
ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

В.И. Гунько, Л.И. Онищенко, И.Ю. Гребенников, А.Я. Дмитришин,
С.О. Топоров, Е.Н. Слепец

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ ФЕНИЛКСИЛИЛЭТАНА С КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

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

Стабильность работы высоковольтных электротехнических устройств, например высоковольтных импульсных конденсаторов, при высокой напряженности электрического поля в диэлектрике определяется главным образом свойствами пропитывающего диэлектрика. При выборе жидкого диэлектрика необходимо учитывать не только требования по высокой электрической прочности, низким диэлектрическим потерям, стойкости к воздействию частичных разрядов, но и такое специфическое требование, как совместимость с применяемыми конструкционными материалами. Это означает, что жидкость не только не должна ухудшать физико-механические свойства используемых конструкционных материалов, но и сами конструкционные материалы не должны вызывать значительного снижения электрофизических характеристик жидкого диэлектрика.

Отсутствие информации по совместимости жидкого пропитывающего диэлектрика с конструкционными материалами электротехнического устройства не позволяет прогнозировать надежность и долговечность самого электротехнического устройства.

Для пропитки конденсаторов с диэлектриком на основе полимерных пленок в настоящее время широко применяется фенилксилилэтан, являющийся синтетическим углеводородным ароматическим маслом ряда диарилалкана и обладающий высокой газостойкостью и стабильностью. При оценке влияния конструкционных материалов, применяемых в конденсаторостроении, на электрофизические характеристики фенилксилилэтана рассматривалось влияние полимерных пленок, фольги и слоя металлизации [1, 2, 3]. При этом совместимость оценивалась по изменению тангенса угла потерь фенилксилилэтана как одной из наиболее чувствительных характеристик, отображающей работоспособность конденсатора в целом.

В справочной литературе [4, 5] информация о взаимном влиянии жидких диэлектриков и конструкционных материалов дана в общей форме – активным катализатором окисления жидкостей являются медь и ее сплавы, соли органических кислот и металлов переменной валентности (меди, железа, кобальта и др.), и для каждой жидкости необходимо индивидуально подбирать резины.

Цель работы – оценка влияния конструкционных материалов, применяемых в конденсаторостроении, на электрофизические характеристики фенилксилилэтана.

Для проведения исследований были выбраны следующие конструкционные материалы: фольга алюминиевая А5, полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ, поликарбонатная пленка ПК-К, полипропиленовая пленка ПП-КСШ, медь М1, медь, луженная припоем ПОС-40, латунь Л63, трубка стеклоэпоксифенольная, стеклотекстолит СТЭФ-1, полиамид ПА6 марки «Б», сополимер полипропилен 22007-29, резина МБС-М1, резина 51-1434, резина 51-1486, резина ИРП-2052, лак ЛБС-1.

Образцы конструкционных материалов помещались в отдельные стеклянные емкости с фенилксилилэтаном и выдерживались в течение 24 часов в следующих условиях:

- остаточное давление – не более 6 Па;
- температура – (80,5) °С.

После выдержки в указанных условиях емкости с фенилксилилэтаном и помещенными в них образцами конструкционных материалов охлаждались под вакуумом до температуры окружающей среды и выдерживались в течение 48 часов.

Результаты измерения электрофизических характеристик фенилксиллэтана – относительной диэлектрической проницаемости ϵ , тангенса угла потерь $\text{tg}\delta$, удельного объемного электрического сопротивления ρ и электрической прочности $E_{\text{пр.ср}}$ после контакта с конструкционными материалами показаны в таблице и на диаграммах, приведенных на рис. 1 – 4. Для наглядности изменения электрофизических характеристик фенилксиллэтана на диаграммах основной линией показаны значения электрофизических характеристик фенилксиллэтана до контакта с конструкционными материалами.

