титрования;

- интегратор тока, измеряющий количество электричества, потребляемого электролитической ячейкой во время титрования, затем рассчитывает и выводит на дисплей количество воды (мкг), соответствующее этому количеству электричества;

- электромагнитная мешалка, поддерживающая постоянную скорость, достаточную для обеспечения требуемого диспергирования (содержимое сосуда для титрования обычно расслаивается, поскольку большинство

изоляционных жидкостей не полностью смешивается с жидкими реактивами).

В.1.11. На рынке химических препаратов имеются в продаже готовые реактивы для титрования по Карлу Фишеру. При приобретении реактивов необходимо убедиться, что приобретаемый реактив подходит к конкретному типу используемого прибора и испытуемой изоляционной жидкости. Следует учитывать, что реактивы на основе метанола могут взаимодействовать с изоляционными жидкостями на основе кремнийорганических соединений, что затрудняет проведение испытания. Аналогичные реакции могут происходить с альдегидами, некоторыми кетонами и сопряженными ненасыщенными органическими кислотами, которые могут присутствовать в продуктах разложения масел или примесях. В этих случаях необходимо использовать реактивы, не содержащие метанол.

ВНИМАНИЕ! Некоторые реактивы Карла Фишера могут быть опасны для здоровья и требуют тщательного соблюдения требований охраны труда, хранения и утилизации.

В.1.12. Вспомогательные материалы, необходимые для обеспечения функционирования автоматического титратора Карла Фишера:

- нейтрализующий раствор - метанол, содержащий примерно 20 мг воды в 1 $см^3$;
- осушитель - например, безводный перхлорат магния или силикагель с индикатором;
- консистентная смазка на основе политетрафторэтилена или фторированных углеводородов;
- стеклянные шприцы для дозирования и ввода пробы.

В.1.13. Подготовка, сборка, введение реактивов и выполнение процедуры стабилизации должны выполняться в соответствии с руководством по эксплуатации и инструкциями изготовителя автоматического титратора Карла Фишера.

В.1.14. Определение влагосодержания целлюлозной изоляции, пропитанной трансформаторным маслом, (далее - целлюлозная изоляция) осуществляют тремя основными методами:

- в первом методе воду сначала экстрагируют метанолом, а затем проводят ее определение в метанольном экстракте;
- во втором методе экстрагирование воды проводят непосредственно в сосуде для титрования (см. примечание).

Примечание: данный метод применяют только для целлюлозной изоляции толщиной не более 1 мм, поскольку из образца материала, пропитанного маслом, большей толщины невозможно осуществить полное экстрагирование в течение обычной продолжительности испытания.

- в третьем методе образец целлюлозной изоляции нагревают в сушильной печи, находящейся рядом с прибором Карла Фишера; образующийся водяной пар количественно переносят в сосуд для титрования струей сухого газообразного азота и выполняют определение выделившейся влаги.

В.2. Определение влагосодержания после предварительного экстрагирования воды метанолом

В.2.1. Реактивы и вспомогательные материалы, требуемые дополнительно к перечисленным в п. В.1.11 и В.1.12:

а) метанол квалификации ч.д.а. с содержанием воды не более 0,05%;

б) подходящий растворитель, не содержащий хлора, технической чистоты;

в) магниевая стружка.

ВНИМАНИЕ! Некоторые реактивы Карла Фишера могут быть опасны для здоровья и требуют тщательного соблюдения требований охраны труда, хранения и утилизации.

В.2.2. Аппаратура

а) Кулонометрический титратор Карла Фишера.

б) Аппарат для перегонки метанола.

в) Контейнер для метанола и трубка для экстрагирования. Контейнер сушат. Дистиллированный метанол должен быть защищен от атмосферной влаги осушающей трубкой. Нижняя часть контейнера должна быть оснащена сливным краном и шаровым шарнирным соединением для присоединения трубки для экстрагирования (рисунок В-3).

г) Градуированные газонепроницаемые трубки вместимостью примерно 50 $см^3$.

д) Металлические щипцы.

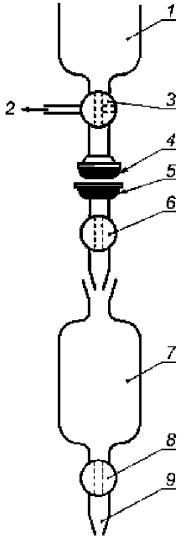


Рисунок В-3 – Контейнер для метанола и трубка для экстрагирования:

1 - нижняя часть контейнера для метанола; 2 - к вакуумному насосу; 3 - трёхходовой кран;

4 - шаровое шарнирное соединение с шлифом КН 19/9 (шарик); 5 - шаровое шарнирное соединение с шлифом КН 19/9 (чашка); 6 - верхний кран; 7 - трубка для экстрагирования вместимостью 125 $см^3$; 8 - нижний кран; 9 - коническое соединение с

шлифом 14/23.

