

Р. Р. Вилданов, В. П. Тутубалина

ВЛИЯНИЕ α -НАФТИЛДЕЦИЛСУЛЬФИДА И ЦИКЛОГЕКСИЛДЕЦИЛСУЛЬФИДА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ГК

Ключевые слова: трансформаторное масло, α -нафтилдецилсульфид, циклогексилдецилсульфид, концентрация воздуха в масле.

Изучено влияние α -нафтилдецилсульфида и циклогексилдецилсульфида, отличающиеся радикалами, на диэлектрические свойства трансформаторного масла ГК. Показано, что лучшей ингибирующей добавкой к маслу является циклогексилдецилсульфид, в присутствии которого снижаются величина кислотного числа, тангенс угла диэлектрических потерь, концентрация воздуха, количество осадка и воды в масле.

Keywords: air concentration of transformer oil in oil, α -naftildecilsul'fid, ciklogeksildecilsul'fid.

Influence of α -naftildecilsul'fida and ciklogeksildecilsul'fida with radicals on dielectric properties of transformer oil. Shows that the best oil additive is ingibirušej ciklogeksildecilsul'fid, which is reduced in the presence of the acid number, dissipation, air concentrations, sediment and water in the oil.

Нефтяное трансформаторное масло, являющееся жидкой изоляцией в трансформаторах, подвержено старению при рабочих температурах за счёт совместного воздействия на него молекулярного кислорода воздуха и электрического поля при наличии различных материалов, входящих в конструкцию трансформатора [1-4]. К основным параметрам, определяющим диэлектрические характеристики масла, относятся количество образовавшегося осадка, воды и величины кислотного числа тангенс угла диэлектрических потерь.

Целью настоящего исследования является изучение влияния индивидуальных сернистых соединений на диэлектрические показатели трансформаторного масла.

В качестве объекта исследования использовали трансформаторное масло марки ГК (ТУ 38.101.1025.85) с содержанием ароматических углеводородов 10,4% и общей серы 0,001% масс. Индивидуальными сульфидами служили α -нафтилдецилсульфид и циклогексилдецилсульфид, отличающиеся радикалами. Так, α -нафтилдецилсульфид содержит ароматический и алифатический радикал, а циклогексилдецилсульфид – нафтенный и алифатический радикалы. Количество сульфидов, вводимых в трансформаторное масло ГК, составляло 0,5% масс. в соответствии с литературными данными [5].

Исследование проводили на экспериментальной установке, имитирующей работу секции масляного трансформатора [6].

Изменение диэлектрических свойств трансформаторного масла ГК в присутствии и отсутствии индивидуальных сульфидов определяли по ГОСТ 982-80.

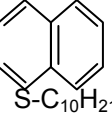
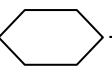
Влияние температуры на образование осадка и величину кислотного числа в образцах трансформаторного масла ГК в присутствии и отсутствии индивидуальных сульфидов исследовали в температурном интервале 90-120°C по ГОСТ 982-80.

Физико-химические характеристики индивидуальных сульфидов, количество образовавшегося осадка и величина кислотного числа масла марки ГК в зависимости от температуры в отсутствии и

присутствии индивидуальных сульфидов приведены в табл.1 и 2.

В соответствии с данными табл. 2 введение в масло ГК α -нафтилдецилсульфида и циклогексилдецилсульфида способствует уменьшению кислотного числа и количества образовавшегося осадка в масле. Из табл. 2 следует, что циклогексилдецилсульфид в исследуемой системе оказался более эффективным по сравнению с α -нафтилдецилсульфидом, поскольку в исследуемом диапазоне температур кислотное число снижается соответственно в 1,5 раза и 1,05 раза по сравнению с кислотным числом исходного масла ГК, а количество осадка – соответственно в 1,86 раза и 1,045 раза.

Таблица 1 - Физико-химические свойства индивидуальных сульфидов

Сульфид	Формула сульфида	Молекулярный вес	ρ_4^{20}	n_d^{20}
α -нафтилдецилсульфид	 <chem>S-C_{10}H_{21}</chem>	300	0,99	1,5729
циклогексилдецилсульфид	 <chem>S-C_{10}H_{21}</chem>	236	0,8909	1,4830

Влияние продолжительности пребывания трансформаторного масла ГК в присутствии и в отсутствии индивидуальных сульфидов на величину кислотного числа, количество образовавшегося осадка и воды было изучено при температуре 100°C, которая характерна для верхних слоёв масла в баке трансформатора (не превышает 105°C).

Полученные экспериментальные результаты представлены на рис.1-3.