Результаты испытаний на совместимость фенилксиллэтана с конструкционными материалами

Материалы	Характеристики			
	$E_{\text{пр.ср}}$, кВ/мм	ϵ	$\text{tg}\delta$	ρ_v , Ом·см
Фольга алюминиевая А5	33,12	2,523	$2,811 \cdot 10^{-4}$	$6,07 \cdot 10^{12}$
Полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ	34,08	2,512	$2,806 \cdot 10^{-4}$	$4,93 \cdot 10^{12}$
Поликарбонатная пленка ПК-К	33,98	2,520	$2,824 \cdot 10^{-4}$	$4,78 \cdot 10^{12}$
Полипропиленовая пленка ПП-КСШ	33,76	2,522	$2,810 \cdot 10^{-4}$	$4,55 \cdot 10^{12}$
Сталь Ст3	34,69	2,524	$2,716 \cdot 10^{-4}$	$4,98 \cdot 10^{12}$
Сталь 45	34,76	2,523	$2,738 \cdot 10^{-4}$	$5,03 \cdot 10^{12}$
Медь М1	32,82	2,547	$4,272 \cdot 10^{-4}$	$2,43 \cdot 10^{12}$
Медь, луженная припоем ПОС-40	34,29	2,513	$3,116 \cdot 10^{-4}$	$4,77 \cdot 10^{12}$
Латунь Л63	33,14	2,536	$3,898 \cdot 10^{-4}$	$3,73 \cdot 10^{12}$
Трубка стеклоэпоксифенольная	33,88	2,534	$2,344 \cdot 10^{-4}$	$7,43 \cdot 10^{12}$
Стеклотекстолит СТЭФ-1	33,60	2,541	$2,819 \cdot 10^{-4}$	$6,64 \cdot 10^{12}$
Полиамид ПА6 марки «Б»	33,26	2,489	$3,126 \cdot 10^{-4}$	$5,48 \cdot 10^{12}$
Сополимер полипропилена 22007-29	33,51	2,521	$2,916 \cdot 10^{-4}$	$4,46 \cdot 10^{12}$
Резина МБС-М1	35,43	2,547	$3,017 \cdot 10^{-4}$	$9,36 \cdot 10^{12}$
Резина 51-1434	34,82	2,537	$3,226 \cdot 10^{-4}$	$6,69 \cdot 10^{12}$
Резина 51-1486	33,96	2,540	$3,132 \cdot 10^{-4}$	$4,78 \cdot 10^{12}$
Резина ИРП-2052	32,64	2,549	$4,244 \cdot 10^{-4}$	$4,26 \cdot 10^{12}$
Лак ЛБС-1, нанесенный на кабельную бумагу К-120	34,82	2,484	$3,213 \cdot 10^{-4}$	$7,64 \cdot 10^{12}$

Примечание. До испытания на совместимость с конструкционными материалами фенилксиллэтан имел следующие характеристики: $E_{\text{пр.ср}} = 35,2$ кВ/мм; $\epsilon = 2,52$; $\text{tg}\delta = 2,5 \cdot 10^{-4}$; $\rho_v = 8,37 \cdot 10^{12}$ Ом·см.

Наибольшее снижение электрической прочности фенилксиллэтана произошло после контактирования с резинами 51-1486 и ИРП-2052 на 3,5 и 7,3 % соответственно, что свидетельствует о нежелательности их применения в контакте с фенилксиллэтаном. Наименьшее влияние на изменение электрической прочности фенилксиллэтана из исследуемых резин оказали резины МБС-М1 и 51-1434, которые могут быть рекомендованы для применения в конструкциях, где в качестве жидкого пропитывающего диэлектрика использован фенилксиллэтан.

Оценивая влияние меди и ее сплавов (латуни Л63) на величину электрической прочности фенилксиллэтана, можно сделать следующий вывод: поверхности медных изделий, контактирующих с фенилксиллэтаном, по возможности должны быть облужены. Так, после контактирования с медью, поверхности которой облужены припоем ПОС-40, электрическая прочность фенилксиллэтана снизилась всего лишь на 2,6 %, в то время как после контактирования с медью и латунью Л63 электрическая прочность фенилксиллэтана снизилась на 6,7 и 6,0 % соответственно.

