



УДК 621.314.21

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

## INVESTIGATION OF MUTUAL INFLUENCE OF TRANSFORMER OIL PARAMETERS

**Альмухаметов Ильнур Ильдусович**, магистрант каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: alm\_ilnur@mail.ru.

**Давиденко Ирина Васильевна**, д-р техн. наук, профессор каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

**Almukhametov Ilnur Idusovich**, Master student, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: alm\_ilnur@mail.ru

**Davidenko Irina Vasilevna**, Doctor Sc., Prof, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia.

**Аннотация:** В данной статье представлены результаты корреляционного анализа показателей качества трансформаторного масла. Показана актуальность анализа по диагностированию силовых трансформаторов в снижении вероятности и риска отказа.

**Abstract:** This article presents the results of correlation analysis of transformer oil quality indicators. The urgency of the analysis for the diagnosis of power transformers to reduce the probability and risk of failure.

**Ключевые слова:** силовые трансформаторы; диагностирование; корреляционный анализ; анализ трансформаторного масла.

**Key words:** power transformers; diagnostics; Correlation analysis; analysis of transformer oil.

### АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Надежность электроснабжения потребителей, во многом зависит от безаварийной работы силового трансформатора. В обеспечении надежной работы силового трансформатора решающую роль играет состояние его бумажной изоляции, которая находится в постоянном взаимодействии с маслом. Качество трансформаторного масла, несомненно, оказывает влияние на состояние твердой изоляции, поэтому важно понимать механизмы старения масла. В существующих нормативных документах [1,2], регламентирующих значения параметров качества масла, параметры рассматриваются независимо друг от друга. Данная статья посвящена изучению взаимосвязи параметров качества масла.

**Цель исследования** – изучить силу взаимного влияния параметров качества масла силовых трансформаторов напряжением 35 и 110кВ.

### МЕТОД РЕШЕНИЯ

Для изучения влияния параметров качества масла друг на друга использовался корреляционный анализ между параметрами. Коэффициент корреляции определялся по формуле (1).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где  $x_i, y_i$  – текущие значения показателей;  
 $\bar{x}, \bar{y}$  – математические ожидания показателей;  
 $n$  – объем выборки.

$\bar{x}$  и  $\bar{y}$  рассчитываются как:  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$  и  $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$ .

При абсолютной линейной зависимости рассматриваемых параметров друг от друга коэффициент  $r = \pm 1$ , при абсолютной независимости параметров друг от друга  $r=0$ . Знак коэффициента  $r$  указывает, имеется ли между параметрами прямая или обратная зависимость. Заметим, что величина  $r$  обоснована только в диапазоне значений  $x$  и  $y$  в выборке. На рис.1. представлен пример корреляции тангенса угла диэлектрических потерь и кислотного числа силовых трансформаторов напряжением 110кВ до 18 лет эксплуатации.

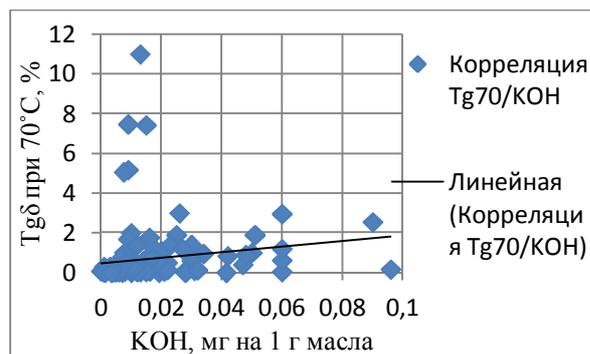


Рис.1. Корреляция тангенса угла диэлектрических потерь и кислотного числа силовых трансформаторов напряжением 110кВ в период эксплуатации 0-18 лет

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве исходных данных использовались результаты испытаний трансформаторного масла энергосистем Теменьэнерго, Татэнерго, Дальневосточной распределительной компании, МРСК Центра и Приволжья, МРСК Сибири накопленных в базе данных экспертной системы «ЭДИС Альбатрос» за 22 года ее эксплуатации. Рассматривались следующие контролируемые параметры масла:

- напряжение пробоя (Uпр), мощность выборки 22444 результата измерения;
- влагосодержание масла (H<sub>2</sub>O), мощность выборки 17264 результата измерения;
- кислотное число (KOH) . мощность выборки 19884 результата измерения;
- содержание водорастворимых кислот (РВВ), мощность выборки 3715 результатов измерения;
- содержание механических примесей, мощность выборки 1214 результатов измерения;
- тангенс угла диэлектрических потерь масла при нагреве до 70°С (Tg70°С), мощность выборки 9774 результата измерения;
- содержание антиокислительной присадки (АОП), мощность выборки 7446 результатов измерения.

