



ИСПЫТАНИЯ НА СОВМЕСТИМОСТЬ ЭЛАСТОМЕРНОГО МАТЕРИАЛА РЕГУЛИРУЮЩЕГО ТЕЛА И ЖИДКОГО ДИЭЛЕКТРИКА КОНЦЕВОЙ МУФТЫ

COMPATIBILITY TESTS OF THE ELASTOMERIC MATERIAL OF THE REGULATING BODY AND THE LIQUID DIELECTRIC OF A CABLE TERMINATION

A.Z. Slavinsky, *Dr. Sc. (Engineering), Docent, Head of the "Physics and Technology of the Electrotechnical Materials and Components" Department of the National Research University "MEI", General Director of the "Plant "Izolyator";*

S.V. Serebryannikov, *Dr. Sc. (Engineering), Professor of the "Physics and Technology of the Electrotechnical Materials and Components" Department of the National Research University "MEI", full member of the Academy of Electrotechnical Sciences of the RF;*

A.A. Filippov, *Teaching Assistant of the "Physics and Technology of the Electrotechnical Materials and Components" Department of the National Research University "MEI", Deputy Technical Director of the "Plant "Izolyator"*

А.З. Славинский, *д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой Физики и технологии электротехнических материалов и компонентов Национального исследовательского университета «МЭИ», генеральный директор ООО «Завод «Изолятор»;*

С.В. Серебрянников, *д-р техн. наук, профессор кафедры Физики и технологии электротехнических материалов и компонентов Национального исследовательского университета «МЭИ», действительный член Академии электротехнических наук РФ;*

А.А. Филиппов, *ассистент кафедры Физики и технологии электротехнических материалов и компонентов Национального исследовательского университета «МЭИ», заместитель технического директора, ООО «Изолятор-АКС»*

Аннотация. Многие изоляционные системы состоят из материалов разной природы. В сложном электротехническом оборудовании, изоляция которого подвергается воздействиям высоких электрических напряжений, часто имеются сразу несколько таких систем. Чтобы убедиться в работоспособности сложной изоляционной системы, проводятся электрические испытания, предусмотренные стандартами. В ходе таких испытаний не всегда уделяется достаточное внимание особенностям совместного электрического, теплового или другим видам старения материалов и их последствиям. Это обстоятельство является основанием для того, чтобы производители электротехнического оборудования искали новые пути изучения взаимного влияния материалов, а также находили современные и менее затратные в отношении ресурсов методы испытаний.

Данная статья посвящена апробации методики испытаний на совместимость изоляционного кремнийорганического эластомера стресс-конуса и жидкого диэлектрика концевой муфты, основанной на государственных стандартах. При создании методики также учитывался многолетний опыт завода «Изолятор».

Ключевые слова: диэлектрическая жидкость, ввод с бумажно-масляной изоляцией, тангенс угла диэлектрических потерь, кислотное число, класс чистоты, литьева кремнийорганическая композиция

Abstract. Many insulation systems consist of materials of different nature. In complex electrical equipment, the insulation of which is exposed to high electrical voltages, there are often several such systems at the same time. In order to verify the performance capability of a complex insulation system, electrical tests are carried out in accordance with the standards. In the process of such tests, not enough attention is always paid to the specific features of joint electrical, thermal or other types of aging of materials and to their consequences. This circumstance is the reason for the electrical equipment manufacturers to look for new approaches to the study of the mutual influence of materials, as well as to find modern and less resource-intensive test methods.

This article is devoted to the approbation of the test procedure used to assess the compatibility of the insulating silicone elastomer of the stress cone and the liquid dielectric of the termination, based on the national standards, and used for a long time at the "Izolyator" plant.

Key words: liquid dielectric, oil impregnated-paper bushing, dielectric loss tangent, acid number, purity class, cast silicone composition

Материал поступил в редакцию 17.04.2023

Автор, ответственный за переписку: Филиппов А.А.

E-mail: a.filippov_aks@mosizolyator.ru

ВВЕДЕНИЕ

В энергетической системе используется ряд оборудования, изоляционная система которого состоит как из твёрдых, так и из жидких диэлектриков. Среди него трансформаторы, маслонаполненные вводы, высоковольтные кабели с бумажно-масляной изоляцией и высоковольтные кабельные концевые муфты (ВКМ). Для оборудования, твёрдая изоляция которого состоит из бумаги, проблема совместимости с маслом обусловлена в том числе влиянием увлажнения изоляционной системы на электрическую прочность изоляции [1]. В конструкциях ВКМ для кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) в качестве изоляционных материалов используются полимеры, которые слабо подвержены влиянию увлажнения, однако, при химическом взаимодействии с жидкими диэлектрическими средами, прослеживаются изменения механических и электротехнических параметров [2].

