

«УТВЕРЖДАЮ»

---

« » 20 г.

**МЕТОДИКА**  
**по проведению испытаний трансформаторного масла**

Содержание	стр.
1. Область применения.....	3
2. Объект испытания.....	4
3. Определяемые характеристики.....	6
3.1. Контроль качества трансформаторных масел при приёме и хранении.....	6
3.2. Контроль трансформаторного масла после транспортирования.....	6
3.3. Контроль трансформаторного масла, слитого в резервуары.....	6
3.4. Контроль трансформаторного масла, находящегося на хранении.....	7
3.5. Расширение объёма контроля.....	8
4. Контроль качества трансформаторных масел при их заливке в электрооборудование...8	
4.1. Требование к свежему трансформаторному маслу.....	8
4.2. Требования к регенерированным или очищенным маслам.....	8
5. Контроль качества масел при их эксплуатации в электрооборудовании.....	9
5.1. Объём и периодичность испытаний.....	9
5.2. Требования к трансформаторным маслам, доливаемым в электрооборудование.....	13
6. Условия испытаний и измерений.....	13
7. Средства измерений.....	13
8. Описание испытательной установки.....	15
9. Порядок проведения испытаний и измерений.....	15
10. Обработка данных, полученных при испытаниях.....	16
11. Меры безопасности при проведении испытаний и охрана окружающей среды.....	16
Форма протокола.....	18

## 1. Область применения.

Настоящий документ разработан для электротехнического персонала электролабораторий, проводящего работы по испытанию трансформаторного масла. Рекомендации настоящей методики распространяются на работы по испытанию трансформаторных масел любого вида, предназначенного для электрооборудования всех классов напряжений.

Подготовка трансформаторного масла является наиболее сложной и трудоёмкой операцией всего процесса монтажа маслonaполненного оборудования.

В трансформаторах мощностью несколько киловольт-ампер для отвода тепла от обмоток и магнитопровода достаточна поверхность активной части. По мере увеличения мощности трансформатора потери энергии в нём возрастают приблизительно пропорционально его массе или кубу линейных размеров. Следовательно, потери в трансформаторе возрастают значительно быстрее, чем увеличивается конструктивно получающаяся поверхность охлаждения.

Начиная с некоторой величины мощности эта поверхность оказывается недостаточной для обеспечения постоянной оптимальной температуры при работе трансформатора.

Эффективным средством отвода тепла является трансформаторное масло. Согласно существующим нормам допускается превышение температуры верхних слоёв масла над температурой окружающей среды на  $60^{\circ}\text{C}$ . Средний перегрев масла составляет примерно  $45^{\circ}\text{C}$ .

Для увеличения поверхности теплоотдачи, баки трансформаторов делают волнистыми или снабжают специальными трубчатыми радиаторами.

Во время работы трансформатора его изоляция подвергается длительному воздействию электрического поля и высокой температуры. Электрическая прочность всей изоляции определяется электрической прочностью наиболее нагруженного масляного канала; наиболее нагруженным является канал, прилегающий к обмоткам, в нём имеет место увеличение напряжённости поля у углов провода, реек прокладок и в других местах.

Из вышеизложенного следует, что трансформаторное масло служит одновременно электроизоляционным материалом и теплоотводящей средой. В соответствии с назначением, а также для длительной и безопасной работы маслonaполненного оборудования трансформаторное масло должно обладать следующими качествами:

- Быть хорошим диэлектриком, т.е. иметь высокое значение пробивного напряжения и низкое и стабильное значение тангенса угла диэлектрических потерь;
- Иметь достаточную подвижность и хорошую теплопроводность, небольшую величину кислотного числа, высокую температуру вспышки, низкую температуру застывания, способность в условиях эксплуатации длительное время сохранять свои первоначальные свойства (стабильность).

Старение трансформаторного масла в первую очередь проявляется как окисление его кислородом воздуха, что влечёт увеличение кислотного числа, появление кислой реакции водной вытяжки и на последней стадии выпадение осадка.

Трансформаторное масло изготавливается из нефти. Химический состав сырья и способ изготовления масла определяет его химический состав и эксплуатационные свойства. Кроме нефтяных трансформаторных масел возможно изготовление синтетических жидких диэлектриков на основе хлорированных углеводородов и кремний органических жидкостей.

Трансформаторное масло изготавливается из фракций нефти, которые выкипают при  $300-400^{\circ}\text{C}$  при атмосферном давлении, для получения осуществляют перегонку нефти под вакуумом, в результате чего происходит деление на фракции (одна из фракций – мазут). Трансформаторное масло состоит из нафтеновых, парафиновых и ароматических углеводородов. Кроме того, масло содержит небольшое количество серы, кислорода, азота, органических кислот и их солей. Содержание углерода в нефти колеблется от 82 до 87%,

водорода от 11 до 14%, содержание азота и кислорода обычно не превышает десятых долей процента. Для удаления смол, серы и других вредных примесей дистиллят сначала обрабатывают крепкой серной кислотой, затем нейтрализуют щёлочью, промывают водой и просушивают горячим воздухом. После дальнейшей очистки получается привычное трансформаторное масло.

Наибольшей химической стабильностью обладают ароматические углеводороды, которые придают маслу его свойство. Однако тяжёлая ароматика ухудшает диэлектрические свойства трансформаторного масла (повышает  $\text{tg}\delta$ ), увеличивает его гигроскопичность и в процессе эксплуатации вызывает старение масла и выпадение обильных осадков.