Согласно источнику [3] на параметры качества масла оказывают влияние следующие факторы: класс напряжения трансформатора, структурно-групповой состав масла, срок его эксплуатации, герметичность оборудования. Поэтому, чтобы исключить влияние этих факторов на результат нашего исследования, корреляцию между параметрами будем рассчитывать внутри подвыборок, разделенных на группы по:

- классу напряжения (35 и 110 кВ);
- сроку эксплуатации;
- структурно-групповому составу масла;

- виду защиты масла (свободное дыхание и пленочная защита).

Срок эксплуатации был разбит на 5 периодов с учетом интенсивности отказов силовых трансформаторов (СТ), согласно [3]:

- 0-5 лет (прирабочный, когда выявляются недочеты конструкции, технологии изготовления, транспортировки, монтажа и хранения);
- 5-18 лет (надежной работы);
- 18-28 лет (проведения средних и капитальных ремонтов);
- 28-38 лет (работы после ремонта);
- 38 и больше (активного старения изоляции).

Как известно, марки масла имеют различия в технологии производства и структурно-групповом составе, что, согласно [3], оказывает заметное влияние на темпы старения разных марок масел. Поэтому по результатам дисперсионного анализа [3] было принято решение разделить марки масла на 3 группы с учетом содержания ароматических углеводородов Са:

- ГК, ВГ, АКГ (Са от 1,6 до 3%);
- ТКп и т.п. (Са свыше 18 %);
- ТСп(76), ТСп(90), Т-1500, Т-750, смесь масел (Са от 9 до 15%).

Так как эксплуатационных данных для СТ 110 кВ с пленочной защитой очень мало, они были исключены из рассмотрения в данной статье.

Таким образом, расчеты парных коэффициентов корреляции перечисленных выше параметров качества масла проводились для 3-х групп марок масел СТ 35 и 110кВ со свободным дыханием для 5 сроков эксплуатации. В результате расчетов всех возможных комбинаций парных коэффициентов корреляции по всем подвыборкам были определены пары параметров, у которых не была выявлена взаимная зависимость:

- Tg70°С(н) /Uпр;
- Uпр/KOH;
- АОП/Uпр;
- РВВ/Uпр;

Эти пары были исключены из дальнейшего рассмотрения.

На рисунке 2 приведены результаты расчета коэффициентов парных корреляции параметров качества масла не зависимо от марки масла для СТ 110кВ со свободным дыханием.

Выполненный анализ показал, что наибольшая корреляционная зависимость выявлена между следующими показателями масла:

- РВВ/KOH;
- Uпр/H<sub>2</sub>O;
- KOH /H<sub>2</sub>O;

- Tg70°C(н) /H2O;
- Tg70°C(н) /KOH;
- Tg70/ PVB;
- АОП/H2O.

Среди них были получены ожидаемые зависимости:

- PVB/KOH, так как содержание водорастворимых кислот является частью анализа кислотного числа;
- Упр/H2O, так как снижение напряжения пробоя изоляции при повышении влагосодержания масла было замечено многими авторами, в том числе при измерении этих параметров при прогреве СТ во время комплексных обследований.

Новым результатом является определение того, что:

- тангенс диэлектрических потерь масла имеет наиболее сильную зависимость от водорастворимых кислот, а также, зависит от содержания влаги в масле;
- зависимости параметров изменяются с изменением срока эксплуатации.

При рассмотрении зависимости параметров от срока эксплуатации, выявлена тенденция

увеличения коэффициента корреляции с ростом срока эксплуатации. Снижение коэффициентов корреляции в более поздние сроки эксплуатации может объясняться регенерацией масла или его полной заменой после 25 лет эксплуатации СТ (период капитальных ремонтов).

Кроме того, в результате исследования выявлены следующие тенденции:

- рост влагосодержания и окисленных форм в масле способствуют взаимному образованию;
- рост влагосодержания приводит к увеличению тангенса диэлектрических потерь и уменьшению напряжения пробоя;
- снижение содержания антиокислительной присадки приводит к ускорению образования влаги в масле;
- рост окисленных форм и тангенса диэлектрических потерь масла взаимообусловлен.

На рисунках 3-5 приведены результаты расчета коэффициентов парных корреляции параметров качества масла для разных марок масла СТ 110кВ со свободным дыханием.

