

УДК 621.314.21

ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИ(ОКТАФТОРПЕНТИЛОВОГО) ЭФИРА

Сергеева В. С., Хоперскова Л. В.

ФБГОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград,

e-mail: khoperskova@mail.ru

Наиболее распространенным жидким диэлектриком на сегодняшний день является трансформаторное масло. Однако, при высоких температурах рабочих частей оборудования требования пожаро- и взрывобезопасности не выполняются. В этих случаях применяются синтетические жидкие диэлектрики. При номинальных условиях известные фреоны и хладоны являются стабильными веществами, но при достижении температуры вспышки разлагаются с образованием высокотоксичных продуктов. С увеличением количества атомов хлора возрастает токсичность и озоноразрушающая способность. Перфторированные соединения имеют высокие показатели безопасности, но имеют сложную и, как следствие, дорогостоящую процедуру получения.

Установлено, что ди(октафторпентильный) эфир не имеет температуры вспышки, воспламенения, самовоспламенения, температурных и концентрационных пределов распространения пламени, взрывобезопасен, не токсичен во всем диапазоне температур эксплуатации. Озоноразрушающий потенциал ди(октафторпентилового) эфира относительно хлорфторуглеводородов равен нулю. В результате проведенного исследования можно отнести синтезированный фторсодержащий жидкий диэлектрик к веществам четвертого класса опасности – вещества малоопасные.

Ключевые слова: электроизоляция, ди(октафторпентильный) эфир, экологическая опасность, токсичность

ECOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL PROPERTIES OF DI(OKTAFLUORPENTIL) ETHER

Sergeeva V. S., Khoperskova L. V.

Volgograd State Technical University, Volgograd,

e-mail: khoperskova@mail.ru

The most widespread liquid dielectric is transformer oil today. However, requirements of fire safety and explosion safety are not carried out at high temperatures of working parts of an inventory. In these cases synthetic liquid dielectrics are applied. The known freons are stable substances at rated conditions, but at attainment of flash point decay with formation of high-toxic products. Toxicity and ozone-depleting ability increases with increase in amount of atoms of chlorine. Perfluorinated compounds have high safety metrics, but have difficult and, as a result, the expensive procedure of receiving.

It is established that di(oktafluorpentil) ether has no flash point, inflaming, auto-ignition, temperature and concentration limits of flame spread. It is explosion-proof and is not toxic in all temperature range of operation. Ozone-depleting potential of di(oktafluorpentil) ether is equal to zero concerning chlorofluorohydrocarbons. As a result of the conducted research the synthesized fluorinated fluid dielectric can be carried to substances of the fourth class of danger - substances low-dangerous.

Keywords: electrical insulation, di(oktafluorpentil) ether, ecological hazard, toxicity

Среди ключевых тем Года экологии в Российской Федерации значится внедрение наилучших доступных технологий на основе современных достижений науки и техники. Для электроэнергетики остро стоит проблема перехода к использованию в качестве жидких диэлектриков и охлаждающих жидкостей нетоксичных и экологически

безопасных веществ. К таковым, как представляется, можно отнести ди(октафторпентилловый) эфир. Сравним его характеристики с используемыми в настоящее время промышленными соединениями.

В высоковольтном энергетическом оборудовании в целях обеспечения эффективного теплоотвода применяются вещества, которые обладают высокой степенью токсичности и экологической опасностью. К таковым относятся хлор- и фторсодержащие фреоны [2]. При нормальных условиях они являются стабильными веществами, но при достижении температуры вспышки разлагаются с образованием высокотоксичных продуктов. Например, пар фреона R 134-а разлагается под влиянием пламени с образованием отравляющих и раздражающих соединений, таких, как фторводород. А фреоны R-12 и R-22 под действием температуры выше 400°C могут разлагаться с образованием тетрафторэтилена, хлористого водорода (2-й класс опасности), фтористого водорода (1-й класс опасности) [2]. Экологическая опасность фреонов зависит от содержания трех составляющих: хлора, фтора и водорода. Чем меньше атомов водорода, тем дольше фреон не разлагается и не наносит вред окружающей среде. А по мере увеличения числа атомов хлора растёт токсичность и озоноразрушающая способность фреонов. Вред, наносимый такими веществами озоновому слою, оценивается величиной озоноразрушающего потенциала. Чем он больше, тем вреднее вещество. С целью международного противодействия разрушению озонового слоя был разработан Монреальский протокол. Он предусматривает для каждой группы галогенированных углеводородов определённый срок, в течение которого она должна быть снята с производства и исключена из промышленного применения.

