

Сравнение коэффициентов газообразования при частичных разрядах в системе «острие–плоскость» в рапсовом и трансформаторном маслах

С. М. Коробейников, А. В. Ридель

Измеренные интенсивности газообразования при частичных разрядах в рапсовом и трансформаторном маслах оказались близкими по значению. Кажущийся заряд единичного частичного разряда в трансформаторном масле, в среднем, выше, чем в рапсовом. Частота возникновения частичного разряда в рапсовом масле выше, чем в трансформаторном.

Ключевые слова: частичный разряд, трансформаторное масло, рапсовое масло, коэффициент газообразования.

Ссылка: Коробейников С. М., Ридель А. В. // Прикладная физика. 2018. № 6. С. 25.

Reference: S. M. Korobeynikov and A. V. Ridel, Prikl. Fiz., No. 6, 25 (2018).

Введение

Газообразование в жидкой электрической изоляции играет важную роль в функционировании высоковольтного маслонаполненного электрооборудования. Механизмами газообразования являются разложение масла под действием повышенной температуры, дуговых процессов и частичных разрядов (ЧР) [1–3]. В результате образуется растворенный газ, а при превышении газообразования над его растворением могут образоваться пузырьки газа, разряды в которых приводят к пробое промежутка и выходу из строя оборудования [4–7].

Рапсовое масло является сравнительно новым диэлектриком, обладающим рядом преимуществ по сравнению с традиционным трансформаторным (минеральным) маслом [8, 9], и поэтому его исследование является достаточно актуальным. Сравнительные измерения растворимости газов в рапсовом и трансформаторном маслах проведены ранее [8]. Стоит отметить также, что изучение частичных разрядов в подобных системах проводились уже в ряде работ [4, 10–12]. Однако по-прежнему остаются некоторые вопросы

по функциональным характеристикам этих масляных диэлектриков.

Целью настоящей работы являлось сравнение газообразования в рапсовом и трансформаторном маслах при частичных разрядах в системе электродов «острие–плоскость».

Экспериментальная установка

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Высокое напряжение промышленной частоты от высоковольтного трансформатора через балластный резистор подается на штыревой высоковольтный электрод электроразрядной ячейки (1). Импульс напряжения при возникновении частичного разряда (ЧР) в ячейке (1) регистрируется осциллографом (5) с помощью схемы, состоящей из емкости связи C_1 (2), фильтра высоких частот C_2 и C_3 (3), резисторов R_1 , R_2 , R_3 и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) (4). Для регистрации сигнала ЧР запуск осциллографа осуществлялся от светового сигнала с помощью ФЭУ. Экспериментальная установка была собрана в металлическом заземленном шкафу [13].

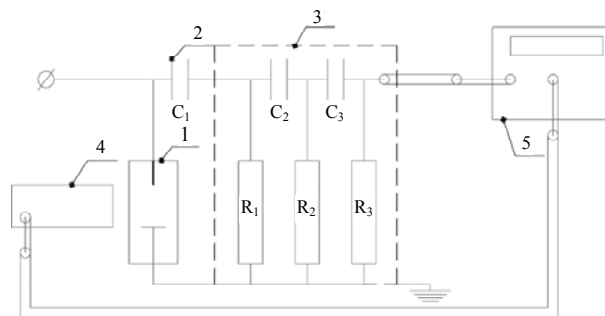


Рис. 1. Схема эксперимента. Значения величин R_1 , R_2 , R_3 – 10 кОм, C_1 – 7,33 нФ, C_2 , C_3 – 1 нФ.

Коробейников Сергей Миронович^{1,2}, зав. кафедрой, профессор, д.ф.-м.н.

Ридель Александр Викторович^{1,2}, аспирант, инженер.

¹ Новосибирский государственный технический университет. Россия, 630073, Новосибирск, просп. Карла Маркса, 20.

² Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН. Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 15. E-mail: korobeynikov@corp.nstu.ru

Статья поступила в редакцию 17 октября 2018 г.