Отметим, для марки ГК корреляция пар АОП/H2O и Упр/H2O сильнее, чем для марок ТКп, ТСП и др., что можно объяснить большей способностью масел с большой ароматикой накапливать воду в связанном состоянии

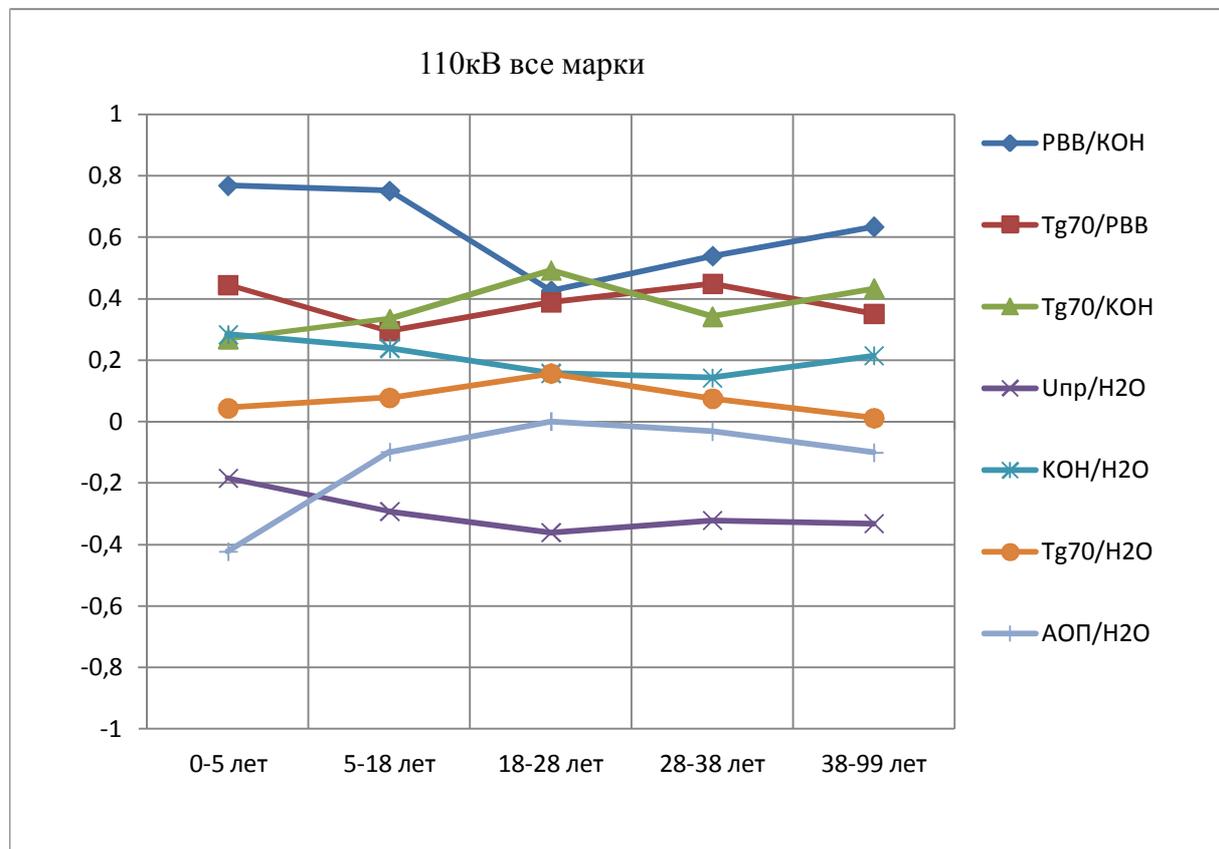


Рис.2. Диаграмма корреляционного анализа СТ 110 кВ и всех марок масла.

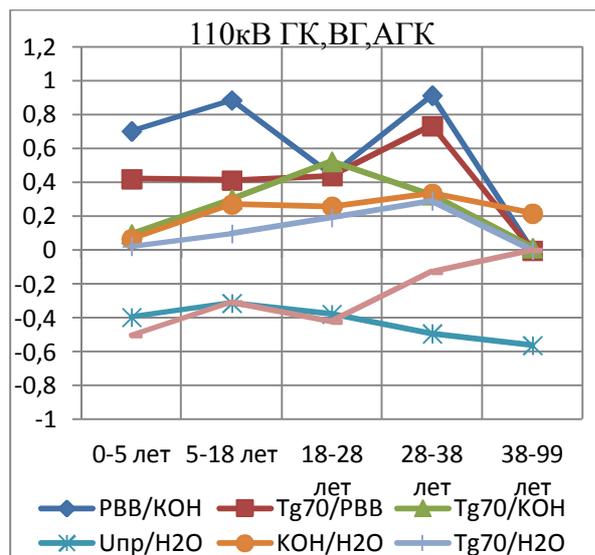


Рис.3. Диаграмма корреляционного анализа СТ 110 кВ и марок масла ГК, ВГ, АГК.