На рис.1 приведена зависимость изменения кислотного числа в присутствии и отсутствии индивидуальных сульфидов в зависимости от времени пребывания масла в экспериментальной установке.

Таблица 2 - Влияние температуры на величину кислотного числа и количества образовавшегося осадка в течение 28 ч пребывания масла в экспериментальной установке

Показатели	Температура, °C		
	90	110	120
Масло ГК			
Кислотное число, мгКОН/г масла	0,03	0,097	0,185
Количество осадка, %	0,0045	0,018	0,378
Масло ГК + 0,5 % α-нафтилдецилсульфид			
Кислотное число, мгКОН/г масла	0,0286	0,092	0,176
Количество осадка, %	0,0043	0,0188	0,362
Масло ГК + 0,5 % циклогексилдецилсульфид			
Кислотное число, мгКОН/г масла	0,019	0,052	0,12
Количество осадка, %	0,0024	0,0096	0,203

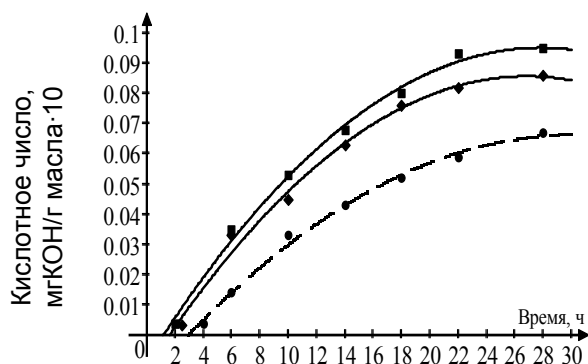


Рис. 1 - Зависимость изменения кислотного числа от времени пребывания масла в установке

$$Y = -1,3397 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0,0074 \cdot x - 0,0085, R = 0,97$$

■■■■ - масло ГК;
 ■■■■ - масло ГК + 0,5 % α-нафтилдецилсульфида;
 ●●●● - масло ГК + 0,5 % циклогексилдецилсульфида

Из рис.1. следует, что введение в состав масла α-нафтилдецилсульфида незначительно снижает кислотное число в 1,08 раза по сравнению с кислотным числом исходного масла. Вместе с тем, в присутствии циклогексилдецилсульфида кислотное число уменьшается в 1,59 раза, что указывает на высокую ингибирующую способность данного индивидуального сульфида, замедляющего окисления углеводов в масле.

Влияние исследуемых сульфидов, на количество образовавшегося осадка в масле ГК в зависимости от продолжительности пребывания масла в экспериментальной установке, представлено на рис.2

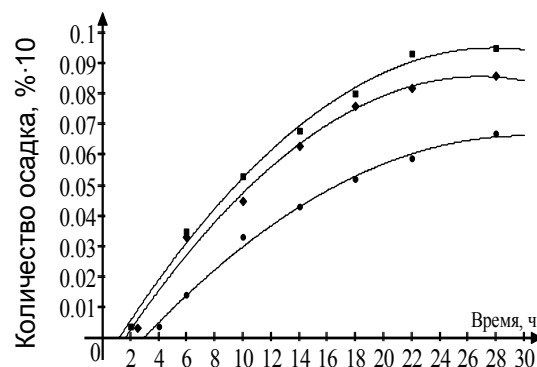


Рис. 2 - Зависимость образования осадка от времени пребывания масла в установке

$$Y = 0,814 \cdot x^{0,23}, R = 0,93$$

■■■■ - масло ГК;
 ■■■■ - масло ГК + 0,5 % α-нафтилдецилсульфида;
 ●●●● - масло ГК + 0,5 % циклогексилдецилсульфида

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рис.2, показал, что наибольшим ингибирующим эффектом обладает циклогексилдецилсульфид, в присутствии которого образование осадка снижается в 1,82 раза, по сравнению с содержанием последнего в исходном ингибированном масле.

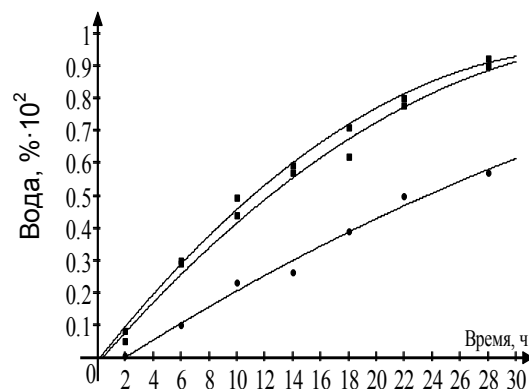


Рис. 3 - Зависимость образования воды от времени пребывания масла в установке

$$Y = -1,862 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0,027 \cdot x - 0,053, R = 0,96$$

■■■■ - масло ГК;
 ■■■■ - масло ГК + 0,5 % α-нафтилдецилсульфида;
 ●●●● - масло ГК + 0,5 % циклогексилдецилсульфида

Количество образовавшейся воды в зависимости от времени пребывания масла ГК в экспериментальной установке в присутствии и отсутствии индивидуальных сульфидов, отличающихся радикалами, представлено на рис.3.