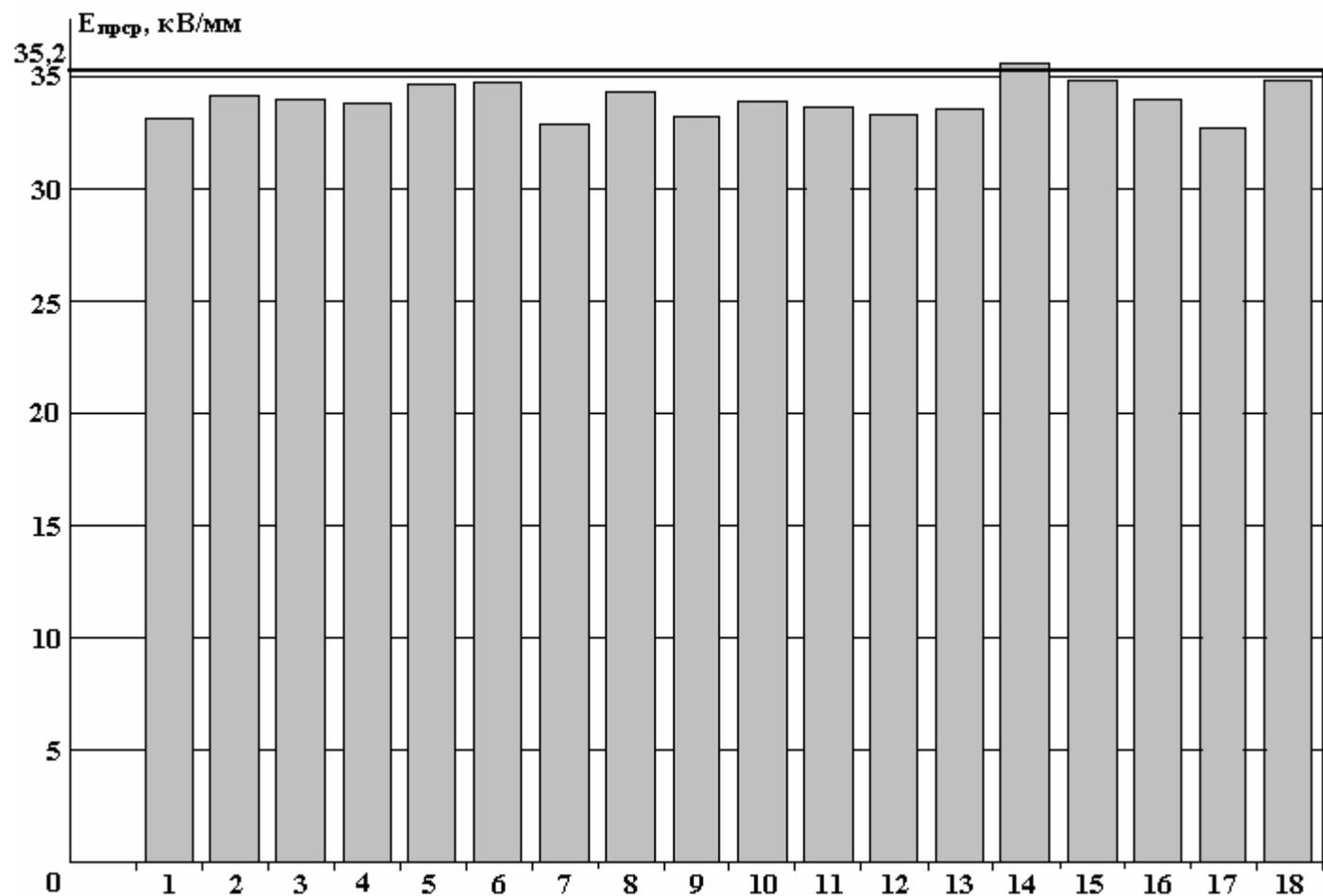


Рис. 1. Изменение электрической прочности фенилсилилэтана после контактирования с конструкционными материалами. 1 – фольга алюминиевая А5; 2 – полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ; 3 – поликарбонатная пленка ПК-К; 4 – полипропиленовая пленка ПП-КСШ; 5 – сталь Ст3; 6 – сталь 45; 7 – медь М1; 8 – медь, луженная припоем ПОС-40; 9 – латунь Л63; 10 – трубка стеклоэпоксифенольная; 11 – стеклотекстолит СТЭФ-1; 12 – полиамид ПА6 марки «Б»; 13 – сополимер полипропилена 22007-29; 14 – резина МБС-М1; 15 – резина 51-1434; 16 – резина 51-1486; 17 – резина ИРП-2052; 18 – лак ЛБС-1