Помимо разрушения озонового слоя атмосферы, хлорсодержащие фреоны могут разлагаться с образованием фосгена, вызывающего отек легких. Обладают политропными свойствами, но большинство из них оказывают токсическое влияние на нервную систему и паренхиматозные органы, особенно на печень и почки. На центральную нервную систему действуют как наркотики, вызывают возбуждение, судороги. Сила наркотического действия возрастает с увеличением числа атомов хлора в молекуле. Большая часть хлорсодержащих хладонов раздражает кожу и слизистые оболочки [2].

В конце 20 века были изобретены специальные негорючие масла – совтол и совол, которые применяются для охлаждения и электрической изоляции трансформаторов. Их можно использовать, не меняя, в течение 20 лет. Относясь к полихлорированным бифенилам (ПХБ), веществам первого класса опасности, они являются стойкими органическими загрязнителями, наносящими вред здоровью человека и окружающей

среде. В настоящее время в соответствии со Стокгольмской конвенцией в России проводятся мероприятия по выводу из строя и утилизации оборудования на основе ПХБ [5].

По сравнению с фреонами, которые имеют близкую структуру, но содержат атомы хлора, перфторированные органические соединения не представляют совершенно никакой опасности для озонового слоя Земли. Перфторированные органические соединения (ПФОС) – продукты исчерпывающего фторирования углеводородов. Основные компоненты перфторуглеводородов – углерод и фтор. Кроме того, в состав ПФОС могут входить кислород, азот, бром и другие элементы. Перфторированные диэлектрики используют для создания испарительного охлаждения в силовых трансформаторах. По диэлектрическим свойствам фторированные углеводороды относят к неполярным соединениям. Их смесь с воздухом взрывобезопасна. Недостатки — высокая стоимость ПФОС (как минимум десятки долларов за килограмм) и токсичность [6].

Поэтому поиск экологически безопасных и нетоксичных соединений для использования в качестве жидких диэлектриков является актуальной задачей.

Ди(октафторпентиловый) эфир – $[\text{H}(\text{CF}_2)_4\text{CH}_2]_2\text{O}$ относится к полифторированным соединениям, представляет собой бесцветную жидкость, обладает высокой термической стабильностью и химической стойкостью, а также обладает водо- и маслоотталкивающими свойствами. Установлено, что его можно применять в качестве жидкого диэлектрика [4]. Следует отметить, что данную электроизолирующую жидкость получают на основе октафторпентанола — побочного продукта производства спирво-теломеров, из которых используется только тетрафторпропанол. Получение ди(октафторпентилового) эфира, $[\text{H}(\text{CF}_2)_4\text{CH}_2]_2\text{O}$, осуществляется при взаимодействии полифторированного спирта с тионилхлоридом в присутствии катализатора при ступенчатом повышении температуры от -15°C до 50°C [3]. В то время как перфторированные соединения получают способом электрохимического фторирования [1], что и приводит к их значительной стоимости.

Ди(октафторпентиловый) эфир не имеет температуры вспышки, воспламенения, самовоспламенения, температурных и концентрационных пределов распространения пламени, взрывобезопасен, не токсичен во всем диапазоне температур эксплуатации. Таким образом, ди(октафторпентиловый) эфир на данном этапе оценки и сравнения является более предпочтительным по уровню безопасности, чем фреоны. При достигнутой степени очистки, 99,95%, его можно отнести к веществам 4 класса опасности (вещества малоопасные).

