

## ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКОЙ ИЗОЛЯЦИИ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Титков И. А., Абрамов Т. Р., Батрак А. П.  
научный руководитель Малеев А.В., канд. тех. наук, доцент Чупак Т. М.  
*Сибирский федеральный университет*

Надежность и бесперебойность работы высоковольтного силового оборудования является одним из важнейших показателей работы электрических сетей. Одно из неблагоприятных последствий работы этого оборудования является постепенное его старение.

Высоковольтные силовые трансформаторы и автотрансформаторы являются наиболее ответственными и дорогостоящими электроустановками в электроэнергетической системе. Повышение уровней напряжения и снижение запаса прочности изоляции в последнее время остро поставили вопрос оперативной оценки состояния маслонаполненного оборудования в режиме реального времени. Для оперативного исследования характеристик жидкой изоляции авторами статьи предложен акустический метод анализа свойств трансформаторных масел.

Предлагаемый способ тестировался на маслах марок Т-750 и Т-1500 и представляет собой определения импеданса среды с помощью измерительной схемы (рис.1) в зависимости от увлажнённости и наличия газовой фазы где: 1 – генератор белого шума; 2 – излучатель; 3 – измерительная система.

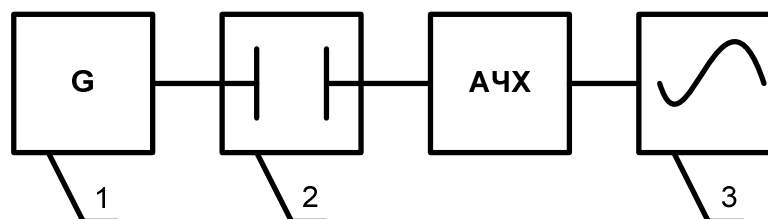


Рисунок 1 - Принципиальная схема измерительной системы

Ремонт и техническое обслуживание оборудования основывается на использовании экспертных оценок, методов и технических средств диагностики, мониторинга и прогнозирования состояния электрооборудования.

Развитие дефекта маслонаполненного энергооборудования может характеризоваться одним или несколькими параметрами, позволяющими проследить динамику развития дефекта и идентифицировать аварийное (предаварийное) состояние энергооборудования.

На основании проведенных экспериментов можно подтвердить надёжность акустического метода диагностики состояния оборудования по эксплуатационным характеристикам жидкой изоляции.

Для эксперимента было взято трансформаторное масло и акустическим методом определялась увлажнённость и содержание целлюлозы.

Принципиальная схема предлагаемого способа диагностики представлена на рисунке 1, внешний вид прибора на рисунке 2.

С помощью предлагаемого способа проведен ряд опытов. В результате исследования выявлена высокая чувствительность метода к содержанию влаги и

целлюлозы в трансформаторном масле. За точку отсчёта взят образец свежего трансформаторного масла.



Рисунок 2 - Прибор для диагностики жидкой изоляции

На рисунке 3 представлен совмещённый спектр для образцов, содержащих различное количество влаги.

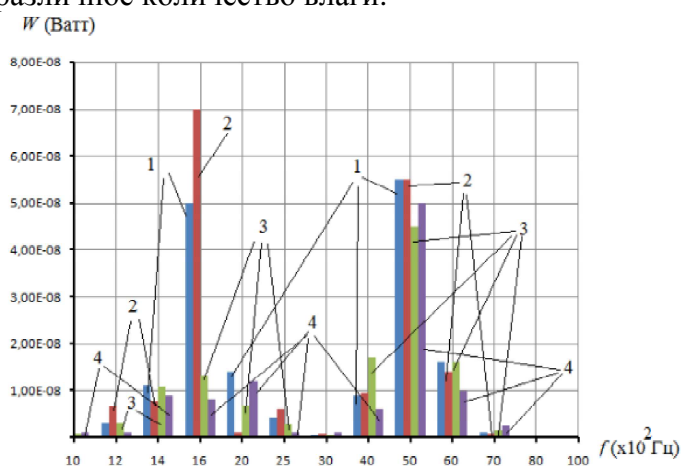


Рисунок 3 - Амплитудно-частотная характеристика трансформаторного масла в зависимости от содержания влаги:

- 1 – содержание влаги 0,355%;
- 2 – содержание влаги 0,224 %;
- 3 – эталонное масло;
- 4 – содержание влаги 0,0994%.

Стандартная неопределённость показаний по интенсивности для выборки в десять контрольных точек образца с содержанием влаги 0,3% составила  $\pm 4,08 \cdot 10^{-7}$  Вт.

Основываясь на исследованиях, можно предположить, что частота 5000 Гц в акустическом спектре трансформаторного масла является несущей по содержанию влаги.