Парафины являются хорошими диэлектриками и характеризуются малой химической активностью, но если в нефти содержится более 1,5% парафина, то для получения трансформаторного масла с достаточно низкой температурой застывания парафины приходится удалять (депарафинизация). Чтобы придать маслу необходимые эксплуатационные свойства, при изготовлении его из масляных дистиллятов удаляют непредельные углеводороды, азотистые соединения, тяжёлую ароматику, твёрдые парафины и ряд смолистых и сернистых соединений.

## 2. Объект испытания.

Одним из основных показателей, характеризующих изоляционные свойства трансформаторных масел в практике их применения, является их электрическая прочность:  $E = U_{\text{пр}}/h$ , где  $U_{\text{пр}}$  — пробивное напряжение;  $h$  — расстояние между электродами.

Электрическая прочность тщательно очищенного масла значительно превосходит электрическую прочность газов и приближается к прочности твёрдых диэлектриков. В однородном электрическом поле при разрядном напряжении между электродами вначале возникают отдельные самоугасающие искры. При дальнейшем повышении напряжения возникновение искр учащается и, наконец, наступает устойчивый пробой при достаточной мощности источника в виде дуги.

Пробивное напряжение прямо не связано с удельной проводимостью, но, так же, как и она, весьма чувствительно к присутствию примесей. При малейшем изменении влажности жидкого диэлектрика и наличии в нем примесей (так же, как и для проводимости) резко уменьшается электрическая прочность. Изменения давления, формы и материала электродов и расстояния между ними влияют на электрическую прочность. В то же время эти факторы на электропроводность жидкости не оказывают влияния.

Если приложенное к диэлектрику напряжение постепенно повышать, то при достижении определённой величины сопротивление диэлектрика сразу упадёт до нуля. Это критическое напряжение, при котором диэлектрик становится проводником, определяет электрическую прочность масла (кВ/см). Напряжение, при котором происходит пробой масла в стандартном разряднике, называется пробивным напряжением (кВ). Чистое сухое трансформаторное масло независимо от его химического состава имеет достаточно высокое пробивное напряжение (более 60кВ).

Повышение прочности с повышением температуры от 0 до 70°C связывают с удалением из масла влаги, переходом ее из эмульсионного состояния в растворенное и уменьшением вязкости масла.

Растворенные газы играют большую роль в процессе пробоя. Еще при напряженности электрического поля, более низкой, чем пробивная, отмечается образование на электродах пузырьков. С понижением давления для недегазированного масла прочность его падает. Пробивное напряжение не зависит от давления в случаях:

- а) тщательно дегазированных жидкостей;
- б) ударных напряжений (каковы бы ни были загрязнение и газосодержание жидкости);
- в) больших давлений [около 10 МПа (80—100 атм.)].

Об изучении зависимости пробивного напряжения масла от содержания в нем воды описано во многих работах. Эта зависимость количественно существенно различается у

разных авторов. Было показано, что пробивное напряжение масла определяется не общим содержанием воды, а концентрацией ее в эмульсионном состоянии.

Влага может находиться в масле в трёх состояниях: с растворённым виде, в виде эмульсии (под микроскопом в масле видны шарики диаметром 2-10 мкм) и в виде отстоя на дне резервуара.

Молекулярно растворённая вода мало влияет на электрическую прочность трансформаторного масла. Вместе с тем даже малые доли процента эмульсионной воды значительно снижает его электрическую прочность. Это объясняется тем, что под действием электрического поля шарики эмульсионной воды поляризуются и вытягиваются вдоль силовых линий, образуя проводящий мостик, по которому и происходит разряд при значительно более низких напряжениях.

Образование эмульсионной воды и снижение электрической прочности имеют место в масле, содержащем растворённую воду, при резком снижении температуры или относительной влажности воздуха, а также при перемешивании масла за счет десорбции воды, адсорбированной на поверхности сосуда.

При замене стекла в сосуде полиэтиленом снижается количество эмульсионной воды, десорбированной при перемешивании масла с поверхности, и соответственно повышается прочность его. Масло, осторожно слитое из стеклянного сосуда (без перемешивания), обладает высокой электрической прочностью. В этой же работе описано влияние на прочность масла концентрации и состояния я нем кислот, спиртов, мыл и других продуктов его старения.

Качественная оценка полученных данных представлена в таблице №1.

Из этих данных следует, что полярные вещества низко- и высококипящие, образуя в масле истинные растворы, практически не оказывают влияния на удельную проводимость и электрическую прочность; вещества, образующие в масле коллоидные растворы или эмульсии с очень малым размером капель (являющиеся причиной электрофоретической электропроводности), если они имеют низкую температуру кипения, снижают, а в случае если их температура кипения высока, практически не влияют на прочность.

Несмотря на огромный экспериментальный материал, следует констатировать, что до сих пор нет единой общепризнанной теории пробоя жидких диэлектриков применительно даже к условиям длительной экспозиции напряжения.

Пробой в жидких диэлектриках, загрязненных примесями при длительной экспозиции напряжения, представляет собой по существу завуалированный газовый пробой.

Особенно резкое уменьшение разрядных напряжений происходит при наличии в масле гигроскопических загрязнений – волокон бумаги, картона, пряжи, значительно облегчающих образование проводящих мостиков (как в случае с эмульсионной водой).