Известно, что разные производители кабельной арматуры используют разные типы диэлектрической жидкости. Среди них синтетические полиэфирные масла, полибутеновые, а также полидиметилсилоксановые жидкости, каждая из которых обладает своими особенностями взаимодействия с материалами ВКМ, диэлектрическими, физическими и химическими свойствами [3]. Отдельным актуальным вопросом является возможность применения растительных масел в конструкциях маслонаполненного электрооборудования [4].

В связи со сложностями поставки из-за рубежа зарекомендовавших себя материалов, необходимо проводить исследования их аналогов, которые изготавливаются на территории Российской Федерации.

В качестве метода оценки применимости материалов необходимо проводить испытания на их совместимость со стандартными материалами конструкции ВКМ.

Методика испытаний материалов на совместимость. Завод «Изолятор» имеет большой опыт исследования и успешного применения минеральных масел, которые использовались в конструкции вводов с бумажно-масляной изоляцией.

Среди эксплуатационных проблем жидкой масляной изоляции в архивных отчётах по её исследованиям выделяются: газовыделение, активное окисление с выпадением осадка и другие [5]. Схожие проблемы с ухудшением свойств изоляции в ходе эксплуатации наблюдались и в маслонаполненных кабельных линиях [6].

Предлагаемая в статье методика испытаний на совместимость была разработана на основе двух, ранее используемых на заводе «Изолятор», методик: ЛПМ-2-87 и 25200.00011М «Определение совместимости конструкционных материалов с трансформаторными маслами». Методика предполагает определение таких параметров диэлектрической жидкости как тангенс угла диэлектрических потерь ($tg \delta$) при 90 °С [7], кислотное число [8], и класс чистоты [9]. Методы измерений необходимых параметров были взяты из действующих ГОСТ.

Цель работы – изучение процесса взаимного влияния путём измерения электрических характеристик диэлектрической жидкости КМ и массы эластомерных образцов усиливающей изоляции стресс-конуса ВКМ при их совместном тепловом старении и определение критериев совместимости жидкости с эластомерными материалами.



Используя опыт завода «Изолятор», совместное тепловое старение проводилось при 100 ± 5 °С в течение 1000 ч. Масса эластомера измерялась до начала испытаний и спустя 72, 168 и 1000 (предельный срок совместного теплового старения, применяемый на предприятии) часов. Данные временные интервалы были выбраны исходя из предполагаемых особенностей динамики взаимодействия исследуемых материалов: около 100 ч – активное поглощение жидкого диэлектрика образцами кремнийорганического эластомера (КОЭ) до насыщения, далее снижение скорости изменения массы. С этим связано, в частности, увеличение длительности более поздних интервалов измерения массы. В подавляющем большинстве случаев [10, 11] этого времени достаточно для выявления основных тенденций процесса совместного старения материалов.

Перед измерением массы образцов лишняя диэлектрическая жидкость удалялась с их поверхности ацетоном и протиралась фильтровальной бумагой. Параметры жидкого диэлектрика измерялись перед началом старения и по истечении 1000 ч.

Принятая методика исследований учитывает как стойкость материала к воздействию жидкого диэлектрика при повышенных температурах, так и каталитическое влияние материала на процессы окисления масла с учётом конкретных условий работы в оборудовании, в связи с чем была выбрана температура проведения испытаний.

Согласно методикам, указанным выше, материал считается нейтральным к воздействию диэлектрической жидкости, если показатели жидкости в пробах с образцами по прошествии 1000 часов не увеличились по сравнению с контрольной пробой масла. Однако данный критерий совместимости может быть пересмотрен на основании результатов данных и последующих аналогичных исследований.

Образцы. В качестве объектов исследования были использованы сложный эфир пентаэритрита (ПЭТ) с синтетическими жирными кислотами и образцы эластомерного изоляционного материала из литевой кремнийорганической композиции (ЛКОК).