На рис. 2 представлена фотография экспериментальной ячейки с плоским заземленным электродом (4) и острым высоковольтным электродом (3). Корпус (1) экспериментальной ячейки из оргстекла соединялся фторопластовыми болтами (2) для предотвращения возникновения ЧР на остриях. В торец электрода (3) впаивалась медно-платиновая иголка (6) (показана пунктиром) с диаметром медной части 100 мкм и диаметром платиновой части 10 мкм. Проволочка вытягивалась для уменьшения радиуса скругления острия, затем кончик длиной 5 мм протравливался в азотной кислоте для растворения медной оболочки. Полученный радиус скругления острия платиновой проволоочки составил менее 2 мкм. Заполнение объема дегазированным маслом производилось при вакуумировании ячейки через трехходовые краны (5).

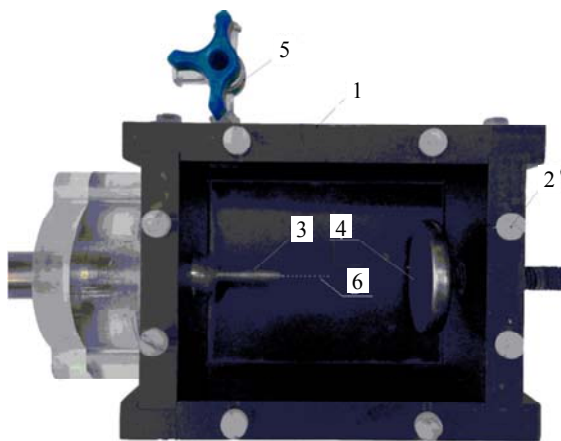


Рис. 2. Экспериментальная ячейка.

Экспериментальные результаты

Частичные разряды в трансформаторном и рапсовом масле возникали при амплитуде напряжения выше 16 кВ. Частичные разряды возникали вблизи максимума напряжения, поэтому при расчете вложенной энергии пробойное напряжение принималось равным амплитудному.

При расстоянии между электродами 18 мм и радиусе скругления острия электрода 2 мкм напряженность электрического поля у кончика острия превышала 15 МВ/см. Эксперименты проводились при амплитуде напряжения, превышающей напряжение возникновения ЧР на 1 кВ.

На рис. 3 представлены типичные осциллограммы импульсов напряжения ЧР в трансформаторном масле и сигнала с ФЭУ. Сравнительные характеристики импульсов ЧР в обоих маслах приведены в табл. 1.

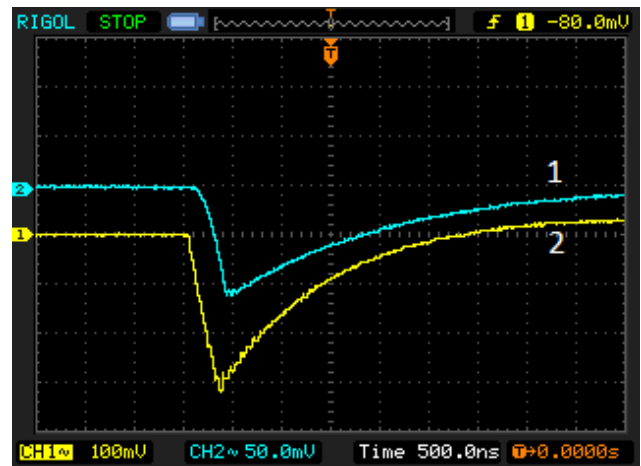


Рис. 3. Сигналы ЧР. Синий (1) – ФЭУ; желтый (2) – электрический сигналы.

Таблица 1

Характеристики импульсов ЧР

	Трансформаторное масло	Рапсовое масло
Длительность импульса, нс	500	500
Длительность переднего фронта, нс	200–400	200–500
Максимальный ток ЧР, мкА	39–69	27–57
Кажущийся заряд, пКл	36–62	19–53

Определение коэффициентов газообразования

Для определения коэффициента газообразования экспериментальная ячейка заполнялась дегазированным маслом, затем отбирались две пробы для хроматографического анализа газов, растворенных в масле до начала эксперимента. Эксперименты проводились при амплитуде напряжения 17 кВ. Методика определения коэффициентов газообразования основана на регистрации количества импульсов ЧР при помощи счетчика, причём с одновременной регистрацией их характеристик на осциллографе в режиме реального времени. После эксперимента отбирались две пробы масла из ячейки и определялись концентрации газов, образовавшихся в результате воздействия ЧР.