Имеются три группы теорий: 1) тепловые, объясняющие образование газового канала как результат кипения самого диэлектрика в местах локальной повышенной неоднородности поля (пузырьки воздуха и пр.) или действия теплоты, выделяющейся от трения дрейфующих в поле ионов; 2) газовые, по которым источником пробоя являются пузыри газа, адсорбированные на электродах или растворенные в масле; 3) химические, объясняющие пробой как результат химических реакций, протекающих в диэлектрике под действием электрического разряда в пузыре газа. Общим в этих теориях является то, что пробой масла происходит в паровом канале, образованном за счет испарения самого жидкого диэлектрика.

Выдвинута гипотеза, согласно которой паровой канал образуют низкокипящие примеси, в случае если они вызывают повышенную проводимость.

Под воздействием электрического поля примеси, содержащиеся в масле и образующие в нем коллоидный раствор или микроэмульсию, втягиваются в зону между электродами и дрейфуют в теплопроводности диэлектрика, расходуется на нагрев самих частиц примеси. Если эти примеси являются причиной высокой удельной проводимости масла, то при низкой температуре кипения примесей они испаряются, образуя при достаточном содержании их «газовый канал», в котором и происходит пробой.

Таблица №1. Влияние некоторых продуктов на проводимость и электрическую прочность масла.

Исходный продукт	Состояние продукта в масле	Удельная электрическая прочность	Электрическая проводимость
Низкокипящие (вода, уксусная кислота, метиловый и этиловый спирты и др.) В малой концентрации В большой концентрации	Истинный раствор	Не влияют	Не влияют
	Эмульсия, невидимая невооруженным глазом	Повышают	Снижают
Высококипящие (олеиновая, пальмитиновая, стеариновая и другие кислоты, высшие спирты)	Истинный раствор	Не влияют	Не влияют
Высококипящие (мыла, смолы, нейтральные асфальтогеновые кислоты, растворимый осадок и др.)	Коллоидный раствор	Повышают	То же

Центрами парообразования могут служить пузыри газа или пара, образующиеся под воздействием поля (в результате явления электрострикции) за счет растворенных в масле примесей (воздух и другие газы, а также возможно, низкокипящие продукты окисления жидкого диэлектрика).

Пробивное напряжение масел зависит от наличия в них связанной воды. В процессе вакуумной сушки масла наблюдаются три этапа: I — резкого повышения пробивного напряжения, соответствующий удалению эмульсионной воды, II — в котором мало изменяется пробивное напряжение и остается на уровне около 60 кВ в стандартном пробойнике, в это время удаляется растворенная и слабо связанная вода, и III — медленного повышения пробивного напряжения масла за счет удаления связанной воды.

Поскольку для формирования разряда в масле требуется значительное время, разрядное напряжение промежутков в масле зависит от скорости подъема напряжения: чем быстрее растёт напряжение, тем при большем его значении произойдет пробой. В связи с этим скорость подъема переменного напряжения во время испытаний регламентирована в пределах 1-2кВ в секунду на всём протяжении испытания (до пробоя).

### 3. Определяемые характеристики.

#### 3.1. Контроль качества трансформаторных масел при приёме и хранении.

Поступающая на предприятие партия масла должна быть подвергнута лабораторным испытаниям.

Нормативные значения показателей качества для свежего масла в зависимости от его марки приводятся в таблице 2. Таблица составлена на основании требований действующих ГОСТ и ТУ к качеству свежих масел на момент разработки настоящей методики.

#### 3.2. Контроль трансформаторного масла после транспортирования.

Из транспортной ёмкости отбирается проба масла в соответствии с требованиями ГОСТ 2517-85. Проба трансформаторного масла подвергается лабораторным испытаниям по показателям качества 2, 3, 4, 11, 12, 14, 18 из таблицы 2.

Показатели качества 2, 3, 4, 14, 18 определяются до слива масла из транспортной ёмкости, а 11 и 12 можно определять после слива масла.

Показатель 6 должен дополнительно определяться только для специальных арктических масел.

#### 3.3. Контроль трансформаторного масла, слитого в резервуары.

Трансформаторное масло, слитое в резервуары маслохозяйства, подвергается лабораторным испытаниям по показателям качества 2, 3, 4, 18 из таблицы 2 сразу после его приёма из транспортной ёмкости.

### 3.4. Контроль трансформаторного масла, находящегося на хранении.

Находящееся на хранении масло испытывается по показателям качества 2, 3, 4, 5, 11, 12, 14, 18 из таблицы 2 с периодичностью не реже 1 раза в 4 года.

Таблица №2. Показатели качества свежих трансформаторных масел.

Показатель	Марки масел в номера нормативных документов										Номер стандарта на метод испытаний
	ГК ТУ 38.101 1025-85	ВГ ТУ 38.401 978-93	Т1500 ГОСТ 982-80	Т1500 У ТУ 38.401 58107-94	ТКн ТУ 38.401 5849-92	ТСн ТУ 38.401 830-90	ТСн ГОСТ 10121-76	СА ТУ 38.401 1033-95	АГК ТУ 38.101 1271-89	МВТ ТУ 38.401 927-92	
1. Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с не более при: 50°С -30°С	9 1200	9 1200	8 1600	11 1300	9 1500	9 1300	9 1300	8,5 1200	5 800	3,5 150	ГОСТ 33-82
2. Кислотное число, мг КОН на 1 г масла не более	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	ГОСТ 5985-79
3. Температура вспышки в закрытом тигле, °С не ниже	135	135	135	135	135	135	150	140	125	95	ГОСТ 6356-75
4. Содержание водорастворимых кислот и щелочей	-	-	нет	нет	нет	нет	нет	-	-	нет	ГОСТ 6307-75
5. Содержание механических примесей	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	ГОСТ 6370-83
6. Температура застывания, °С, не выше	-45	-45	-45	-35	-45	-45	-45	-45	-60	-65	ГОСТ 20287-9
7. Зольность, %, не более	-	-	-	-	-	0,005	0,005	-	-	-	ГОСТ 1461-75
8. Натровая проба, оптическая плотность, баллы, не более	-	-	0,4	-	0,4	0,4	-	-	-	-	ГОСТ 19296-73

