

условиях. Связано это с повышенными физико-механическими характеристиками базовой смазки КПСМ-2М, в частности, высоким показателем предела прочности на сдвиг (табл. 1), который коррелирует с повышенным значением вязкости, при котором под действием ЭДС частицы металлизированного графита не выстраиваются в цепочки, способствующих протеканию электрического тока.

Таблица 1. Физико-механические и триботехнические характеристики смазочных материалов

Смазка	Физико-механические и триботехнические характеристики				
	Показатель износа, мм	Температура каплепадения, °С	Пенетрация, мм·10 ⁻¹	Коллоидная стабильность, %	Предел прочности на сдвиг, Па
ЦИАТИМ-201	1,07	175	325	26	250
КПСМ-2М	0,61	247	362	8,64	453
СК-1	0,75	201	339	26	232
СК-2	0,73	171	319	8,44	730

Улучшение показателя износа для смазки СК-1 по сравнению со смазкой ЦИАТИМ-201 более чем 1,4 раза объясняется защитным действием введенного коллоидного графита. Повышение показателя износа СК-2 по сравнению с КПСМ-2М незначительно и находится в пределах инструментальной ошибки. Рост температуры каплепадения для СК-1 и ее уменьшение для СК-2 в сравнении скорее всего объясняется отличиями межфазного взаимодействия частиц металлизированного графита с их базовыми смазками.

Известно, что высокая температура и механическое воздействие на смазочные материалы при введении добавок, изменяет среднее отношение длины к диаметру волокон дисперсной фазы, что приводит к изменению их предела прочности на сдвиг [3]. Очевидно, что для смазки на основе кальциевого комплексного мыла этот эффект проявляется в большей степени, что приводит к повышению почти в 1,7 раза предела прочности, по сравнению с базовым материалом. Для СК-1 те же воздействия эффекта практически не оказали.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют, что изменение физико-механических характеристик исследованных электроконтактных смазок при введении в них одинаковых дисперсных наполнителей связано с особенностями межмолекулярного взаимодействия дисперсной фазы и их дисперсионной среды.

Сделан вывод, что смазку СК-1 из-за сравнительно низких физико-механических характеристик целесообразно использовать для мало- и средненагруженных скользящих электрических контактов при максимальной величине зазора до 0,5 мм. Электроконтактную смазку СК-2 предлагается применять для средне- и высоконагруженных электрических контактов, при величине контактного зазора не превышающем 0,1—0,25 мм.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект БРФФИ T21ЭТ-018).

1. Н.К. Мышкин, В.В. Кончиц, М. Браунович. Электрические контакты: Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект» – 2008 – 560 с.
2. Григорьев Ф.А., Ковалёва И.Н., Марченко Л.Н., Подгорная В.В. Статистический анализ процессов электроконтактного взаимодействия металлов в среде электропроводной смазки // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. ПОЛИКОМТРИБ-2022, ИММС НАН Беларуси, Гомель, 2022. – Гомель: ИММС НАН Беларуси. – 2022 – 176 с.
3. И.Г. Фукс. Пластичные смазки – М.: Химия. – 1972 – 160 с.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ

Е.И. Ивашко

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь; ivashkokatrinka@mail.ru

Введение. Паропроницаемость материалов играет важную роль для создания благоприятных условий и нормального функционирования организма человека. Стандартные методики, используемые для оценки паропроницаемости материалов, существенно различаются по условиям, создаваемым в процессе эксперимента.

Цель работы — анализ требований стандартных методов исследования паропроницаемости материалов лёгкой промышленности, для выявления их недочётов и отсутствия практической пользы от полученных результатов.

Процесс прохождения влаги через материал — сложный многоступенчатый процесс. Проникновение пара через материал обусловлено процессами диффузии вследствие разности давлений пара в атмосферной среде и подождежном пространстве и сорбции-десорбции, а также конвективными и другими процессами, вызывающими движение воздуха у поверхности материала. Соотношение количества пара, проходящего через материал различными путями в условиях относительно спокойного воздуха, зависит от пористости и сорбционной способности материала [1].

Авторами [2] было выделено несколько групп методов определения паропроницаемости в зависимости от условий проведения испытаний. Это методы, в которых применяется перепад температур по сторонам образца; методы, не предусматривающие создание температурного градиента; методы, в которых исследования проводятся при неподвижном наружном воздухе; методы, в которых создается заданная скорость движения наружного воздуха.