Образцы из КОЭ имели конфигурацию цилиндров с диаметром основания 15,7 мм и высоту 5,5 мм,

что соответствовало объёму цилиндра около 1 см^3 . Соотношение объёмов диэлектрической жидкости к объёму КОЭ был выбран исходя из соотношения объёмов материалов в реальной ВКМ и составил 67:1.

Всего для испытаний использовались 6 образцов резины и три пробы диэлектрической жидкости. В двух пробах располагалось по 3 образца резины, ещё одна была контрольной параллельной пробой без образцов. Образцы были погружены в жидкость полностью, без соприкосновения со стенками ёмкости и друг с другом. Каждый образец был промаркирован.

Оборудование. В качестве испытательного оборудования использовались следующие аппараты и установки. Для измерения массы образцов – весы неавтоматического действия Vibra HT-224CE.

Измерение класса чистоты проводилось автоматически на установке АЗЖ-975.

Для измерения тангенса угла диэлектрических потерь использовалась установка по измерению $tg \delta$, состоящая из термостата, герметичной цилиндрической ячейки трёхзажимного типа (по ГОСТ 6581–75) с запорной арматурой и датчиком температуры, электрического нагревателя, электронного блока управления нагревом (РИТМ-04), блока высокого напряжения (5ВН-2П) со встроенным эталонным конденсатором, автоматическим мостом переменного тока (МЕП-4СА), электронного измерителя объёмного удельного сопротивления диэлектрической жидкости (ИПМ-1), электронного термометра с зондом и сетевого стабилизатора напряжения.

В качестве ёмкостей были использованы стаканы из фарфора (ёмкость 1 и 3) и алюминия (ёмкость 2).

Результаты испытаний и их анализ. До начала совместного старения были получены следующие результаты измерений параметров диэлектрической жидкости (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что измеренное значение тангенса угла диэлектрических потерь выше, чем заявлено производителем, что может служить подтверждением увлажнения масла при хранении или транспортировке, связанными с негерметичностью упаковки, которая была пластмассовой канистрой объёмом 25 л.

Таблица 1
Показатели диэлектрической жидкости до начала совместного старения

Показатель	Значение по техническому паспорту	Результат измерений
Класс чистоты	—	13
Тангенс угла диэлектрических потерь, %, при 25 °С	0,03	0,099
Кислотное число, мг КОН/г	—	0,0185

Таблица 2

Типовые значения некоторых характеристик для диэлектриков на основе ПЭТ

Характеристика	Справочное значение	Измеренное значение
Кислотное число, мг КОН / г	0,012	0,0185
Тангенс угла диэлектрических потерь при 90 °С, %	2	3,244

Таблица 3

Показатели диэлектрической жидкости после совместного старения с КОЭ и в параллельной пробе

Показатель	Результат измерений до испытаний	Результат измерений после 1000 ч		
		ёмкость 1	ёмкость 2	ёмкость 3
Класс чистоты	13	13	13	13
Тангенс угла диэлектрических потерь при 90 °С, %	3,244	3,642	5,051	5,227
Кислотное число, мг КОН/г	0,0185	0,0283	0,0281	0,0288

Таблица 4

Массы образцов резины до начала совместного старения с диэлектрической жидкостью и после установленных временных интервалов

до испытаний	Масса образца, г			Изменение массы, %
	после 72 ч	после 168 ч	после 1000 ч	
1,1878	1,2949	1,2933	1,2905	8,65
1,2566	1,3687	1,3677	1,3642	8,56
1,2298	1,3387	1,3398	1,3358	8,62
1,0928	1,1919	1,1914	1,1858	8,51
1,1318	1,2343	1,2347	1,2298	8,66
1,0308	1,1229	1,1233	1,1187	8,53

Тангенс угла диэлектрических потерь также был измерен при температуре 90 °С. Полученный результат соотнесён со значением, приведённым в специальной литературе [12], для жидкостей на основе ПЭТ в табл. 2.

Увеличенное значение $tg \delta$ при 90 °С прямо свидетельствует об увлажнении диэлектрической жидкости на основе ПЭТ [12].

После совместной выдержки материалов были получены следующие значения параметров диэлектрической жидкости (табл. 3) и массы образцов (табл. 4).

Класс чистоты исследуемой жидкости по ГОСТ 17216–2001 составил 13, при этом не менялся после совместной выдержки материалов. Сам по себе класс чистоты не является нормируемой величиной для жидкостей ВКМ, однако такое высокое значение

свидетельствует в соответствии с [10] о высокой концентрации частиц примесей достаточно большого размера (в том числе от 50 до 100 мкм).