Показатель	Марки масел и номера нормативных документов										Номер стандарта на метод испытаний
	ГК ТУ 38.101 1025-85	ВГ ТУ 38.401 978-93	Т1500 ГОСТ 982-80	Т1500 У ТУ 38.401 38107-94	ТЮн ТУ 38.401 5849-92	ТСн ТУ 38.401 830-90	ТСн ГОСТ 10121-76	СА ТУ 38.401 1033-95	АГК ТУ 38.101 1271-89	МВТ ТУ 38.401 927-92	
9. Прозрачность при 5°C	-	-	прозрачно	-	-	прозрачно	прозрачно	-	-	-	ГОСТ 982-80
10. Испытание коронного воздействия на пластинки из меди	выдерживает	выдерживает	выдерживает	выдерживает	выдерживает	-	-	выдерживает	выдерживает	выдерживает	ГОСТ 2917-76
11. Тангенс угла диэлектрических потерь, % не более	0,5	0,5	0,5	0,5	2,2	1,7	1,7	0,5	0,5	0,5	ГОСТ 6581-75
12. Стабильность против окисления: -масса петрич кислот на 1 г масла, не более -содержание осадка % массы, не более -кислотное число окисленного масла, мг КОН на 1 г масла, не более	0,04 0,015 0,1	0,04 0,015 0,1	0,05 отсутствует 0,2	0,05 отсутствует 0,2	0,008 0,01 0,01	0,05 отсутствует 0,1	0,05 отсутствует 0,1	0,15 0,015 0,15	0,04 отсутствует 0,1	0,04 отсутствует 0,1	ГОСТ 981-75
13. Стабильность против окисления, ч	150	120	-	-	-	-	-	120	150	150	МЭК 1125-92
14. Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup> , не более	895	895	885	885	900	895	895	895	895	-	ГОСТ 3900-85
15. Цвет, единицы ЦНТ, не более	1	1	1,5	1,5	-	1	1	1	1	-	ГОСТ 20284-74
16. Содержание серы, %, не более	-	-	-	0,3	-	0,6	0,6	0,3	-	-	ГОСТ 19121-73
17. Содержание ионола (АГИДОЛ-1), %, не менее	0,25	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	РД 34.43.105-89
18. Внешний вид	Чистое, прозрачное, свободное от видимых загрязнений, воды, частиц, волокон										

### 3.5. Расширение объёма контроля.

Показатели качества масла из таблицы №2, не указанные в пунктах, определяются в случае необходимости, по решению технического руководителя предприятия.

## 4. Контроль качества трансформаторных масел при их заливке в электрооборудование.

### 4.1. Требование к свежему трансформаторному маслу.

Свежие трансформаторные масла, подготовленные к заливке в новое электрооборудование, должны удовлетворять требованиям таблицы №3.

### 4.2. Требования к регенерированным или очищенным маслам.

Регенерированные или (и) очищенные масла, а также их смеси со свежими маслами, подготовленные к заливке в электрооборудование после его ремонта, должны удовлетворять требованиям таблицы №4.

## 5. Контроль качества масел при их эксплуатации в электрооборудовании.

### 5.1. Объём и периодичность испытаний.

Объём и периодичность проведения испытаний масла соотносятся с требованиями испытаний конкретного оборудования, нормативные значения показателей качества приведены в таблице №5.

На основании полученных результатов лабораторных испытаний определяют две области его эксплуатации:

- Область «нормального состояния масла» (интервал от предельно допустимых значений после заливки масла в электрооборудование, приведённых в таблице 3, столбец 4, и до значений, ограничивающих область нормального состояния масла в эксплуатации, приведённых в таблице 5, столбец 3), когда состояние качества масла гарантирует надёжную работу электрооборудования и при этом достаточно минимально необходимого контроля показателей 1-3 из таблицы 5 (сокращенный анализ).

- Область «риска» (интервал от значений, ограничивающих область нормального состояния масла, приведённых в таблице 5, столбец 3, до предельно допустимых значений показателей качества масла в эксплуатации, приведённых в таблице 5, столбец 4), когда ухудшение даже одного показателя качества масла приводит к снижению надёжности работы электрооборудования и требуется более учащённый и расширенный контроль для прогнозирования срока его службы и (или) принятия специальных мер по восстановлению эксплуатационных свойств масла с целью предотвращения его замены и вывода электрооборудования в ремонт.

Таблица №3. Требования к качеству свежих масел, подготовленных к заливке в новое электрооборудование.