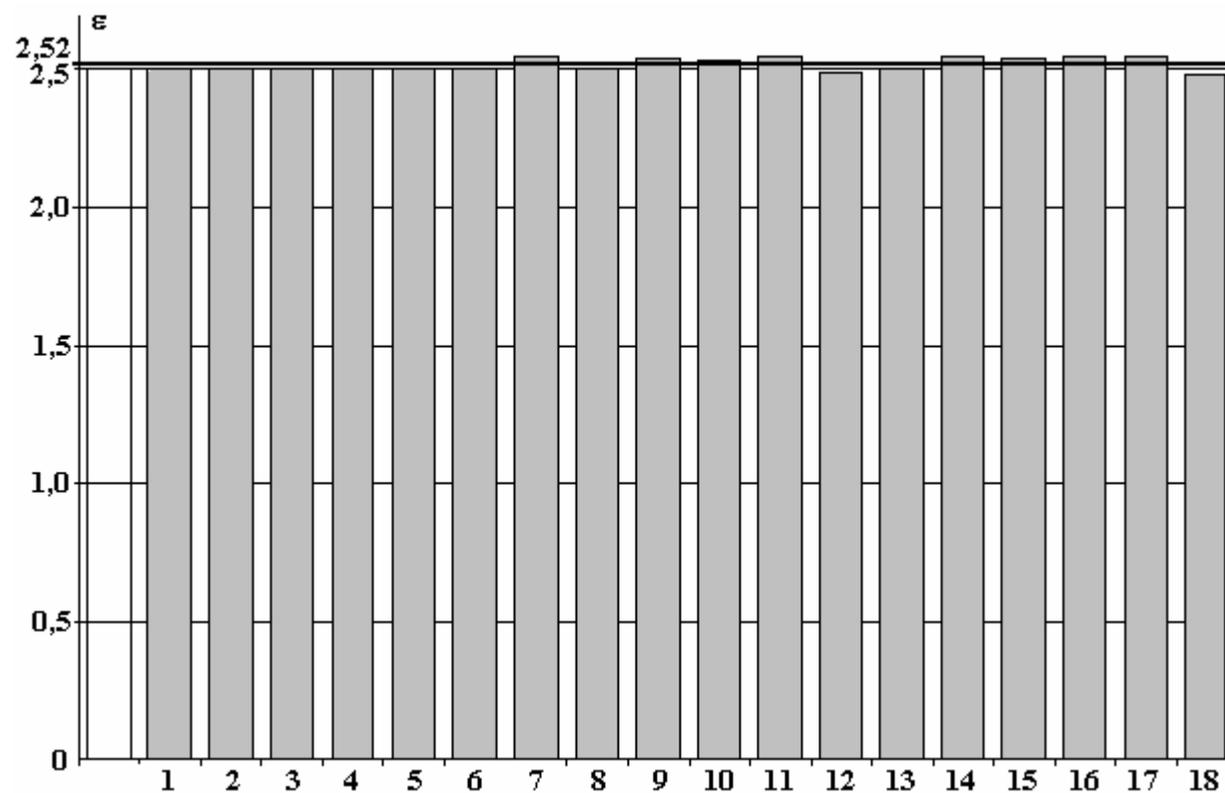


Рис. 2. Изменение относительной диэлектрической проницаемости фенилсилилэтана после контактирования с конструкционными материалами. 1 – фольга алюминиевая А5; 2 – полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ; 3 – поликарбонатная пленка ПК-К; 4 – полипропиленовая пленка ПП-КСШ; 5 – сталь Ст3; 6 – сталь 45; 7 – медь М1; 8 – медь, луженная припоем ПОС-40; 9 – латунь Л63; 10 – трубка стеклоэпоксифенольная; 11 – стеклотекстолит СТЭФ-1; 12 – полиамид ПА6 марки «Б»; 13 – сополимер полипропилена 22007-29; 14 – резина МБС-М1; 15 – резина 51-1434; 16 – резина 51-1486; 17 – резина ИРП-2052; 18 – лак ЛБС-1