С точки зрения эксплуатационных характеристик, отсутствие изменений в классе чистоты в ходе старения говорит об отсутствии появления новых частиц сравнимых по концентрации и размерам с уже имеющимися в жидкости. С учётом последнего, нельзя точно говорить о том, что в ходе эксперимента вообще не появляются новые частицы и что они не могут влиять на результат.

Увеличение тангенса угла диэлектрических потерь жидкости, выдержанной вместе с образцами КОЭ, также косвенно подтверждает предыдущее утверждение. Увеличение значения контрольной пробы составляет 12,3 %, в то время, как увеличение зна-



чения проб жидкостей, контактировавших с резиной, составили 55,7 % для первой ёмкости и 61,1 % для второй соответственно.

Отдельно стоит отметить, что полученные значения тангенса угла диэлектрических потерь при 25 °С соответствуют требованиям ОАО «ФСК ЕЭС», однако измеренное при 90 °С по ГОСТ 6581–75 значение превышает требуемое [13]. Измеренные после совместного старения значения тангенса угла оказались выше требуемых СТО ПАО «РОССЕТИ» для изоляционной жидкости уже находившейся в эксплуатации.[14].

Как показывают результаты в табл. 3, увеличение кислотного числа слабо зависит от присутствия в жидком диэлектрике резины, являясь в большей степени свойством самой жидкости. Изменение кислотного числа указывает на степень старения диэлектрической жидкости, вызванное окислительным процессом. Этот параметр важно контролировать в ходе исследования старения жидкого диэлектрика, так как активное окисление диэлектрических жидкостей может приводить к накоплению проводящего флокюлята внутри жидкой изоляции ВКМ и выходу её из строя [15].

Интересным моментом исследований является изменение массы образцов.

Из графика на рис. 1 становится очевидна общая тенденция механизма поглощения резиной жидкого диэлектрика. Во время первых нескольких десятков часов идёт набухание образца КОЭ и активное поглощение им жидкости, после чего масса образца уменьшается. Можно предположить два механизма изменения массы. По первому, после насыщения происходит обратный процесс и жидкость выталкивается из образцов КОЭ. По второму механизму предполагается, что масса образцов резины могла уменьшаться за счёт разложения самого КОЭ.

В пользу первого механизма потери массы говорит эффект «выпотевания» жидкости (рис. 2, сверху) из образцов резины после их удаления из ёмкостей с жидким диэлектриком.

Кроме того, визуально наблюдается разная пигментация образцов, старение которых проводилось в разных ёмкостях (рис. 2, снизу).

В пользу второго механизма говорят исследования, проводимые в [14, 15], о влиянии трансформаторного масла на КОЭ RTV. В ходе изучения состава поверхности образца эластомера после деградации в масле использовались методы ИК-спектроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, а также СЭМ (сканирующая электронная микроскопия). В результате исследований было предположено, что при диффузии масла внутрь образца эластомера происходит его разбухание, которое разрушает структуру резины, разрывая некоторые химические связи, такие как Si-CH₃, Si-O-Si, Si(CH₃)₂ и Si(CH₃)₃. Кроме того, в [16, 17] наблюдался процесс разрыва поперечной связи вулканизированного КОЭ с преобразованием молекул Si(-O)₃ в молекулы Si(-O)₂.

Снимки, сделанные с помощью СЭМ, показали, что после совместного старения образца эластомера и масла, молекулы некоторых наполнителей, особенно находящиеся на поверхности образцов, отделяются от неё и даже растворяются в трансформаторном масле, оставляя на поверхности отверстия и полости.

Кроме того, в [14] описана зависимость изменения массы с течением времени. Зависимость имеет форму кривой, соответствующей уравнению (1).