В соответствии с данными рис. 3 введение в состав масла α-нафтилдецилсульфида в количестве 0,5 %масс. снижает количество образовавшейся воды в масле за 28 часов 1,03 раза, в то время как в присутствии такого же количества циклогексилдецилсульфида приводит к снижению концентрации воды в масле в 1,62 по сравнению с исходным маслом.

Следующая серия опытов была проведена с целью исследования влияния изучаемых сульфидов на изменение тангенса угла диэлектрических потерь в масле ГК. Опыты проводили в соответствии с ГОСТ 6581-75 при температуре 90 °С, при этом другие технологические параметры процесса окисления углеводородов масла оставались неизменными.

Результаты исследований показаны на рис.4.

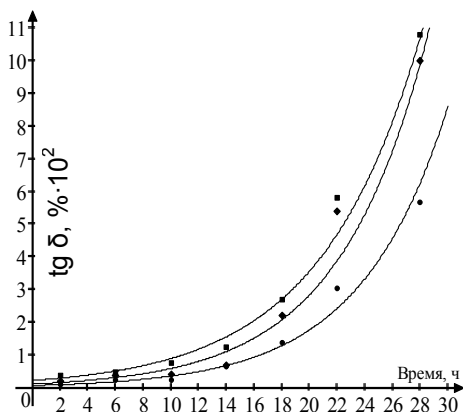


Рис. 4 - Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от времени пребывания масла в установке

■ — ■ — ■ — масло ГК;
 ■ — ■ — ■ — масло ГК + 0,5 % α-нафтилдецилсульфида;
 ● — ● — ● — масло ГК + 0,5 % циклогексилдецилсульфида

Из данных рис.4 следует, что введение в состав масла ГК индивидуальных сульфидов диэлектрические потери в масле снижаются, о чём свидетельствуют численные значения тангенса угла диэлектрических потерь. Из сравнения экспериментальных данных, приведённых на рис.4 следует, что наиболее активным ингибитором является циклогексилдецилсульфид, который в идентичных условиях и времени пребывания масла в экспериментальной установке 28 часов снижает диэлектрические потери в масле в 2,1 раза больше, чем α-нафтилдецилсульфид.

Проведённые исследования показали, что циклогексилдецилсульфид относится к эффективным ингибиторам, замедляющим окисление углеводородов трансформаторного масла, и соответственно, улучшающим его эксплуатационные свойства.

Влияние α-нафтилдецилсульфида и циклогексилдецилсульфида на количество поглощённого воздуха изучали при температуре 20 °С. Полученные данные сравнивали с количеством поглощённого воздуха в идентичных условиях с чистым маслом ГК без добавки сульфидов. Экспериментальные данные приведены на рис.5. При проведении данного эксперимента было учтено, что в основе старения трансформаторного масла находятся окислительные процессы углеводородов. В результате старения масла происходит ухудшение его диэлектрических свойств (рис.1-4). Обработка и обобщение экспериментальных результатов показала, что в присутствии циклогексилдецилсульфида диэлектрические свойства масла в значительной мере возрастают по

сравнению по сравнению с добавкой α-нафтилдецилсульфида (табл.2, рис.1-4).

Основным инициатором старения масла в трансформаторах, особенно имеющим сообщение с воздухом, является воздух. Поэтому было изучено влияние исследуемых сульфидов на поглощение воздуха маслом. Влияние времени контакта на количество поглощённого воздуха маслом ГК в присутствии и отсутствии сульфидов масла показано на рис.5.

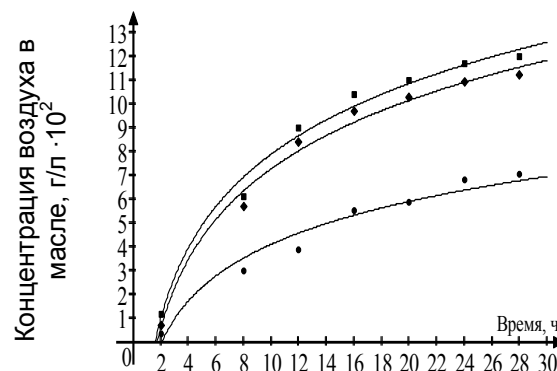


Рис. 5 - Зависимость времени пребывания масла ГК в экспериментальной установке при 20 °С на количество поглощённого воздуха