Показатель качества масла и номер стандарта на метод испытания	Категория электрооборудования	Предельно допустимое значение показателя качества масла		Примечание
		Предварительного к заливке	После заливки в электрооборудование	
1. Пробное напряжение по ГОСТ 6381-75, кВ не менее	До 15кВ включительно	30	25	
	До 35кВ включительно	35	30	
	От 60 до 150кВ	60	55	
	От 220 до 500кВ	65	60	
	750кВ	70	65	
2. Кислотное число по ГОСТ 5985-79, мг КОН/г, не более	Электрооборудование до 220кВ включительно свыше 220кВ	0,02	0,02	
		0,01	0,01	
3. Температура вспышки в закрытом тигле по ГОСТ 6356-75, °С, не менее	Электрооборудование всех видов и классов напряжений	135	135	При применении арктического масла (АГК) или масла для выключателей (МТВ) значение данного показателя определяется по таблице 2
4. Влагосодержание по ГОСТ 7822-75, % массы не более ГОСТ 1347-84 (качественно)	Трансформаторы с пленочной или азотной защитой, герметичные	0,001(10)	0,001(10)	Допускается определение данного показателя методом Карла Фишера или хроматографическим методом
	Силовые и измерительные трансформаторы без специальных защит масла	0,002(20)	0,0025(25)	
	Электрооборудование, при отсутствии требований изготовителей	отсутствие	отсутствие	

Продолжение таблицы №3.

Показатель качества масла и номер стандарта на метод испытания	Категория электрооборудования	Предельно допустимое значение показателя качества масла		Примечание
		Предварительного к заливке	После заливки в электрооборудование	
5. Содержание механических примесей: ГОСТ 6370-83 %, не более РТМ 34.70.653-83	Электрооборудование до 220кВ включительно Электрооборудование свыше 220кВ до 750кВ	Отсутствие  0,0008 (9)	Отсутствие  0,0010 (10)	
6. Тангенс угла диэлектрических потерь по ГОСТ 6581-75, %, не более	Силовые и измерительные трансформаторы до 220кВ включительно Силовые и измерительные трансформаторы свыше 220кВ, маслонаполненные вводы 110кВ и выше	1,7  0,5	2,0  0,7	Проба масла дополнительной обработке не подвергается
7. Содержание водорастворимых кислот и щелочей по ГОСТ 6307-75	Электрооборудование всех видов и классов напряжения	отсутствие	отсутствие	
8. Температура застывания по ГОСТ 20287-91, °С не выше	Электрооборудование, запитое арктическим маслом	-60	-60	
9. Газосодержание, % не более	Трансформаторы с пленочной защитой, герметичные маслонаполненные вводы	0,1	-(1,0)	
10. Стабильность от окисления по ГОСТ 981-75: кислотное число окисленного масла, мг КОН/г масла, не более содержание осадка, % массы, не более	Силовые и измерительные трансформаторы от 110 до 220 кВ включительно  Силовые и измерительные трансформаторы свыше 220кВ, маслонаполненные вводы 110кВ и выше	0,1  0,01	-  -	Условия процесса: 120°С, 14 ч, 200 мл/мин O <sub>2</sub>

Таблица №4. Требования к качеству регенерированных и очищенных масел.

Показатель качества масла и номер стандарта на метод испытания	Категория электрооборудования	Предельно допустимое значение показателя качества масла		Примечание
		Предварительного к заливке	После заливки в оборудование	
1. Пробивное напряжение по ГОСТ 6581-75, кВ не менее	Электрооборудование:			
	До 15кВ включительно	30	25	
	До 35кВ включительно	35	30	
	От 60 до 150кВ	60	55	
	От 220 до 500кВ	65	60	
750кВ	70	65		

Продолжение таблицы №4

Показатель качества масла и номер стандарта на метод испытания	Категория электрооборудования	Предельно допустимое значение показателя качества масла		Примечание
		Предварительного к заливке	После заливки в оборудовании	
2. Кислотное число по ГОСТ 5985-79, мг КОН/г, не более	Силовые трансформаторы до 220кВ включительно	0,05	0,05	
	Измерительные трансформаторы до 220кВ включительно	0,02	0,02	
	Силовые и измерительные трансформаторы свыше 220кВ до 500кВ	0,02	0,02	
	Силовые и измерительные трансформаторы свыше 500кВ	0,01	0,01	
3. Температура вспышки в закрытом тигле по ГОСТ 6356-75, °С, не менее	Силовые трансформаторы до 220кВ	130	130	При применении арктического масла (АГК) или масла для выключателей (МТВ) значение данного показателя определяется по таблице 2
	Силовые трансформаторы до 750кВ	135	135	
4. Влагосодержание по ГОСТ 7822-75, % массы не более ГОСТ 1547-84 (качественно)	Трансформаторы с пленочной или азотной защитой, герметичные	0,001(10)	0,001(10)	Допускается определение данного показателя методом Карла Фишера или хроматографическим методом
	Силовые и измерительные трансформаторы без специальных защит масла	0,002(20)	0,0025(25)	
	Электрооборудование, при отсутствии требований изготовителей	отсутствие	отсутствие	
5. Содержание механических примесей: ГОСТ 6370-83 %, не более РТУ 34.70.653-83	Электрооборудование до 220кВ включительно	Отсутствие	Отсутствие	
	Электрооборудование свыше 220кВ до 750кВ	0,0008 (9)	0,0010 (10)	
6. Тангенс угла диэлектрических потерь по ГОСТ 6581-75, %, не более	Силовые трансформаторы до 220кВ включительно	5	6	Проба масла дополнительной обработке не подвергается
	Измерительные трансформаторы до 220кВ включительно	1,5	1,7	
	Силовые и измерительные трансформаторы свыше 220кВ до 500кВ	1,5	1,7	
	Силовые и измерительные трансформаторы свыше 500кВ	0,5	0,7	
7. Содержание водорастворимых кислот и щелочей по ГОСТ 6307-75	Электрооборудование всех видов и классов напряжения	отсутствие	отсутствие	
8. Температура застывания по ГОСТ 20287-91, °С не выше	Электрооборудование, запитое арктическим маслом	-60	-60	
9. Газосодержание, % не более	Трансформаторы с пленочной защитой, герметичные маслонаполненные вводы	0,1	-(1,0)	