$$m = m_0 + A \times e^{\frac{-t}{t_0}} \quad (1)$$

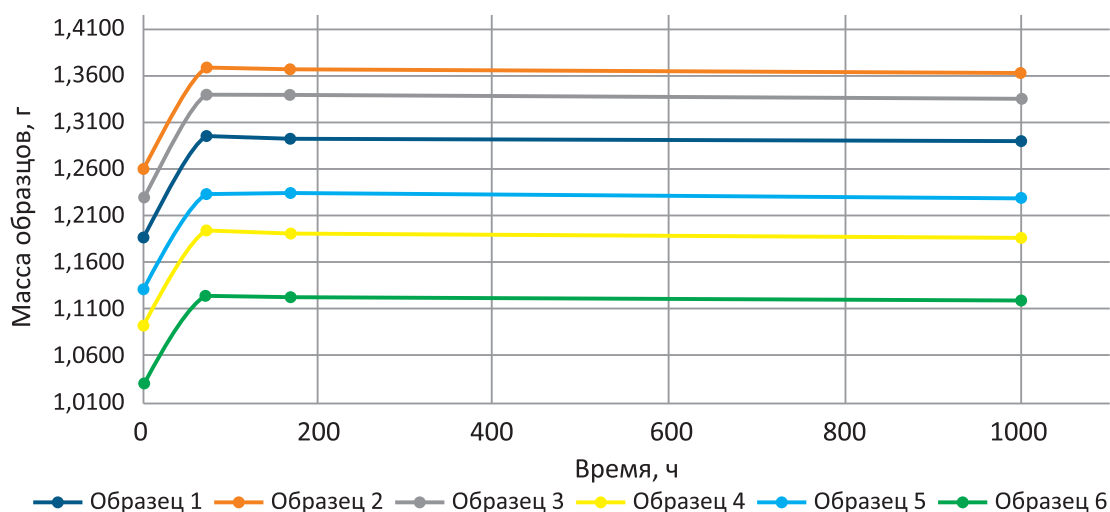


Рис. 1. Изменение массы образцов резины с течением времени при совместном старении в диэлектрической жидкости при 100 °С

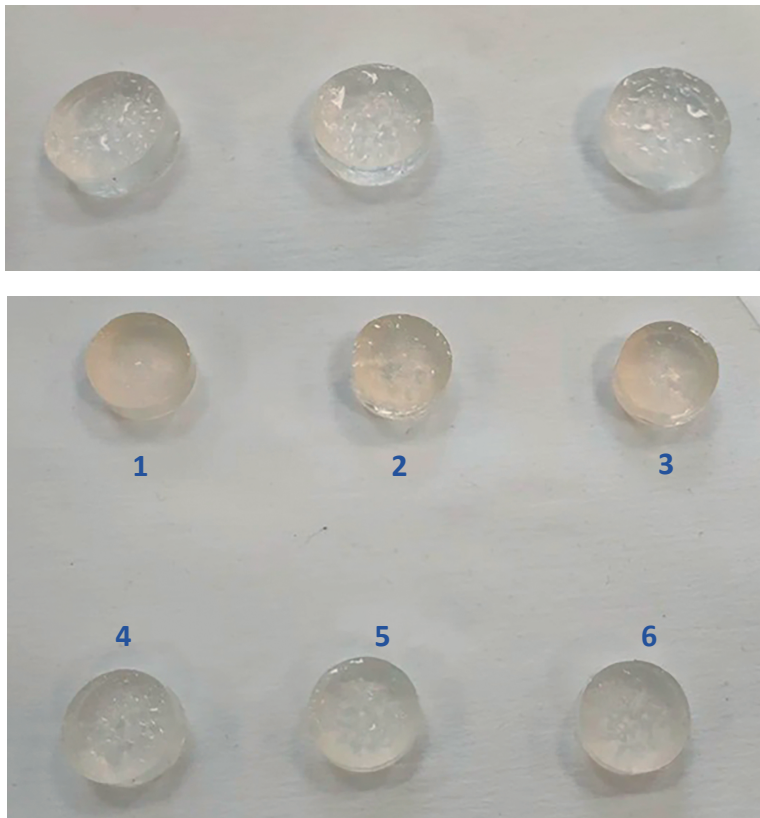


Рис. 2. «Выпотевание» диэлектрической жидкости из образцов резины (сверху), разница в цвете образцов резины из ёмкостей 2 и 3 (снизу)

где m – относительная масса образца;
 m_0 – масса насыщения образца;
 t – время выдержки;
 A и t_0 – эмпирические коэффициенты, определяемые свойствами материала.

Для кремнийорганического эластомера коэффициенты A и t_0 для уравнения (1) имеют следующие значения:

$$A = 0,14,$$

$$t_0 = 19,8235.$$

Тогда полученная кривая соответствует экспериментальным данным (рис. 3) и можно предположить, как именно происходит процесс деградации эластомера.