В табл. 2 приведены результаты хроматографического анализа обоих масел до и после эксперимента в пересчете на объем ячейки для двух диагностических газов, а именно, водорода и метана, которые, являются основными при возникновении ЧР [1].

Таблица 2

Результаты анализа

Газы	Трансформаторное масло		Рапсовое масло	
	Vг до эксперимента, мкл	Vг после эксперимента, мкл	Vг до эксперимента, мкл	Vг после эксперимента, мкл
Метан	0,3706	0,4796	0,1308	0,5014
Водород	1,5478	3,4662	0,5232	3,488

Интегрированием 30 типовых импульсов ЧР для каждого из масел был определен средний кажущийся заряд, который использовался для определения суммарной энергии ЧР. Усредненное значение кажущегося заряда для трансформаторного масла равно 46,9 пКл, для рапсового – 36,7 пКл. Также в процессе эксперимента каждый час регистрировались амплитудные напряжения 30 ЧР. Расхождения кажущихся зарядов в трансформаторном масле, определенные разными методами, было незначительно.

В табл. 3 приведены коэффициенты газообразования для основных диагностических газов. Из табл. 3 видно, что действительно основным диагностическим газом является водород. Интенсивность газообразования, т. е. количество газа, образованного за одинаковый период времени, была примерно одинаковой. Кажущийся заряд единичного ЧР в трансформаторном масле, в среднем, больше, чем в рапсовом, однако частота возникновения ЧР в рапсовом масле выше, чем в трансформаторном масле.

Таблица 3

Коэффициенты газообразования

	Трансформаторное масло		Рапсовое масло	
	Vг, мкл	К, мкл/Дж	Vг, мкл	К, мкл/Дж
Количество импульсов	17459		37897	
Суммарная энергия, Дж	0,0139		0,023611	
Газы	Vг, мкл	К, мкл/Дж	Vг, мкл	К, мкл/Дж
Метан	0,1	0,0015146	0,37	0,00875
Водород	1,9	0,0266571	3	0,070003
Суммарный объем, мкл	2		3.37	
На один импульс ЧР	$1,2 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-6}$	$8,9 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-6}$

Заключение

В работе проведено экспериментальное сравнение коэффициентов газообразования при частичных разрядах (ЧР) в системе «острие–плоскость» в рапсовом и трансформаторном маслах. Измерения показали, что интенсивности газообразования водорода и метана при ЧР в рапсовом и трансформаторном маслах близки. Кажущийся заряд единичного ЧР в трансформаторном масле, в среднем, больше, чем в рапсовом, однако частота возникновения ЧР в рапсовом масле выше, чем в трансформаторном.

Работа поддержана РНФ (грант № 16-19-10229).

ЛИТЕРАТУРА

1. СО 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. – М.: РАО «ЕЭС России», 2001.
 2. Дарьян Л. А., Аракелян В. Г. // Электротехника. 1997. № 2. С. 45.