В таблице 1 приведены основные электроизоляционные параметры и принадлежность к классу опасности некоторых перфторированных диэлектриков и ди(октафторпентилового) эфира. Перфтордибутиловый и перфтордиамиловый эфиры применяют в качестве теплоносителя и диэлектрика для охлаждения радиоэлектронной аппаратуры и различных элементов электрооборудования. При этом диапазон температур и тепловых нагрузок достаточно широк. Применение их в качестве изолирующих веществ в высоковольтном электронном оборудовании сопряжено с высокими экономическими затратами. Еще одним недостатком является способ получения данных веществ – электрохимическое фторирование углеводородных аналогов, который сопровождается тем, что в полученных соединениях содержится много продуктов разложения. Это создает серьезную проблему, поскольку примеси, как правило, токсичны при высоких температурах [6].

Таблица 1

Сравнительные характеристики фторсодержащих электроизолирующих жидкостей

Диэлектрическая жидкость	Плотность, г/см ³	Температура вспышки, °С	Температура застывания, °С	Удельное сопротивление, Ом·м	Тангенс угла диэлектрических потерь	Электрическая прочность кВ/мм	Класс опасности
Перфтортриэтиламин (МД-3Ф)	1750	отсутствует	-145	$5 \cdot 10^{13}$	10^{-1}	30	3
Перфтордибутиловый эфир (ДЭФ)	1730	отсутствует	-70	$4 \cdot 10^{13}$	10^{-1}	40	2
Перфторметилдиэтиламин (МД-46)	1670	отсутствует	-163	$1,5 \cdot 10^{13}$	10^{-1}	30	3
Ди(октафторпентиловый) эфир	1800	отсутствует	Ниже -45	10^{12}	10^{-4}	50	4

Из приведенной таблицы видно, что ди(октафторпентиловый) эфир имеет преимущества по основным электроизоляционным параметрам. Важным показателем, характеризующим эффективность электрической изоляции, является тангенс угла диэлектрических потерь. Тангенс угла диэлектрических потерь ди(октафторпентилового)

эфира при степени очистки 99,95% на несколько порядков меньше, чем у остальных рассматриваемых диэлектрических жидкостей, а значит, нагрев объема исследуемого жидкого диэлектрика за счет возникновения токов проводимости существенно меньше. Таким образом, применение ди(октафторпентилового) эфира способствует повышению надежности и эффективности работы высоковольтного электрического оборудования. А его эколого-токсикологические характеристики, обусловленные структурой молекул, превосходят перфторированные промышленные соединения.

Список литературы

1. Байрамов В. М. Основы электрохимии: учебное пособие для вузов / В. М. Байрамов. - Москва: Академия, 2005. – 240 с.
2. Лазарев Н. В. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров, врачей. / Н. В. Лазарев. - Ленинград: Химия, 1977. – 281 с.
3. Патент РФ № 2312097 РФ, МПК C07C43/12, C07C41/01. Способ получения симметричных ди(полифторалкиловых) эфиров / А. И. Рахимов, А. В. Налесная; ИХПЭ РАЕН, ВолгГТУ. – 2007.
4. Патент РФ № 2509384 РФ, МПК H01B3/20, H01B3/42. Электроизолирующая жидкость / А. И. Рахимов, В. П. Заярный, Д. Д. Молдавский, Л. В. Хоперскова, А. В. Мирошниченко, В. К. Михайлов, В. Е. Аввакумов; ВолгГТУ. – 2014.
5. Перова М. Полихлорированные бифенилы в энергетическом секторе РФ [Электронный ресурс] //Вестник «ЮНИДО в России». 2017. №17. URL: http://www.unido-russia.ru/archive/num17/art17_7/.
6. Привалов Е. Е. Электротехнические материалы систем электроснабжения/ Е. Е. Привалов. – Москва: Директ-Медиа, 2016. – 156 с.