Необходимо заметить, что полученные кривые на рис. 1 и 3 не согласуются между собой в интервале первых часов взаимного теплового старения материалов. Представленная математическая модель (1) не рассматривает поглощение эластомером жидкого диэлектрика, а начальная точка совпадает с точкой максимума набухания образца. В дальнейших исследованиях предполагается более тщательное наблюдение за изменением массы образцов в первые 100 часов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опробованная методика совместимости материалов, заключающаяся в совместном старении материалов при повышенной температуре, на данный момент не даёт чёткого и однозначного ответа на вопрос совместимы ли материалы. Полученные результаты в большей степени подчёркивают, что взаимодействие материалов происходит активно и приводит к изменению параметров как диэлектрической жидкости, так и резины, однако по ним нельзя оценить последствия прослеживаемых изменений. Такой результат соответствует общей цели исследований и даёт почву для развития методики.

Для решения задачи поиска замены иностранных материалов нужно проводить подобные исследования КОЭ и с другими жидкими диэлектриками.

Сходимость экспериментальных данных с найденной в литературе моделью изменения массы в процессе старения говорит о том, что процессы старения материалов идентичны, связаны с проникновением диэлектрической жидкости в образец резины и её частичным разрушением.

Для оценки критичности данного разрушения требуется определить толщину материала, которая

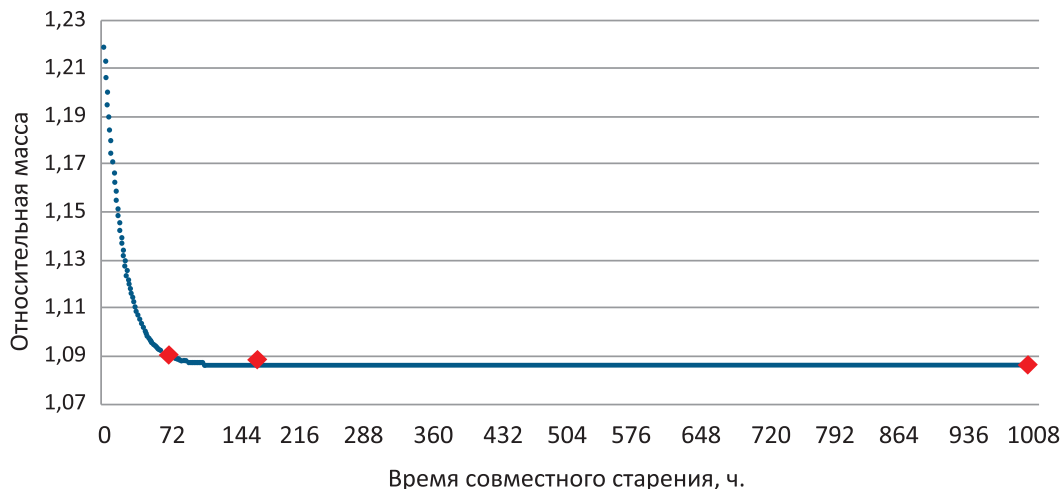


Рис. 3. Зависимость изменения массы образца эластомера от времени совместного старения с диэлектрической жидкостью, по [14]



подвергается деградации. Так как в работе исследуются материалы конструкции ВКМ, частичное разрушение поверхности эластомерного стресс-конуса может не иметь значительных последствий для эксплуатации этого вида оборудования.

Показатель изменения массы образца может использоваться как один из показателей совместимости материалов, так как процесс изменения массы продолжается до насыщения. В этом случае требуется определить параметр насыщения: например, глубину насыщения (то есть толщину материала, подвергающуюся деградации), коэффициент насыщения (отношение массы до совместного старения с массой после него) или иную величину. Однако для других материалов конструкции ВКМ это может оказаться неверным и потребуются искать иной показатель совместимости.

Время совместного старения материалов можно сократить до нескольких сотен часов, так как изменение массы образцов незначительно после 140–240 часов. Это делает данную методику эффективной и применимой на промышленном предприятии. Однако меньшее время выдержки материалов может сказаться на результатах измерений показателей диэлектрической жидкости.

Для более глубокого понимания механизмов старения необходимо дополнить и развить представленную методику в части измерения механических параметров резины, анализа состава поверхности образцов эластомера и жидкости до и после старения. Также, возможно, необходимо следить за другими показателями состояния данной изоляционной системы.