На рис. 4 представлены результаты исследования влияния содержания целлюлозы на акустические параметры.

Порядок определения массовой доли целлюлозы аналогичен методике определения влаги.

Массовая доля измерялась в трёх точках процентной шкалы массы 0,06, 0,18, 0,31. В каждой точки процентной шкалы массы снималась амплитудно-частотная характеристика.

При определении массовой доли использовался прямой метод измерения. Условия проведения испытаний соответствуют ГОСТ 12.1.027-80.

Способ измерения заключается в последовательном взвешивании эталонного образца после каждого ввода целлюлозы.

Суммарная погрешность (допуск погрешности) при данной методике измерений не превысила 0,000496 грамм.

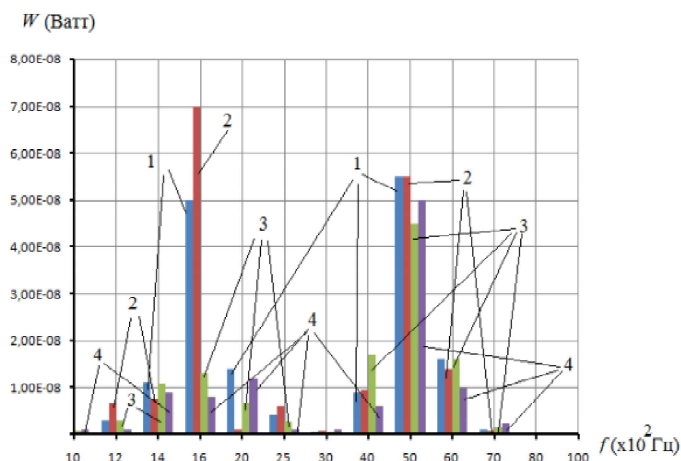


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика трансформаторного масла в зависимости от содержания целлюлозы:

- 1 – содержание массовой доли целлюлозы 0,06 %;
- 2 – содержание целлюлозы 0,18%;
- 3 – содержание 0,31%;
- 4 – частотная характеристика эталонного образца.

В результате работы установлена корреляционная зависимость мощности звука от содержания влаги и целлюлозы; определена значимость перечисленных факторов; найдены статистические функции изменения мощности звука от содержания влаги и целлюлозы; определён коэффициент демпфирования факторов по частоте.

Исследование влияния нерастворённой газовой фазы осуществлялось по следующей методике, условия проведения эксперимента следующие: температура 20 °С, время контакта масла с воздухом 15 мин, способ ввода газов в масло – свободная конвекция.

После испытания производится дегазация, путём выдержки в течении суток в открытом сосуде. При испытании с наличием нерастворённой газовой фазы была построена амплитудно-частотная характеристика (рис 5), где: 1 – данные эталонного масла; 2 – данные после обработки масла воздухом.

В результате изучения процесса поглощения маслом воздуха установлено изменение акустической амплитуды без изменения частотного спектра.

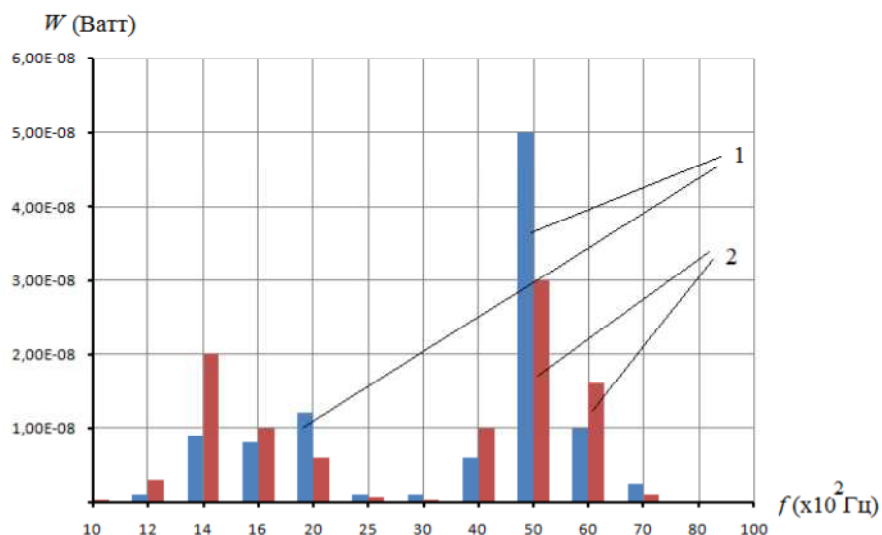


Рисунок 5 – Амплитудно-частотная характеристика трансформаторного масла в зависимости от содержания воздуха.