Продолжение таблицы №4

Показатель качества масла и номер стандарта на метод испытания	Категория электрооборудования	Предельно допустимое значение показателя качества масла		Примечание
		Предварительного к заливке	После заливки в оборудовании	
10. Стабильность от окисления по ГОСТ 981-75: кислотное число окисленного масла, мг КОН/г масла, не более содержание осадка, % массы, не более	Силовые и измерительные трансформаторы свыше 220 кВ	0,2	-	Условия процесса: 130°C, 30 ч, 50 мл/мин O <sub>2</sub>
		отсутствие	-	
11. Содержание серы по ГОСТ 19121-73, %, не более	Электрооборудование: До 220кВ включительно Свыше 220кВ до 500кВ Свыше 500 до 750кВ	0,6	0,6	
		0,35	0,35	
		0,3	0,3	

Таблица №5. Требования к качеству эксплуатационных масел.

Показатель качества масла и номер стандарта на метод испытания	Категория электрооборудования	Предельно допустимое значение показателя качества масла		Примечание
		Предварительного к заливке	После заливки в оборудовании	
1. Пробивное напряжение по ГОСТ 6581-75, кВ не менее	Электрооборудование: До 15кВ включительно	30	25	
	До 35кВ включительно	35	30	
	От 60 до 150кВ	60	55	
	От 220 до 500кВ	65	60	
	750кВ	70	65	
2. Кислотное число по ГОСТ 5983-79, мг КОН/г, не более	Силовые и измерительные трансформаторы, негерметичные маслонаполненные вводы	0,1	0,25	
3. Температура вспышки в закрытом тигле по ГОСТ 6356-75, °С, не менее	Силовые и измерительные трансформаторы, негерметичные вводы	Снижение более чем на 5°C в сравнении с предыдущим анализом	125	
4. Влаго содержание по ГОСТ 7822-75, % массы не более ГОСТ 1547-84 (качественно)	Трансформаторы с пленочной или азотной защитой, герметичные	0,0015(15)	0,0025(25)	Допускается определение данного показателя методом Карла Фишера или хроматографическим методом
	Силовые и измерительные трансформаторы без специальных защит масла	-	0,0030(30)	
	Электрооборудование, при отсутствии требований изготовителей	отсутствие	отсутствие	
5. Содержание механических примесей: ГОСТ 6370-83 %, не более РТУ 34.70.653-83	Электрооборудование до 220кВ включительно	Отсутствие	Отсутствие	
	Электрооборудование свыше 220кВ до 750кВ	0,0020 (11)	0,0030 (12)	
6. Тангенс угла диэлектрических потерь по ГОСТ 6581-75, %, не более	Силовые и измерительные трансформаторы, высоковольтные вводы:			Проба масла дополнительной обработке на подвергается Норма tgδ при 70°C факультативна
	110-150кВ	8/12	10/15	
	200-500кВ	5/8	7/10	
	750кВ	2/3	3/5	

Продолжение таблицы №5.

Показатель качества масла и номер стандарта на метод испытания	Категория электрооборудования	Предельно допустимое значение показателя качества масла		Примечание
		Предназначенного к заливке	После заливки в оборудование	
7. Содержание водорастворимых кислот и щелочей по ГОСТ 6307-75	Силовые трансформаторы, герметичные высоковольтные вводы, герметичные измерительные трансформаторы до 750кВ	0,014	-	
	Негерметичные высоковольтные вводы и измерительные трансформаторы до 500кВ	0,030	-	
8. Содержание растворимого шлама, %, массы, не более	Силовые и измерительные трансформаторы, негерметичные высоковольтные вводы, свыше 110кВ		0,005	
9. Газосодержание, % не более	Трансформаторы с пленочной защитой, герметичные маслонаполненные вводы	2	4	
10. Содержание фурановых производных, % от массы, не более (в том числе фуранола)	Трансформаторы и вводы свыше 110кВ	0,0015(0,001)	-	Определение данного показателя производится хроматографическим методом

Необходимость расширения объёма испытаний показателей качества масел и учащения периодичности контроля определяется решением технического руководителя предприятия.

## 5.2. Требования к трансформаторным маслам, доливаемым в электрооборудование.

Трансформаторные масла, доливаемые в электрооборудование в процессе эксплуатации, должны удовлетворять требованиям таблицы №5, столбец 3.

## 6. Условия испытаний и измерений

Работы по испытанию пробивного напряжения трансформаторного масла производятся в сухом помещении.

Перед испытанием трансформаторное масло необходимо выдержать в течение 4 часов при температуре помещения для его прогрева. После прогрева масло заливается в испытательную установку и испытывается с соблюдением всех мер безопасности.

После залива масла в испытательную ёмкость необходимо дать ему отстояться в течение 15 – 20 минут, и только после этого начинать испытание.

## 7. Средства измерений.

Испытание пробивного напряжения масла производится при помощи установки АИД-70.

Конструкция стандартного пробойника масла представлена на рисунке №2. Пробойник располагается в специальной ванне, показанной на рисунке №1. Один из электродов заземляется, на другой подается испытательное напряжение. При достижении определённой величины напряжения между электродами возникает разряд, который и считается пробоем диэлектрика.