Список источников

1. **Nogueira T., Carvalho J., Magano J.** Eco-Friendly Ester Fluid for Power Transformers versus Mineral Oil: Design Considerations // *Energies*. 2022. 15. 5418.
2. **Karambar S., Tenbohlen S.** Compatibility Study of Silicone Rubber and Mineral Oil // *Energies*. 2021. 14. 5899.
3. **Perrier C., Beroual A.** Experimental Investigations on Insulating Liquids for power transformers: Mineral, Ester, and Silicone Oils // *IEEE Electrical Insulation Magazine*. November-December 2009. Vol. 25. Issue 6.
4. **Аникеева М.А.** Исследование характеристик растительных масел для высоковольтного маслонаполненного электрооборудования: автореф. дисс. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2016. – 23 с.
5. **Евсеев Ю.А., Кассихин С.Д., Куликов И.П., Савина Е.И.** О причинах повреждаемости высоковольтных герметичных вводов с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа // *Электрические станции*. 1989. № 1. С. 67–72.
6. **Крючков А.А., Ларина Э.Т., Образцов Ю.В., Попов Л.В., Шувалов М.Ю.** Комплексный подход к про-

блеме диагностирования маслонаполненных кабельных линий // *Электротехника*. 1996. № 11. С. 59–62.

7. ГОСТ 6581–75. Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний. – М.: Стандартинформ, 2008.

8. ГОСТ 5985–79. Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа. – М.: Стандартинформ, 2009.

9. ГОСТ 17216–2001. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей. – М.: Стандартинформ, 2008.

10. Электрическое старение полимерных диэлектриков. – Баку: Азернешр, 1987. – 206 с.

11. **Власов А.Б.** Старение неполярных полимерных диэлектриков при одновременном воздействии переменного электрического напряжения и электролитов: дисс. ... канд. техн. наук. – М.: МЭИ, 1980. – 204 с.

12. Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. – М.: Энергоиздат, 2004. – 616 с.

13. СТО 56947007- 29.230.20.087–2011. Типовые технические требования к кабельным системам 110, 220, 330, 500 кВ: Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». – АО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2011.

14. СТО 34.01-23.1-001–2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования: Стандарт организации ПАО «РОССЕТИ». – ОАО «Фирма ОРГРЭС», 2017.

15. **Jing Zhang, Wei Wang, Lin Cheng, Haoming Wang and Jiping Liu.** Breakdown mechanism Analysis of Silicone Oil Flocculation in XLPE Cable Terminations // *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1176. 2019.

16. **Xishan Wen, Xiaoqing Yuan, Lei Lan, Lu Hao, Shaodong Li, Zhihui Zheng, Jun Kang.** Effect of Transformer Oil on Room Temperature Vulcanized Silicone Rubber // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. August 2017. Vol. 24, No 4.

17. **Zhenghong Bao, Zhongqiu Zhang, Xiaoqing Yuan, Xishan Wen, Lei Lan, Lu Hao.** Influences of transformer oil on performance of RTV silicone rubber // *IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*. 2016.

List of References

1. **Nogueira T., Carvalho J., Magano J.** Eco-Friendly Ester Fluid for Power Transformers versus Mineral Oil: Design Considerations // *Energies*. 2022. 15. 5418.
2. **Karambar S., Tenbohlen S.** Compatibility Study of Silicone Rubber and Mineral Oil // *Energies*. 2021. 14. 5899.
3. **Perrier C., Beroual A.** Experimental Investigations on Insulating Liquids for power transformers: Mineral, Ester, and Silicone Oils // *IEEE Electrical Insulation Magazine*. November-December 2009. Vol. 25. Issue 6.
4. **Anikeeva M.A.** Investigation of the characteristics of vegetable oils for high-voltage oil-filled electric



equipment: thesis abstract of the Cand. Sc. (Engineering). – Novosibirsk, 2016. – 23 p.

5. **Evseev Yu.A., Kassikhin S.D., Kulikov I.P., Savina E.I.** On the causes of damages of high-voltage sealed glands with paper-oil insulation of condenser type // Electric power stations. 1989. No 1. P. 67–72.

6. **Kryuchkov A.A., Larina E.T., Obratsov Yu.V., Popov L.V., Shuvalov M.Yu.** An integrated approach to the problem of oil-filled cable line diagnostics // Electrotechnics. 1996. No 11. P. 59–62.