На основании описанной выше методики контроля был проведен ряд опытов по оценке акустического спектра горюче-смазочных материалов (ГСМ). Анализ были

подвергнуты образцы дизельного топлива с разным содержанием парафинов (летнее и зимнее дизельное топливо). Спектрограммы исследуемых образцов представлены на рисунках 6-7.

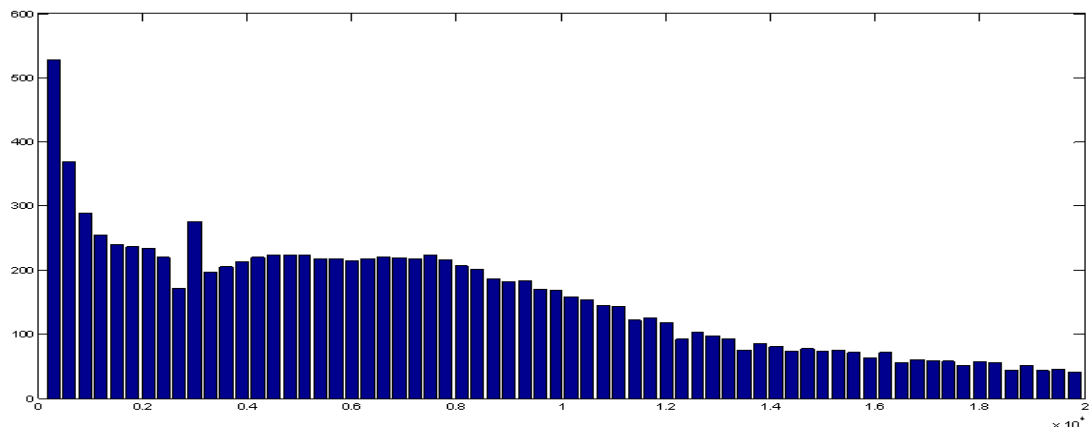


Рисунок 6 – Летнее дизельное топливо

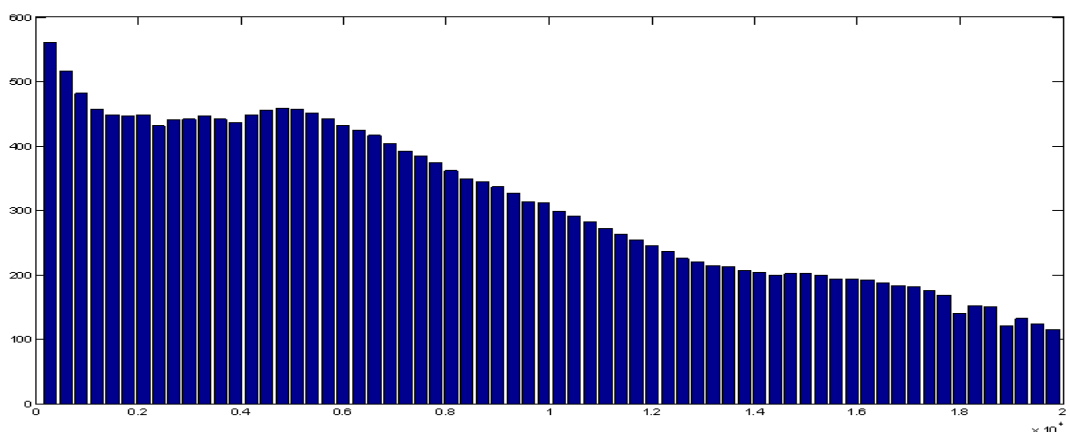


Рисунок 7 – Зимнее дизельное топливо

**Вывод:** Предлагаемый способ оценки содержания влаги и целлюлозы, а также растворенных газов в трансформаторном масле, позволяет сделать вывод о том, что он пригоден при проведении оперативной диагностики жидкой изоляции силового маслонаполненного оборудования, в частности, силовых маслонаполненных трансформаторов.

На основании проведённых исследований можно заявить, что данный метод акустического контроля подходит не только для анализа свойств трансформаторных масел, но и для оперативной оценки качества ГСМ.

Простота и низкая стоимость прибора, подкрепленная на практике возможностью получения результатов анализа в течении нескольких минут, свидетельствуют о широком практическом применении разработанной методики акустической диагностики жидких сред.

#### Список использованных источников

1. А.П Батрак, Оценка состояния маслонаполненного оборудования акустическим методом (доклад)., Материалы XIX Всероссийской науч. –

тех. конф. «Энергетика. Эффективность, надёжность, безопасность» В двух томах, Том I. С. 38-41 Томск 4-6 декабря 2013 г.

2. Р.А Липштейн, Трансформаторное масло./ Р.А Липштейн, Шахнович М. И. Энергоатомиздат, 1983.296 с.