Рисунок №1

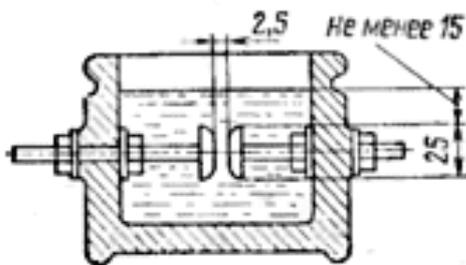
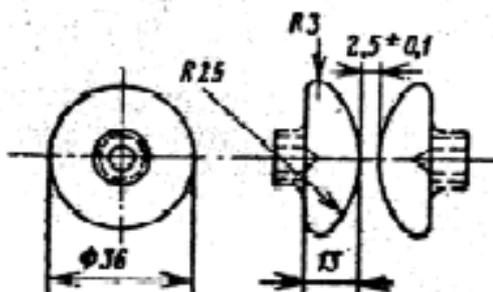


Рисунок №2



Технические данные АИД-70:

Напряжение питающей сети – 220В.

Частота – 50Гц.

Наибольшее вторичное переменное напряжение - 50кВ

Наибольшее вторичное выпрямленное напряжение – 70кВ.

Максимальный рабочий выпрямленный ток – 15мА.

Максимальный рабочий переменный ток – 35мА.

Потребляемая мощность – 3кВА.

Погрешность измерения выходного напряжения и тока не более – 3%

## 8. Описание испытательной установки.

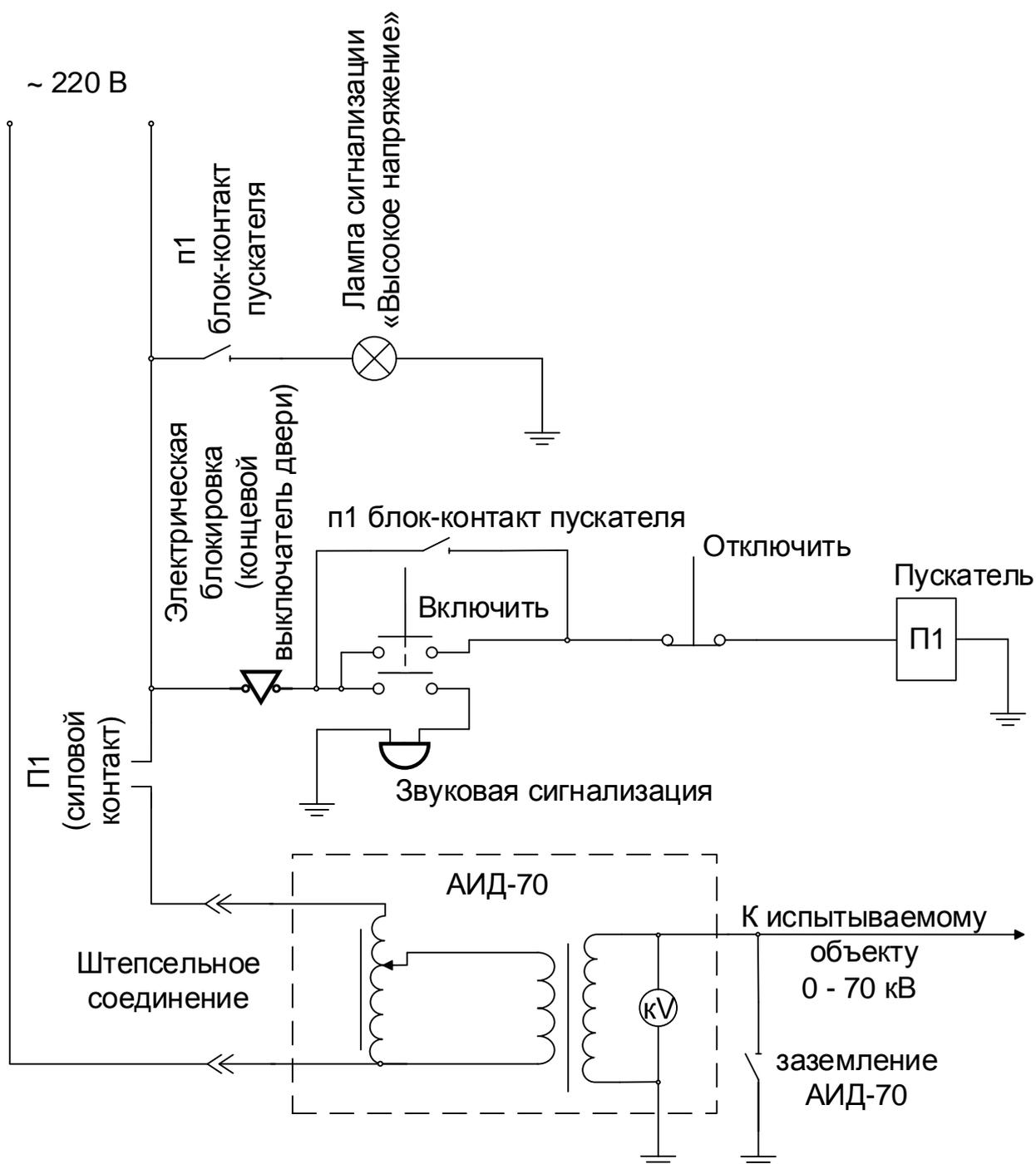


Рисунок 3. Схема принципиальная электрическая установки для испытания трансформаторного масла.

