

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВОЙ ЖИДКОСТИ ПМС-20 И КАСТОРОВОГО МАСЛА, НАСЫЩЕННЫХ АЗОТОМ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, iipt@iipt.com.ua*

В настоящее время в ИИПТ НАН Украины ведутся работы по созданию погружных электро-разрядных комплексов с улучшенными энергетическими параметрами. В качестве накопителя электрической энергии в них применяются высоковольтные импульсные конденсаторы, в которых для компенсации температурного расширения жидкого диэлектрика используется электрически прочный газ, являющийся сжимаемым веществом. Однако часть газа, растворяясь в жидком диэлектрике конденсатора, изменяет электрофизические характеристики жидкости.

При работе конденсатора в составе погружного электроразрядного комплекса при температуре окружающей среды до 100°C внутри него создается избыточное давление, в результате которого в соответствии с законом Генри [1] увеличивается концентрация газа, растворенного в жидком диэлектрике. Вместе с тем жидкий диэлектрик, насыщенный газом, является одним из основных компонентов диэлектрической системы твердый многослойный диэлектрик – пропитывающая жидкость высоковольтного импульсного конденсатора. Долговечность ее в большей мере зависит от электрической прочности жидкости, как наиболее чувствительного к воздействию частичных разрядов компонента диэлектрической системы.

В ИИПТ НАН Украины ранее были проведены исследования по оценке влияния электрически прочных газов на электрофизические характеристики жидких диэлектриков. Оказалось, что электрическая прочность жидких диэлектриков, за исключением касторового масла, снижается при насыщении их газами при атмосферном давлении.

В [2, 3] приводятся сведения о повышении электрической прочности газов при избыточном давлении, в [4, 5] на примере полярных и неполярных жидких диэлектриков показано влияние избыточного давления на увеличение напряжения частичных разрядов, что в свою очередь ведет к повышению электрической прочности жидкости. Однако как для газов, так и для жидкостей повышение избыточного давления сверх определенной величины нерационально, так как незначительно повышается электрическая прочность и для каждого из этих веществ величина оптимального избыточного давления индивидуальна.

В связи с этим цель данной работы – оценка влияния повышенных температур и давления на электрическую прочность жидкостей, насыщенных электрически прочным газом.

Для проведения исследований выбраны жидкие диэлектрики, применяемые в конструкциях высоковольтных импульсных конденсаторов:

- полиметилсилоксановая жидкость ПМС-20 ГОСТ 13032-77;
- касторовое масло ГОСТ 18102-94.

Электрически прочным газом для исследований служил азот, широко используемый в электротехнике.

Предварительно жидкости подвергались очистке и стабилизации. В табл. 1 представлены характеристики очищенных и стабилизированных жидкостей: относительная диэлектрическая проницаемость ϵ , тангенс угла потерь $\operatorname{tg} \delta$, удельное объемное электрическое сопротивление ρ_v и электрическая прочность жидкости $E_{\text{пр}}$.

Таблица 1. Данные измерений характеристик полиметилсилоксановой жидкости ПМС-20 и касторового масла после очистки и стабилизации

Жидкий диэлектрик	ϵ	$\text{tg } \delta$	ρ_v , Ом·см	$E_{\text{пр}}$, кВ/мм
Полиметилсилоксановая жидкость ПМС-20	2,65	$4 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{12}$	17,5
Касторовое масло	4,51	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$6,95 \cdot 10^{11}$	26,5

Жидкости заливались в герметичные испытательные камеры с учетом их коэффициентов объемного расширения, камеры заполнялись азотом без избыточного давления при температуре окружающей среды. Все это выдерживалось в течение 24 часов, после чего производилось определение электрической прочности жидкостей. После этого испытательные камеры с жидкостями и азотом прогревались при температуре $(80^{+5})^\circ\text{C}$ в течение четырех часов. Снимались показания манометров, установленных на испытательных камерах, и производилось определение электрической прочности. Температура поднималась до $(100^{+5})^\circ\text{C}$ и образцы жидкостей с азотом прогревались в течение четырех часов. Снимались показания манометров и определялась электрическая прочность жидкостей.

Аналогично измерялись давление и электрическая прочность жидкостей в испытательных камерах при заполнении их азотом с избыточными давлениями $1 \cdot 10^5$, $2 \cdot 10^5$ и $3 \cdot 10^5$ Па.

Данные измерений электрической прочности полиметилсилоксановой жидкости ПМС-20 и касторового масла, насыщенных азотом, при различных температурах и давлении газа приведены в табл. 2.