В.2.3. Подготовка оборудования

а) Стеклянное оборудование и металлические щипцы тщательно моют после предыдущих испытаний подходящим моющим раствором, мыльной водой или растворителем, не содержащим хлор, ополаскивают теплой водой, затем деионизированной водой, затем метанолом. После промывания оборудование сушат в сушильном шкафу при температуре (115±5)°С в течение 12 часов, затем охлаждают в эксикаторе до температуры окружающей среды.

б) Настраивают автоматический титратор Карла Фишера в соответствии с руководством по эксплуатации и инструкциями производителя.

В.2.4. Проведение испытаний

а) Перегоняют метанол над магниевой стружкой для снижения содержания воды до не более 200 мг/кг. Собирают дистиллированный метанол в соответствующий сухой контейнер, защищенный от атмосферной влаги осушающей трубкой, заполненной перхлоратом магния.

б) Настраивают автоматический титратор Карла Фишера в соответствии с руководством по эксплуатации и инструкциями производителя.

в) Определяют содержание воды в метаноле и записывают полученное значение.

г) Помещают в трубку для экстрагирования образец пропитанной маслом целлюлозной изоляции.

Примечания:

1. Выбирают такую массу образца, чтобы масса определяемой воды была в пределах от 1 до 4 мг.

2. Рекомендуется разрезать образец целлюлозной изоляции, если он слишком толстый для улучшения экстрагирования, избегая изменения содержания в нем влаги во время разрезания за счет паров воды в атмосфере.

д) Присоединяют экстракционную трубку к контейнеру с сухим метанолом, открывают верхний кран, соединяют с вакуумной линией на очень короткое время и, используя подходящую бюретку, вводят от 1 до 10 $см^3$ метанола. Перекрывают верхний кран и отсоединяют трубку.

е) Повторяют процедуру по п. д) с другой экстракционной трубкой, не содержащей образец целлюлозной изоляции. Данный опыт используют в качестве «холостого».

ж) Встряхивают трубки с пробой и без пробы в течение 2 ч.

з) Включают автоматический титратор Карла Фишера в соответствии с руководством по эксплуатации.

и) Присоединяют трубку с образцом целлюлозной изоляции к сосуду для титрования, переносят метанол в растворитель и титруют до конечной точки. Фиксируют массу оттитрованной воды m_2 по показаниям на дисплее титратора.

к) Повторяют процедуру по перечислению с трубкой без образца (холостой опыт), записывают показание на дисплее титратора m_1.

л) Извлекают целлюлозную изоляцию из трубки, обезжиривают растворителем, не содержащим хлора, и сушат при температуре (110±5)°С не

менее 2 ч. Охлаждают образец целлюлозной изоляции в эксикаторе, затем взвешивают. Записывают массу целлюлозной изоляции M в граммах.

м) Выполняют параллельное определение.

В.2.5. Вычисления

Для каждого отдельного определения вычисляют содержание воды, % масс., по формуле:

$$\text{Содержание воды} = \left(\frac{m_2 - m_1}{M}\right) 10^{-4}, \qquad \text{(В.4)}$$

где m_2 - масса воды, измеренная при титровании экстракта образца целлюлозной изоляции, мкг;

m_1 - масса воды, измеренная в холостом опыте, мкг;

M - масса образца целлюлозного материала, г.

В.2.6. Протокол испытаний

За содержание воды в образце целлюлозной изоляции принимают среднеарифметическое значение результатов повторных определений с точностью до 0,01%. Также необходимо указать содержание воды в использованном метаноле.

В.3. Определение влагосодержания прямым титрованием

В.3.1. Реактивы и вспомогательные материалы

В дополнение к реактивам и материалам, перечисленным в пп. В.1.11 и В.1.12, требуется подходящий растворитель, не содержащий хлора, для обезжиривания образца.

В.3.2. Аппаратура

а) Кулонометрический автоматический титратор Карла Фишера.

б) Металлические щипцы.

В.3.3. Проведение испытаний

а) Настраивают кулонометрический автоматический титратор Карла Фишера в соответствии с руководством по эксплуатации и инструкциями производителя.

б) По возможности быстро вводят образец целлюлозной изоляции с помощью просушенных металлических щипцов в сосуд для титрования.