## 9. Порядок проведения испытаний и измерений.

Испытание производится в условиях стационарной установки, в которой высокое напряжение отделено от места оператора (испытателя) с помощью сетчатого ограждения.

Порядок действий при проведении испытаний:

1. Установить блок высокого напряжения (БВН) АИД-70 в высоковольтном отсеке за сетчатым ограждением.
2. Установить блок управления (БУ) снаружи сетчатого ограждения на расстоянии не менее трех метров от БВН, подключить БУ к БВН при помощи соединительных кабелей.
3. Заземлить БУ и БВН гибкими медными проводами сечением  $4\text{ мм}^2$ , прилагаемыми к аппарату.

4. Налить трансформаторное масло в фарфоровую ёмкость для испытания и установить её на изолирующую подставку.
5. Перед испытанием масло необходимо выдержать в ёмкости в течение 15-20 минут для удаления пузырьков газа, которые могли попасть туда во время налива.
6. Подключить один из электродов фарфоровой емкости к высоковольтному выводу АИД-70 (посредством прилагаемого высоковольтного кабеля с зажимом “крокодил”), другой – к клемме заземления БВН.
7. Все переключения на установке производятся одним работником (с применением диэлектрических перчаток), который должен находиться на диэлектрическом ковре.
8. Подключить сетевой кабель к БУ.
9. После сборки схемы выйти из высоковольтного отсека, закрыть за собой дверь.
10. Подключить штепсельную вилку питания АИД-70 к сети 220В.
11. Объявить громко: «Подаю высокое напряжение!», нажать кнопку «Включено», при этом должна загореться лампа «Высокое напряжение».
12. Подавать высокое напряжение плавно, вращая ручку регулировки до достижения пробивного значения.
13. После пробоя, необходимо сделать перерыв на 10 минут для осаждения образовавшихся частиц нагара с электродов на дно ёмкости.
14. Испытание производится шесть раз с записью каждого пробивного напряжения. Результирующим считается среднее значение из шести испытаний.
15. После проведения испытаний снять напряжение вращением ручки регулировки. Нажать кнопку «Выключить» - погаснет красная лампа. Включить заземление высоковольтного вывода.
16. Открыть дверь высоковольтного отсека, произвести разборку схемы.

#### **10. Обработка данных, полученных при испытаниях.**

После проведения шести пробоев производится расчёт среднего значения из всех шести показаний. Средняя величина считается действительным значением.

Все данные, полученные при проведении испытаний, заносятся в протокол и рассматриваются на их соответствие нормам НТД.

#### **11. Меры безопасности при проведении испытаний и охрана окружающей среды.**

К проведению испытаний электрооборудования допускается персонал, прошедший специальную подготовку и проверку знаний и требований, содержащихся в Правилах по охране труда при эксплуатации электроустановок, комиссией, в состав которой включаются специалисты по испытаниям оборудования, имеющие группу V - в электроустановках напряжением выше 1000 В и группу IV - в электроустановках напряжением до 1000В.

Массовые испытания материалов и изделий (средства защиты, различные изоляционные детали (в том числе изоляторы перед установкой), масло и т.п.) с использованием стационарных испытательных установок, у которых токоведущие части закрыты сплошным или сетчатым ограждениями, а двери снабжены блокировкой, допускается выполнять работнику, имеющему группу III, единолично в порядке текущей эксплуатации с использованием типовых методик испытаний.

Рабочее место оператора испытательной установки должно быть отделено от той части установки, которая имеет напряжение выше 1000В. Дверь, ведущая в часть установки, имеющую напряжение выше 1000В, должна быть снабжена блокировкой, обеспечивающей снятие напряжения с испытательной схемы в случае открытия двери и невозможность подачи напряжения при открытых дверях. На рабочем месте оператора должна быть предусмотрена отдельная световая, извещающая о включении напряжения до и выше 1000В, и звуковая сигнализация, извещающая о подаче испытательного напряжения. При подаче испытательного напряжения оператор должен стоять на изолирующем ковре.

Работы по переливанию масла необходимо выполнять с особой осторожностью во избежание разлива и загрязнения помещения.

Запрещается использование открытого огня при проведении работ с маслом для предотвращения возгораний. В непосредственной близости с местом проведения испытаний необходимо иметь средства пожаротушения.

Начальник электролаборатории

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**определения пробивного напряжения и анализа трансформаторного масла**

Масло свежее, регенерированное, смешанное

ГОСТ \_\_\_\_\_

Наименование и № аппарата

\_\_\_\_\_

Причины и дата взятия пробы

\_\_\_\_\_

Дата: \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Определение пробивного напряжения.**

1. Видимые примеси влаги в

пробе \_\_\_\_\_

2. Цвет \_\_\_\_\_

3. Величина пробивного напряжения, кВ

№ пробы	1-я проба	2-я проба	3-я проба	4-я проба	5-я проба	средняя
Диэлектрическая прочность масла						

4. Температура в помещении при испытании

\_\_\_\_\_

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** масло соответствует нормам ПУЭ, ГОСТ, годно к эксплуатации

масло не соответствует нормам по п.п. \_\_\_\_\_  
(ненужное зачеркнуть).

ПРИБОРЫ	№ п/п	Наименование прибора	Тип	№ прибора	Класс точности	Дата след. поверки	Примечания

Испытание производили: \_\_\_\_\_

Начальник электролаборатории: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
(Подпись)

Инженер-электрик \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
(Подпись)