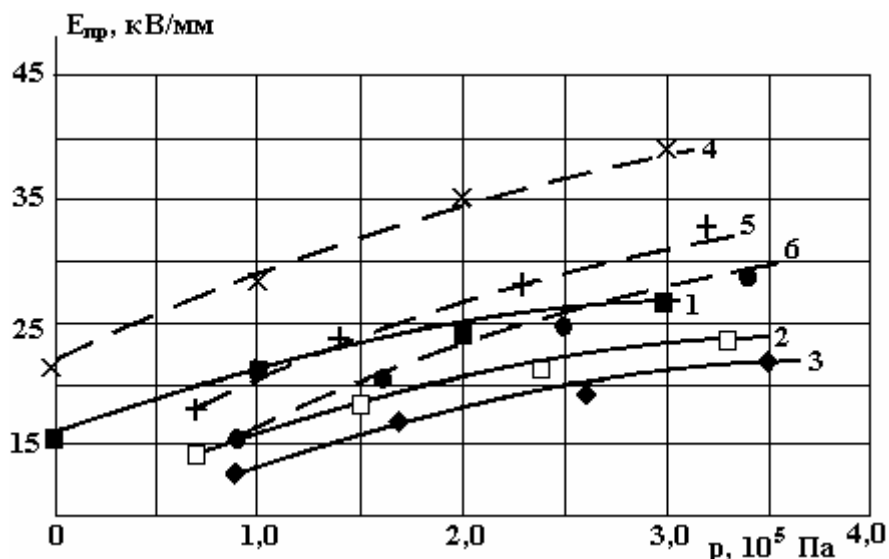
Таблица 2. Данные измерений электрической прочности полиметилсилоксановой жидкости ПМС-20 и касторового масла, насыщенных азотом, при различных температурах и давлении газа

Жидкий диэлектрик	При температуре 15 °С		При температуре 80 °С		При температуре 100 °С	
	Избыточное давление, Па	$E_{\text{пр. ср}}$, кВ/мм	Избыточное давление, Па	$E_{\text{пр. ср}}$, кВ/мм	Избыточное давление, Па	$E_{\text{пр. ср}}$, кВ/мм
Полиметилсилоксановая жидкость ПМС-20	0	15,4	$0,7 \cdot 10^5$	13,9	$0,9 \cdot 10^5$	12,6
	$1 \cdot 10^5$	21,6	$1,5 \cdot 10^5$	18,0	$1,7 \cdot 10^5$	16,4
	$2 \cdot 10^5$	23,2	$2,4 \cdot 10^5$	20,9	$2,6 \cdot 10^5$	19,0
	$3 \cdot 10^5$	25,5	$3,3 \cdot 10^5$	23,0	$3,5 \cdot 10^5$	20,9
Касторовое масло	0	21,4	$0,7 \cdot 10^5$	17,9	$0,9 \cdot 10^5$	15,3
	$1 \cdot 10^5$	27,7	$1,4 \cdot 10^5$	23,3	$1,7 \cdot 10^5$	21,3
	$2 \cdot 10^5$	33,2	$2,3 \cdot 10^5$	27,8	$2,6 \cdot 10^5$	23,8
	$3 \cdot 10^5$	38,9	$3,2 \cdot 10^5$	33,2	$3,5 \cdot 10^5$	28,4

По результатам измерений построены кривые зависимости электрической прочности полиметилсилоксановой жидкости ПМС-20 и касторового масла, насыщенных азотом, в зависимости от температуры и давления, которые приведены на рисунке.

При анализе этих зависимостей видно, что в герметичных объемах при повышенных температурах до 100°C с увеличением давления газа электрическая прочность возрастает по экспоненте. Установлено, что с ростом температуры до 100°C электрическая прочность жидкостей снижается. Экспериментально получено, что компенсацию температурного снижения электрической прочности полиметилсилоксановой жидкости ПМС-20 и касторового масла можно обеспечить за счет повышения давления газа. Так, при 100°C с повышением давления газа до $3 \cdot 10^5$ Па электрическая прочность жидкостей возрастает:

- полиметилсилоксановой жидкости ПМС-20 в 1,65 раза;
- касторового масла в 1,85 раза.



Зависимость электрической прочности полиметилсилоксановой жидкости ПМС-20 при температурах 15, 80 и 100 °С (кривые 1, 2, 3 соответственно), а также касторового масла при температурах 15, 80 и 100 °С (кривые 4, 5, 6 соответственно), насыщенного азотом, от давления

С научной точки зрения, проведенные исследования позволяют установить особенности кратковременной, а следовательно, длительной электрической прочности изоляции при насыщении ее электрически прочным газом, оценить условия, приводящие к ужесточению возникновения частичных разрядов в жидком диэлектрике при повышенных температурах и давлении. С практической стороны – их результаты могут служить основой для проектирования внутренней изоляции высоковольтных электротехнических устройств (конденсаторов, трансформаторов и т.д.), эксплуатирующихся в сильных электрических полях при повышенных температурах и давлении, с учетом обеспечения высоких показателей долговечности и удельных энергетических характеристик изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физическая энциклопедия: в 5 томах. Т.1 / Под ред. А.М. Прохоров. М., 1988.
2. Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. Л., 1968.
3. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплотехника. М., 1975.
4. Кучинский Г.С. Высоковольтные импульсные конденсаторы. Л., 1973.
5. Кучинский Г.С. Высоковольтные импульсные конденсаторы / Г.С. Кучинский, Н.И. Назаров, Г.Т. Назарова, И.Ф. Переселенцев. М., 1975.

Поступила 09.01.08

Summary

In article are resulted results of researches of influence of the heightened temperatures and pressure on electric strength of polymethylsiloxane liquid PMS-20 and castor oil, saturated by nitrogen. Data of researches it is possible to apply at creation of electrotechnical devices, in particular high-voltage pulse capacitors.