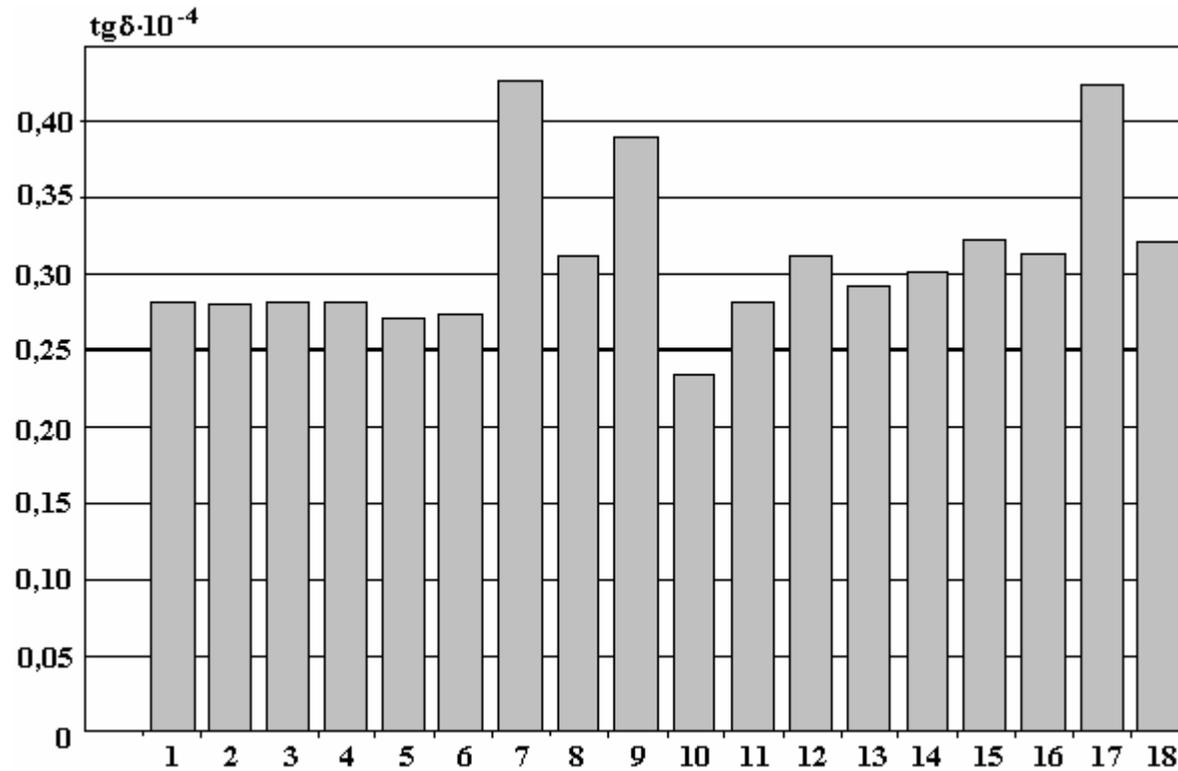


Рис. 3. Изменение тангенса угла потерь фенилсилилэтана после контактирования с конструкционными материалами. 1 – фольга алюминиевая А5; 2 – полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ; 3 – поликарбонатная пленка ПК-К; 4 – полипропиленовая пленка ПП-КСШ; 5 – сталь Ст3; 6 – сталь 45; 7 – медь М1; 8 – медь, луженная припойем ПОС-40; 9 – латунь Л63; 10 – трубка стеклоэпоксифенольная; 11 – стеклотекстолит СТЭФ-1; 12 – полиамид ПА6 марки «Б»; 13 – сополимер полипропилена 22007-29; 14 – резина МБС-М1; 15 – резина 51-1434; 16 – резина 51-1486; 17 – резина ИРП-2052; 18 – лак ЛБС-1