3. Pompili M., Mazzetti C., Bartnikas R. // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2000. Vol. 7. No. 1. P. 113.
 4. Denat A., Gosse J. P., Gosse B. // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 1988. Vol. 23. No. 4. P. 545.
 5. Панов В. А., Васильяк Л. М., Ветчинин С. П., Печеркин В. Я., Савельев А. С. // Прикладная физика. 2017. № 5. С. 5.
 6. Анпилов А. М., Бархударов Е. М., Двоенко А. В., Козлов Ю. Н., Косский И. А., Моряков И. В., Тактакишвили М. И., Темчин С. М. // Успехи прикладной физики. 2016. Т. 3. № 4. С. 265.
 7. Panov V. A., Kulikov Y. M., Son E. E., Tyufyayev A. S., Gadzhiev M. Kh., Akimov P. L. // High Temp. 2014. Vol. 52. No. 5. P. 770.
 8. Аникеева М. А., Коробейников С. М. // Теплофизика высоких температур. 2016. Т. 54. № 1. С. 108.
 9. Аникеева М. А., Коробейников С. М. // Журн. инженер. теплофизики. 2016. Т. 25. № 2. С. 236.
 10. Kattan R., Denat A., Lesaint O. // Journal of Applied Physics. 1989. No. 66. P. 4062.
 11. Коробейников С. М., Бычков А. Л., Чимитова Е. В., Демин В. А. // Проблемы региональной энергетики. 2017. № 2. С. 36.
 12. Bychkov A. L., Korobeynikov S. M., Ovsyannikov A. G. // Applied Mechanics and Material. 2015. Vol. 698. P. 615.
 13. Korobeynikov S. M., Ovsyannikov A. G., Ridel A. V., Medvedev D. A. // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 899. P. 238.

Comparison of gas formation factors at partial discharges in the point-plane in rapeseed and transformer oils

S. M. Korobeynikov^{1,2} and A. V. Ridel^{1,2}

¹Novosibirsk State Technical University
20 Karl Marx av., Novosibirsk, 630073, Russia

²Lavrentyev Institute of Hydrodynamics, SB RAS
15 Lavrentyev av., Novosibirsk, 630090, Russia
E-mail: korobeynikov@corp.nstu.ru

Received October 17, 2018

The measured intensities of gas formation in partial discharges in rapeseed and transformer oils are close. The apparent charge of a single partial discharge in transformer oil, on average, higher than in rapeseed oil. The frequency of partial discharges in rapeseed oil is higher than in transformer oil.

Keywords: partial discharge, transformer oil, rapeseed oil, gas formation coefficient.

REFERENCES

1. *Guidelines for the diagnosis of developing defects in transformer equipment according to the results of chromatographic analysis of gases dissolved in oil.* – Organization standard 153-34.0-46.302-00. RAO EES (2001) [in Russian].
2. L. A. Dar'yan and V. G. Arakelyan, *Elektrotehnika* **2** (2), 45 (1997).
3. M. Pompili, C. Mazzetti, and R. Bartnikas, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* **7** (1), 113 (2000).
4. A. Denat, J. P. Gosse, and B. Gosse, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* **23** (4), 545 (1988).
5. V. A. Panov, L. M. Vasylyak, S. P. Vetchinin, and V. Ya. Pecherkin, *Prikl. Fiz.*, No. 5, 5 (2017).
6. A. M. Anpilov, E. M. Barkhudarov, A. V. Dvoenko, Yu. N. Kozlov, I. A. Kossyi, I. V. Moryakov, M. I. Taktakishvili, and S. M. Temchin, *Usp. Prikl. Fiz.* **4** (3), 265 (2016).
7. V. A. Panov, Y. M. Kulikov, E. E. Son, A. S. Tyuftyaev, M. Kh. Gadzhiev, and P. L. Akimov, *High Temp.* **52**, 770 (2014).
8. M. A. Anikeeva and S. M. Korobeynikov, *High Temperature* **54** (1), 108 (2016).
9. M. A. Anikeeva and S. M. Korobeynikov, *J. of Engineering Thermophysics* **25** (2), 236 (2016).
10. R. Kattan, A. Denat, and O. Lesaint, *Journal of Applied Physics* **66**, 4062 (1989).
11. S. M. Korobeynikov, A. L. Bychkov, E. V. Chimitova, and V. A. Demin, *Problemy Regional'noi Energetiki* **2**, 36 (2017).
12. A. L. Bychkov, S. M. Korobeynikov, and A. G. Ovsyannikov, *Applied Mechanics and Material* **698**, 615 (2015).
13. S. M. Korobeynikov, A. G. Ovsyannikov, A. V. Ridel, and D. A. Medvedev, *Journal of Physics: Conference Series* **899**, 238 (2017).