■ — ■ — ■ — масло ГК;
 ■ — ■ — ■ — масло ГК + 0,5 % α-нафтилдецилсульфида;
 ● — ● — ● — масло ГК + 0,5 % циклогексилдецилсульфида

В соответствии с рис.5. при введение в масло ГК 0,5 %масс α-нафтилдецилсульфида количество поглощённого воздуха уменьшилось в 1,07 раза, а при добавлении такого же количество циклогексилдецилсульфида, количество поглощённого воздуха маслом ГК снизилось в 1,73 раза. Это обстоятельство указывает на высокую эффективность циклогексилдецилсульфида, имеющий ароматические и нафтенновые радикалы в процессе поглощения воздуха. В результате уменьшения концентрации воздуха в масле замедляется окисление углеводородов. Воздух относится к основным газам, инициирующим процесс его старения. Поэтому при введении циклогексилдецилсульфида и α-нафтилдецилсульфида наблюдается улучшение диэлектрических свойств трансформаторного масла ГК. Причём наибольшей эффективностью в этом процессе обладает циклогексилдецилсульфид, т.к. количество поглощённого воздуха в 1,5 раза ниже в его присутствии, чем в присутствии α-нафтилдецилсульфида.

Все исследованные параметры взаимосвязаны и определяют диэлектрические свойства масла. Так, например, при высокой концентрации воды в масле и снижении температуры, вода выделяется из масла в виде эмульсии, что увеличивает тангенс угла диэлектрических потерь, особенно при наличии осадка. Тангенс угла диэлектрических потерь относится к диагностическим параметрам, который увеличивается с ростом продуктов старения масла. Кислотное число характеризует стабильность масла к старению. Исследования показали, что снижение

количества поглощённого воздуха маслом способствует уменьшению скорости его старения и улучшению диэлектрических свойств масла. Данное обстоятельство указывает, что основным параметром, способствующим старению масла и изменению его эксплуатационных свойств, является воздух, присутствующий в масле.

В негерметизированных конструкциях трансформатора постоянно происходит поступление воздуха в масло, при одновременном влагообмене. Поэтому проведённое исследование влияния сульфидов на растворимость воздуха в масле является актуальным, поскольку позволяет улучшить диэлектрические свойства, а, следовательно, и увеличить срок эксплуатации его в трансформаторах.

Выводы

1. Изучено влияние α -нафтилдецилсульфида и циклогексилдецилсульфида, отличающихся радикалами, на диэлектрические свойства масла ГК.

2. Показано, что наибольшим ингибирующим эффектом из исследованных сульфидов обладает циклогексилдецилсульфид, снижающий количество образовавшегося осадка в масле в 1,82 раза, воды – в 1,62 раза, кислотное число в 1,59 раза, тангенс угла диэлектрических потерь – 1,9 раза по сравнению с исходным маслом.

3. Изучено влияние индивидуальных сульфидов на количество поглощённого воздуха маслом. Показано, что в присутствии 0,5 %масс циклогексилдецилсульфида количество воздуха снижается в 1,73 раза по сравнению с содержанием воздуха в исходном масле, что способствует уменьшению окисления углеводородов масла и повышению его диэлектрических свойств.

Литература

1. Бешков Н.С. Трансформаторное масло. София. 1986. – 210с.
2. Некрасов В.Г., Кассихин С.Д., Климашевский И.П. О качестве трансформаторных масел для высоковольтных вводов и их надёжности. //Электрические станции.1996. №8. с.78-81.
3. Липштейн Р.А., Глазунова Т.В., Довгопольный Е.Е. Шведские трансформаторные масла фирмы «Nenass» марок Nitroll GX и Nitro 10X // Электрические станции 1998. №1. – с.61-64.
4. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. – М.:Энергоиздат. 1983. – 296 с.
5. Коваль А.В., Вилданов Р.Р., Тутубалина В.П. Влияние некоторых факторов на концентрацию серы в масле. Известия ВУЗов. Проблемы энергетики.– 2004. - №11-12. – с.82-87.
6. Вилданов Р.Р., Тутубалина В.П. Установка для диагностики трансформаторного масла. Известия ВУЗов. Проблемы энергетики.– 2006. - № 9-10.- с.105-108.

© Р. Р. Вилданов – канд. техн. наук, доц. каф. тепловых электрических станций КГЭУ, rustrenat@gmail.com; В. П. Тутубалина – д-р техн. наук, проф. той же кафедры.

© R. R. Vildanov - Ph.D. associate professor of Kazan' state energy university, rustrenat@gmail.com; V. P. Tutubalina – d.t.s., professor of Kazan' state energy university.