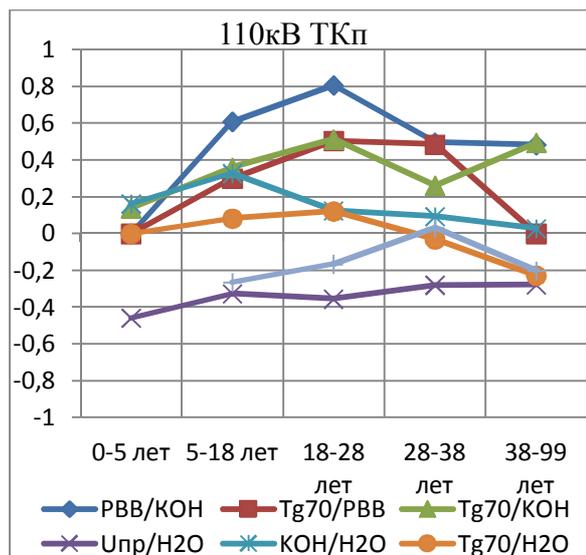


Рис.4. Диаграмма корреляционного анализа СТ 110 кВ и марок масла ТКП.

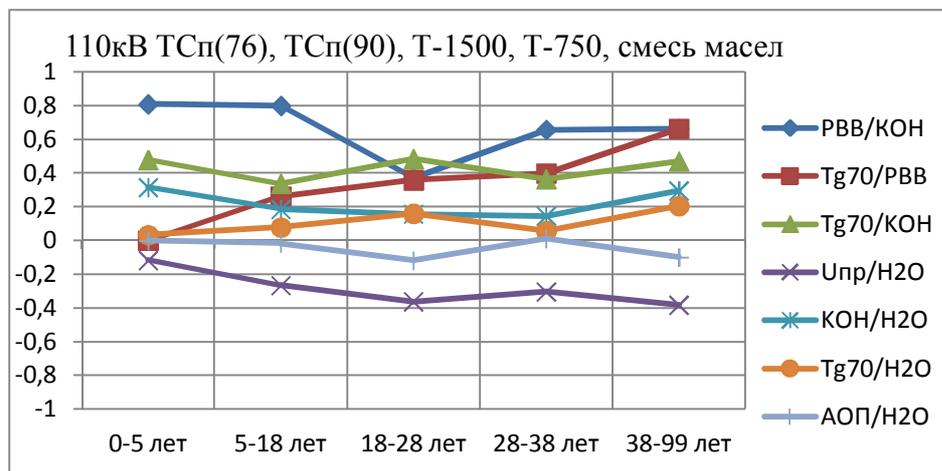


Рис.5. Диаграмма корреляционного анализа силовых трансформаторов 110 кВ и остальных марок масла.

### ВЫВОДЫ

В результате исследования коэффициентов корреляции параметров качества масла, были выявлены параметры с сильной взаимосвязью; а также обнаружено, что на силу взаимной связи параметров влияют: срок эксплуатации; марка масла; герметичность и класс их напряжения СТ.

Выявленные корреляционные зависимости параметров качества масла позволят точнее определить техническое состояние масла, а найденные тенденции изменения взаимовлияния от срока эксплуатации, спрогнозировать остаточный ресурс масла и оптимизировать алгоритм принятия решений по объему и срокам ремонтных мероприятий по восстановлению свойств жидкой изоляции СТ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Объем и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300-97, Москва, "Издательство НЦ ЭНАС", 2001.
2. Энергетические масла и маслохозяйства электрических станций и сетей. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. СТО 70238424.27.100.053-2013, Некоммерческое Партнерство «Инновации в электроэнергетике» Москва, 2013.
3. Давиденко И.В. Разработка системы многоаспектной оценки технического состояния и обслуживания высоковольтного маслонаполненного электрооборудования: дисс. докт.техн.наук. ФГАОУ ВПО «УрФУ», Екатеринбург, 2009.