7. GOST 6581–75. Liquid electrical insulating materials. Electric test methods. – M.: Standartinform, 2008.

8. GOST 5985–79. Petroleum products. Method for determination of acidity and acid number. – M.: Standartinform, 2009.

9. GOST 17216–2001. Industrial cleanliness. Grades of liquids purity. – M.: Standartinform, 2008.

10. Electric ageing of polymer dielectrics. – Baku: Azerneshp, 1987. – 206 p.

11. **Vlasov A.B.** Ageing of nonpolar polymer dielectrics under simultaneous exposure to alternating voltage and electrolytes: thesis of the Cand.Sc. (Engineering). – M.: MEI, 1980. – 204 p.

12. Power transformers. Reference book / under the editorship of S.D. Lizunov, A.K. Lokhanin. – M.: Energoizdat, 2004. – 616 p.

13. STO 56947007-29.230.20.087–2011. Standard technical requirements for cable systems of 110, 220, 330, 500 kV: Standard of OJSC “FSK EES”. – JSC “STC FSK EES”, 2011.

14. STO 34.01-23.1-001–2017. Scope and norms of testing of electrical equipment: Standard of PAO “ROSSETI. – OJSC “Firm ORGES”, 2017.

15. **Jing Zhang, Wei Wang, Lin Cheng, Haoming Wang and Jiping Liu.** Breakdown mechanism Analysis of Silicone Oil Flocculation in XLPE Cable Terminations // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1176. 2019.

16. **Xishan Wen, Xiaoqing Yuan, Lei Lan, Lu Hao, Shaodong Li, Zhihui Zheng, Jun Kang.** Effect of Transformer Oil on Room Temperature Vulcanized Silicone Rubber // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. August 2017. Vol. 24, No 4.

17. **Zhenghong Bao, Zhongqiu Zhang, Xiaoqing Yuan, Xishan Wen, Lei Lan, Lu Hao.** Influences of transformer oil on performance of RTV silicone rubber // IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE). 2016.

КАБЕЛЬНАЯ АРМАТУРА «ИЗОЛЯТОР-АКС»

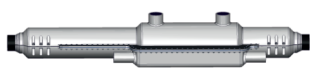
КАБЕЛЬНАЯ
АРМАТУРА
НА КЛАССЫ
НАПРЯЖЕНИЯ
110–220 кВ



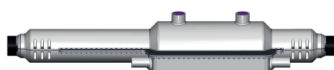
Завод «Изолятор-АКС» проектирует и производит высоковольтную кабельную арматуру на классы напряжения от 110 до 220 кВ для сечения кабеля от 185 до 2500 мм² — новое направление деятельности группы компаний «Изолятор».

Производится кабельная арматура всех типов для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена: кабельные вводы для соединения силового кабеля с элегазовым распределительным устройством или трансформатором (ИКВ), концевые муфты наружного исполнения с композитным изолятором для осуществления перехода воздушной линии электропередачи в кабельную (ИКМ), включая концевые муфты сухого исполнения (ИСКМ), соединительные муфты с прямым соединением экранов (ИСМ) и с разделением экранов — транспозиционные (ИСМР).

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ МУФТЫ



**ИСМ-126 (-172)
ИСМР-126 (-172)**
Макс. рабочее напряжение 126/172 кВ
Сечения токоведущих жил кабелей, с которыми используется арматура, 185–2000 мм²



**ИСМ-252
ИСКМ-252**
Макс. рабочее напряжение 252 кВ
Сечения токоведущих жил кабелей, с которыми используется арматура, 400–2500 мм²

КОНЦЕВЫЕ МУФТЫ



**ИКМ-126 (-172)
ИСКМ-126 (-172)**
Макс. рабочее напряжение 126/172 кВ
Сечения токоведущих жил кабелей, с которыми используется арматура, 185–2000 мм²



**ИКМ-252
ИСКМ-252**
Макс. рабочее напряжение 252 кВ
Сечения токоведущих жил кабелей, с которыми используется арматура, 400–2500 мм²

КАБЕЛЬНЫЕ ВВОДЫ



ИКВ-126 (-172)
Макс. рабочее напряжение 126/172 кВ
Сечения токоведущих жил кабелей, с которыми используется арматура, 185–2000 мм²



ИКВ-252
Макс. рабочее напряжение 252 кВ
Сечения токоведущих жил кабелей, с которыми используется арматура, 400–2500 мм²