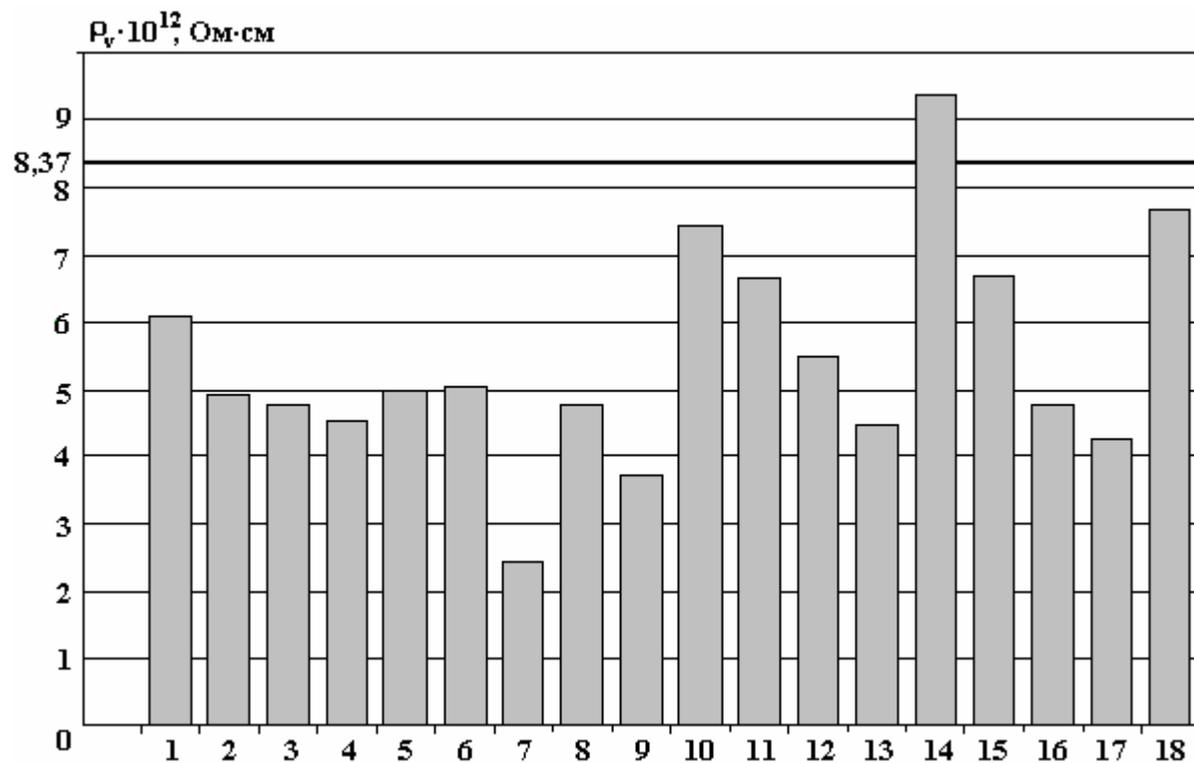


Рис. 4. Изменение удельного объемного электрического сопротивления фенолсилилэтана после контактирования с конструкционными материалами. 1 – фольга алюминиевая А5; 2 – полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ; 3 – поликарбонатная пленка ПК-К; 4 – полипропиленовая пленка ПП-КСШ; 5 – сталь Ст3; 6 – сталь 45; 7 – медь М1; 8 – медь, луженная припоем ПОС40; 9 – латунь Л63; 10 – трубка стеклоэпоксифенольная; 11 – стеклотекстолит СТЭФ-1; 12 – полиамид ПА6 марки «Б»; 13 – сополимер полипропилена 22007-29; 14 – резина МБС-М1; 15 – резина 51-1434; 16 – резина 51-1486; 17 – резина ИРП-2052; 18 – лак ЛБС-1

На величину относительной диэлектрической проницаемости фенилксилилэтана конструкционные материалы практически почти не оказали никакого влияния – наибольшее изменение относительной диэлектрической проницаемости фенилксилилэтана наблюдалось после контактирования с лаком ЛБС-1, нанесенным на кабельную бумагу К-120, при этом изменение составило всего лишь 1,4 %.

После контактирования фенилксилилэтана со всеми конструкционными материалами величина тангенса угла потерь в той или иной мере увеличилась, особенно как и ожидалось, после контактирования с медью – на 70,8 %. Наибольшее снижение величины удельного объемного электрического сопротивления фенилксилилэтана произошло после контактирования с медью М1 – на 70,9%, а после контактирования с латуной ЛБЗ – на 55,4%, в то время как после контактирования с медью, луженой припоём ПОС-40, это снижение составило всего лишь 43%.

Обобщая результаты проведенных исследований по оценке влияния конструкционных материалов на электрофизические характеристики фенилксилилэтана, можно сделать следующие выводы:

– рассмотренные конструкционные материалы существенно не ухудшают электрофизические характеристики фенилксилилэтана, что касается меди и сплавов на основе меди, то поверхности этих материалов должны быть облужены;

– для эксплуатации в контакте с фенилксилилэтаном могут быть рекомендованы следующие типы резин: МБС-М1 и 51-1434.

Полученные результаты исследований можно использовать при создании не только высоковольтных импульсных конденсаторов, но и любых других электротехнических устройств, где применен фенилксилилэтан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлева Н.М., Андреев А.М., Молодова Л.А., Луцкая Т.В. Выбор пропитывающих жидкостей для высоковольтных пленочных конденсаторов // Электротехника. 1994. № 4. С. 55–58.
2. Андреев А.М., Журавлева Н.М., Александрова Н.П., Галахова Н.М. Изменение эксплуатационных характеристик пленочно-пропитанной изоляции конденсаторов вследствие взаимодействия ее компонентов // Электротехника. 1996. № 3. С. 69–71.
3. Переселенцев И.Ф., Гинзбург С.Л., Ступин Ю.И. Пропитывающие диэлектрики для силовых конденсаторов // Электротехника. 1989. № 2. С. 47–51.
4. Электротехнические материалы: Справочник / В.Б. Березин, Н.С. Прохоров, Г.А. Рыков и др. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Энергоатомиздат, 1983. 504 с.
5. Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю.В. Корицкого и др. Т 1. 3-е изд. перераб. М.: Энергоатомиздат, 1986. 386 с.

Поступила 09.11.07

Summary

In the article is reviewed influencing structural materials on the basic electrophysical characteristics (electric strength, relative dielectric permability, loss tangent, per-unit-volume electric resistance) of phenylxylilethane.