Среди большого числа методик, применяемых для оценки способности материалов пропускать пары воды, до сих пор не найдена такая, которая была бы признана мировым сообществом ученых в качестве универсальной или рекомендуемой для исследования способности водозащитных материалов пропускать пары воды, сохраняя при этом высокий уровень водонепроницаемости. Обзор существующих методов определения паропроницаемости материалов позволяет выделить основные показатели, определяемые для оценки этого свойства: коэффициент паропроницаемости (скорость передачи водяного пара), относительная паропроницаемость, сопротивление проникновению паров воды.

Анализ стандартных методов [3—8] исследования паропроницаемости материалов легкой промышленности показал, что для каждого из рассмотренных методов в качестве оценки уровня паропроницаемости служит количество паров воды, прошедших через единицу площади образца за единицу времени, в отдельных случаях [3, 4, 8] представлена и относительная оценка. В остальном методы индивидуальны и предусматривают использование разной аппаратуры при разных условиях и длительности проведения испытаний. Отсутствие единства не позволяет сравнивать значения показателя паропроницаемости разных материалов между собой.

Паропроницаемость трудно описать с помощью фиксированной величины, поскольку процесс переноса водяного пара из пространства под одеждой в окружающую среду нестабилен во времени. Кинетика его сложна и определяется множеством взаимозависимых факторов. На проницаемость материалов для влаги значительное влияние оказывают разность температур между внутренней и внешней поверхностями изделия, скорость движения наружного воздуха. Таким образом, одним из недостатков рассмотренных методов [3—8] является отсутствие условий, приближенных к эксплуатационным. Согласно требованиям стандартных методик к условиям проведения испытаний по определению паропроницаемости температура воздуха снаружи испытательной конструкции изменяется в диапазоне свыше 20 °С. Реальный диапазон условий носки водонепроницаемой одежды значительно шире: он начинается при более низких температурах. Для территории Республики Беларусь среднесезонные температуры составляют от (–3) °С до (+8) °С [9].

Известно, что скорость движения воздуха оказывает значительное влияние на микроклимат в пододежном пространстве. Исследования, проводившиеся Б.Б. Койранским, Ю.В. Вадковской, В.И. Кузьминой [10, 11] и другими авторами, показывают, что при действии ветра теплопотери организма человека возрастают по сравнению с безветренной погодой. Особенно быстро охлаждается организм человека при совместном действии ветра и влаги. Воздействие равномерного, медленного и постоянного потока воздуха над наружными поверхностями образцов создается лишь при определении показателя паропроницаемости по методу, описанному в [8].

Получить представление о том, сколько водяного пара в единицу времени через единицу площади способен транспортировать материал и сделать соответствующие выводы о соответствии материала назначению можно исследуя показатель паропроницаемости в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным.

Заключение. В результате анализа требований стандартных методов определения паропроницаемости можно сделать следующие выводы:

- различие условий, создаваемых в процессе испытаний не позволяет сравнивать между собой полученные значения паропроницаемости;
- требования к температуре воздуха при проведении испытаний не соответствует тем диапазонам, в которых используются готовые изделия из исследуемых материалов;
- стандартные методики не позволяют воссоздать условий близких к эксплуатационным и варьировать их.

1. Курмашева, Д. М. Адсорбция и процессы переноса молекул воды в пористых и мелкодисперсных средах : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 / Д. М. Курмашева. – Москва, 2015. – 112 с.
2. Перепелкин, К. Е. Методы исследования свойств текстильных изделий : учеб. пособие / К. Е. Перепелкин, М. Н. Иванов, А. В. Куличенко, С. А. Савина. – Ленинград : ЛИТЛП им. С. М. Кирова, 1988. – 69 с.
3. Кожа. Метод определения паропроницаемости: ГОСТ 938.17-70. – Введ. 01.07.1971. – М. : Госстандарт, 1971. – 3 с.
4. Полотна и изделия трикотажные. Метод определения паропроницаемости и влагопоглощения: ГОСТ 30568-98. – Введ. 01.01.1999. – М. : МГС, 1999. – 10 с.
5. Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропроницаемости и влагопоглощения: ГОСТ 22900-78. – Введ. 01.01.1979. – М. : Издательство стандартов, 1979. – 14с.
6. Материалы листовые гравиметрический метод определения паропроницаемости: ГОСТ 21472-81. – Введ. 01.08.1981. – М. : Стандартинформ, 2008. – 7 с.
7. Ткани с резиновым покрытием. Определение паропроницаемости летучих жидкостей (гравиметрический метод): ГОСТ 29060-91 (ИСО 6179-89). – Введ. 01.01.2001. – М. : Издательство стандартов, 2004. – 5 с.

8. Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия: ГОСТ Р 57514-2017. – Введ. 01.04.2018. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2017. – 24 с.
9. Болоцько, Л. М. Динамичныя кліматычныя нормы метеопараметраў для г. Мінска / Л. М. Болоцько, А. М. Людчык, С. Д. Умрэйко // *Природныя рэсурсы*. – 2021. – № 1. – С. 5–14.
10. Поливский, С. А. Гигиена спортивной одежды и снаряжения / С. А. Поливский. – М.: Физкультура и спорт, 1987. – 111 с.
11. Лаптев, А. П. Гигиена : учебник / А. П. Лаптев, С. А. Поливский. – М.: Физкультура и спорт, 1990. – 267 с.

ТЕМПЕРАТУРНО-БАРИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОБИВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

В.В. Киселевич

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, Гомель, Беларусь;
valentinkis@list.ru

Введение. Развитие теплового пробоя в непроводящей жидкости сопровождается образованием центров испарения, локализованных около растворённых в её объёме газовых пузырьков. Непосредственно пробой наступает, когда количество теплоты, выделяющееся в данных центрах, превышает количество отводимой от жидкости теплоты. При температурах, близких к температуре кипения жидкости, интенсивность газообразования резко усиливается. Поэтому повышение температуры либо снижение давления недегазированных жидкостей при заданной длительности воздействия напряжения приводит к существенному снижению их электрической прочности. Указанная взаимосвязь между механизмами процессов кипения и пробоя жидких диэлектриков допускает возможность применения феноменологического подхода фазовых переходов для описания температурно-барической зависимости пробивного напряжения таких веществ.

Результаты и их обсуждение. В рамках принятого подхода диэлектрическую жидкость, подвергнутую воздействию сильного электрического поля, представим как термодинамическую систему, состояние которой определяется температурой T , давлением p и напряжением пробоя U_{br} . Тогда выражение для свободной энергии Φ жидкого диэлектрика как функции этих параметров вблизи характеристической температуры T_{br} теплового пробоя запишем в виде:

$$\Phi(U_{br}, p, T) = \Phi_0 + a_{pT} U_{br}^2 + b_p U_{br}^6, \quad (1)$$

где Φ_0 — регулярная составляющая энергии, Дж; a_{pT} , Дж/В², и b_p , Дж/В⁶, — параметры, определяющие температурную и барическую зависимости пробивного напряжения. Температуру T_{br} будем отождествлять с температурой кипения жидкости при данном давлении. Полагая, что в окрестности T_{br} справедливо разложение $a_{pT} = a_p (T - T_{br})$, из условия минимума функции (1) получим соотношения для оценки напряжения пробоя жидкости:

$$\begin{aligned} U_{br} &= [a_p (T_{br} - T) / 3b_p]^{1/4}, \quad T < T_{br}; \\ U_{br} &= 0, \quad T \geq T_{br}. \end{aligned} \quad (2)$$

Предположение линейной связи между барической константой $A_p = a_p / 3b_p$ и давлением p диэлектрической жидкости позволяет представить уравнение напряжения пробоя для температурной области $T < T_{br}$ в виде:

$$U_{br} = [(a_0 + a_1 p) \cdot (T_{br} - T)]^{1/4}, \quad (3)$$

где a_0 , В⁴/К, и a_1 , В⁴/(Па·К), — константы, определяемые физико-химической природой диэлектрической жидкости. По литературным экспериментальным данным нами выполнена оценка параметров a_0 и a_1 для недегазированного технического ксилола, применяемого при производстве электроизоляционных лаков. При давлениях ниже атмосферного получены значения $a_0 = 1400$ В⁴/К и $a_1 = 50$ В⁴/(кПа·К); величина пробивного напряжения, найденная из уравнения (3) при температуре 307 К и давлении 20 кПа, составила 19,32 кВ, что хорошо согласуется с экспериментальным значением U_{br} , равным 19,54 кВ.