в) Отключают титратор, останавливают титрование на 15-25 мин. (точное время определяет оператор) для перехода влаги из целлюлозной изоляции в растворитель. В конце экстрагирования включают титратор и титруют до конечной точки.

г) Фиксируют количество оттитрованной воды m_2 по показанию на дисплее прибора Карла Фишера.

д) Выполняют холостой опыт такой же продолжительности для оценки количества влаги, попадающей в систему при испытании. Записывают показание массы воды m_1.

е) Некоторые конструкции титратора позволяют непрерывно отслеживать дрейф и автоматически вычитать его из показания содержания воды. В таком случае выполнение холостого опыта не обязательно, однако

необходимо следить за стабильностью рабочих условий при титровании.

Примечание. Важно сократить до минимума продолжительность испытания, которую оператор определяет на основе собственного опыта и типа исследуемой пробы. При необходимости оптимальную продолжительность можно определить при повторном выполнении процедуры, используя более длительное время экстрагирования, до получения постоянных результатов. Для получения воспроизводимых результатов серии испытаний рекомендуется использовать одинаковое время экстрагирования для всей серии.

ж) Извлекают целлюлозную изоляцию из сосуда для титрования, обезжиривают растворителем и сушат при температуре (110±5)°С не менее 2 ч. Охлаждают целлюлозную изоляцию в эксикаторе, затем взвешивают. Записывают массу материала М в граммах.

з) Выполняют повторное определение.

В.3.4. Вычисления

Для каждого отдельного определения вычисляют содержание воды, % масс., по формуле (В.4), в которой m_2 - масса воды, измеренная при титровании образца целлюлозной изоляции, мкг.

В.3.5. Протокол испытаний

За содержание воды в образце целлюлозной изоляции принимают среднеарифметическое значение результатов повторных измерений с точностью до 0,01%. Также необходимо указать содержание воды в холостом опыте.

В.4. Определение влагосодержания методом выделения воды

Сущность метода заключается в том, что известное количество целлюлозной изоляции нагревают в закрытом сосуде, расположенном рядом с прибором Карла Фишера. Выделенную воду количественно переносят в сосуд для титрования струей сухого газообразного азота и выполняют кулонометрическое титрование.

В.4.1. Приборы

а) Блок-схема аппарата, приведенного на рисунке В-4, включает:

- титратор: автоматический кулонометрический титратор Карла Фишера;
- испаритель: стеклянный сосуд вместимостью 100 $см^3$ с входной трубкой для подачи азота внутренним диаметром 1,25 мм (рисунок В-4 поз. 5);
- нагреватель: чистый, прозрачный электропроводный стеклянный нагреватель;
- автоматический регулятор температуры, обеспечивающий поддержание температуры с точностью ±2°С;
- газ-носитель: газообразный азот технической чистоты с содержанием воды не более 10 мкл/$дм^3$;
- осушители для газа-носителя: одна колонка с силикагелем и две колонки с пентоксидом фосфора;
- реактивы.

Примечание. Если присутствуют мешающие соединения, используют подходящие

реактивы для титратора, что особенно важно для прямого ввода пробы.

б) Испаритель в форме лодочки для выделения воды из твердого материала (целлюлозной изоляции) газом.

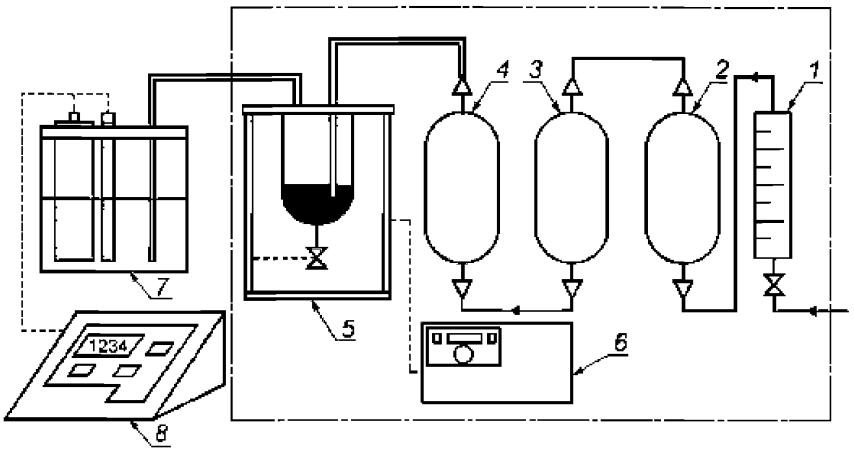


Рисунок В-4. Блок-схема автоматического титратора и блока для выпаривания.

1 - расходомер; *2* - осушающая трубка с силикагелем; *3, 4* - осушающие трубки с пентоксидом фтора; *5* - стеклянный сосуд испарителя с нагревателем; 6 - регулятор температуры; *7* - камера для титрования; *8* - блок управления.

В.4.2. Проведение испытаний

а) Настраивают титратор Карла Фишера в соответствии с руководством по эксплуатации.

б) Нагревают испаритель до соответствующей температуры (130°С - для бумаги или картона, пропитанных маслом с низким значением вязкости, 140°С - для бумаги или картона, пропитанных маслами или соединениями с высоким значением вязкости).

в) Регулируют поток газа-носителя для обеспечения постоянной скорости от 50 до 100 $см^3$/мин. Вводят конец выходной трубки для подачи газа-носителя в сосуд для титрования и дают системе стабилизироваться, о чем свидетельствует низкое и стабильное значение показаний фонового тока (дрейф).

г) Быстро вводят образец целлюлозной изоляции из колбы для хранения в сосуд испарителя. Для целлюлозной изоляции с низким содержанием влаги достаточна масса образца приблизительно 0,5 г.

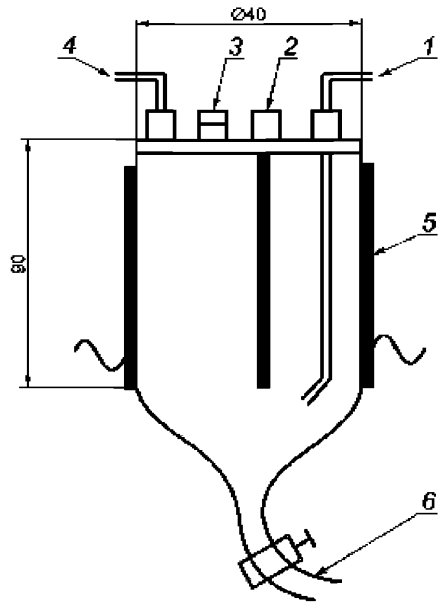


Рисунок В-5 – Стеклянный сосуд испарителя с нагревателем

1 - входная трубка для подачи азота; *2* - термопара; *3* - закрытый мембраной вход для ввода пробы; *4* - выходная трубка для подачи выпаренной воды в токе азота; *5* - нагреватель; *6* - сливной кран.

д) Отключают титратор, останавливают титрование на 20 мин для поглощения влаги, выделенной в испарителе, в сосуде для титрования. Затем включают титратор и титруют до конечной точки. Считывают количество оттитрованной воды m_2 с дисплея прибора Карла Фишера.

Примечание. Время выделения зависит от характеристик пробы и параметров системы. Подходящим в основном считается время 20 мин, но оптимальные рабочие условия определяет оператор. Для получения воспроизводимых результатов серии испытаний используют один и тот же период выделения для всей серии.

е) Выполняют холостой опыт такой же продолжительности, чтобы оценить количество влаги, попадающей в систему в процессе испытания. Записывают показание массы воды m_1 .

ж) Некоторые конструкции титратора позволяют непрерывно отслеживать дрейф и автоматически вычитать его из показания воды. В таком случае выполнение холостого опыта не обязательно, но необходимо следить за стабильностью рабочих условий при титровании.

з) Извлекают целлюлозную изоляцию из испарителя, промывают растворителем и сушат при температуре (110±5)°С не менее 2 ч. Охлаждают целлюлозную изоляцию в эксикаторе, затем взвешивают. Записывают массу материала М в граммах.

и) Выполняют повторное определение.

В.4.3. Вычисления

Для каждого отдельного определения вычисляют содержание воды, % масс., по формуле (В.4), в которой:

m_2 - масса воды, поглощенной в сосуде для титрования из образца, мкг;

m_1 - масса воды, измеренная в холостом опыте, мкг;

M - масса целлюлозного материала, г.

В.4.4. Протокол испытаний

За содержание воды в образце целлюлозной изоляции принимают среднеарифметическое значение результатов повторных определений с точностью до 0,01%. Также необходимо указать содержание воды в холостом опыте.

Примечания к приложению В:

1. Настоящее Приложение составлено по материалам ГОСТ Р МЭК 60814-2013.

2. Ввод в эксплуатацию, техническое обслуживание и проведение анализов с помощью автоматических титрометров Карла Фишера должны осуществляться в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации и/или инструкцией производителя.

gost.e-ecolog.ru