ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59776—2021 (МЭК 62788-6-2: 2020)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Часть 6-2

Общие испытания. Испытание полимерных материалов на влагопроницаемость

(IEC 62788-6-2:2020,
Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules — Part 6-2: General tests — Moisture permeation testing of polymeric materials, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «ВИЭСХ-ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ» (ООО «ВИЭСХ-ВИЭ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 016 «Электроэнергетика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 октября 2021 г. № 1210-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 62788-6-2:2020 «Методы измерения свойств материалов, используемых в фотоэлектрических модулях. Часть 6-2. Общие испытания. Испытание на влагопроницаемость полимерных материалов» (IEC 62788-6-2:2020 «Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules — Part 6-2: General tests — Moisture permeation testing of polymeric materials», MOD) путем изменения отдельных фраз (слов, значений показателей, ссылок), которые выделены в тексте курсивом, а также путем изменения его структуры для приведения в соответствие с правилами, установленными в ГОСТ 1.5—2001 (подразделы 4.2 и 4.3).

Внесение указанных технических отклонений направлено на учет потребностей национальной экономики Российской Федерации и особенностей объекта стандартизации, характерных для Российской Федерации.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой указанного международного стандарта приведено в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© IEC, 2020
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и обозначения 2
3.1 Термины и определения 2
3.2 Обозначения 2
4 Испытательное оборудование и материалы 3
5 Отбор и подготовка образцов 4
6 Проведение испытаний 5
6.1 Общие положения 5
6.2 Кондиционирование 5
6.3 Основные измерения 5
6.4 Дополнительные измерения 8
7 Обработка результатов 9
7.1 Оценка диффузионного процесса. Определение коэффициентов диффузии, растворимости и проницаемости 9
7.2 Определение константы сквозного проникновения влаги 10
7.3 Определение энергий активации и предэкспоненциальных множителей 11
7.4 Оценка изменения характеристик влагопроницаемости при изменении относительной влажности 11
8 Протокол испытаний 12
Приложение А (справочное) Примеры результатов измерений полимерных материалов, отвечающих фиковской и нефиковской диффузии 14
Приложение ДА (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта 17
Библиография 19

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Часть 6-2

Общие испытания. Испытание полимерных материалов на влагопроницаемость

Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules and its components. Part 6-2. General tests. Moisture permeation testing of polymeric materials

Дата введения — 2022—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на полимерные материалы, используемые для изготовления компонентов фотоэлектрических модулей, и устанавливает метод оценки их влагопроницаемости. Стандарт устанавливает требования к определению стационарной скорости пропускания водяного пара, коэффициентов проницаемости, диффузии и растворимости, времени сквозного проникновения влаги и других характеристик влагопроницаемости.

Настоящий стандарт распространяется, прежде всего, на полимерные материалы таких компонентов фотоэлектрических модулей, как материал-заполнитель, торцевые уплотнения, лицевые и тыльные покрытия. Типичные используемые полимерные материалы: этиленвинилацетат (ЭВА) или полиолефины в качестве материалов-заполнителей, полиизобутилен (ПИБ) для торцевых уплотнений и полиэтилентерефталат (ПЭТФ), поливинилфторид (ПВФ) или поливинилиденфторид (ПВДФ, фторопласт-2) для тыльных покрытий.

Примечание — В настоящем стандарте используются русские сокращения названий полимерных материалов, также применимы английские сокращения: EVA, PIB, PET, PVF и PVDF соответственно.

Деградация фотоэлектрических модулей во многих случаях происходит вследствие коррозионных процессов, которые могут зависеть от проникновения влаги через материал-заполнитель, краевое уплотнение, лицевое или тыльное покрытие. Характеристики влагопроницаемости полимерных материалов, из которых изготовлены эти компоненты, являются функциями температуры и относительной влажности и необходимы для оценки работы фотоэлектрических модулей в различных условиях эксплуатации.

Для случая полимерных материалов, представляющих собой многослойные пленки, коэффициент диффузии и коэффициент растворимости являются кажущимися величинами, но могут быть определены их равновесные значения.

Примечание — Установленный в настоящем стандарте метод, при соответствующей модификации, также применим для оценки проницаемости полимерных материалов по отношению к кислороду и другим подобным веществам. Методы оценки и обработки результатов измерений в этом случае остаются те же.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:
ГОСТ 6709 Вода дистиллированная. Технические условия

Издание официальное

ГОСТ 9293 (ИСО 2435—73) Азот газообразный и жидкий. Технические условия

ГОСТ ISO/IEC 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

ГОСТ Р 58809.1 (МЭК 61730-1:2016) Модули фотоэлектрические. Оценка безопасности. Часть 1. Требования к конструкции

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и обозначения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ Р 58809.1*, *[1]*, а также следующий термин с соответствующим определением:

3.1.1 **влагопроницаемость** (moisture permeability): Способность материала пропускать водяные пары при наличии градиента температуры или градиента давления водяного пара.

3.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

D — коэффициент диффузии, $см^2 \cdot с^{-1}$;

D_0 — предэкспоненциальный множитель в уравнении диффузии, $см^2 \cdot с^{-1}$;

Ea_D — энергия активации диффузии, $кДж \cdot моль^{-1}$;

Ea_{K10} — энергия активации сквозного проникновения влаги, $кДж \cdot моль^{-1}$;

Ea_P — энергия активации проницаемости, $кДж \cdot моль^{-1}$;

Ea_S — энергия активации растворимости, $кДж \cdot моль^{-1}$;

K_{10} — константа сквозного проникновения влаги, $см \cdot ч^{-0,5}$;

$K_{10,0}$ — предэкспоненциальный множитель в уравнении сквозного проникновения влаги, $см \cdot ч^{-0,5}$;

l — толщина образца, мм;

P — коэффициент проницаемости, $г \cdot мм \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$;

P_0 — предэкспоненциальный множитель в уравнении проницаемости, г мм $\cdot$ $м^{-2} \cdot сут^{-1}$;

S — коэффициент растворимости, $г \cdot см^{-3}$;

S_0 — предэкспоненциальный множитель в уравнении растворимости, $г \cdot см^{-3}$;

T — температура в испытательной ячейке, °С или К;

t — текущее время процесса измерений, мин (ч);

t_{delay} — время запаздывания измерительного прибора, с;

$t_{1/2}$ — время от начала подачи воды, за которое WVTR достигает половины стационарного значения, мин (ч);

t_{10} — время от начала подачи воды, за которое WVTR достигает 10 % стационарного значения, мин (ч). Принимают, что это время сквозного проникновения влаги;

X — расстояние проникновения влаги при постоянных температуре и относительной влажности, мм;

θ — *характеристическое время диффузии (время запаздывания диффузии), мин;*

RH — относительная влажность, %;

WVTR — скорость пропускания водяного пара, г $м^{-2} \cdot сут^{-1}$;

$WVTR_{10}$ — скорость пропускания водяного пара, равная 10 % от ее стационарного значения, $г \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$;

$WVTR_{SS}$ — стационарная скорость пропускания водяного пара, г $м^{-2} \cdot сут^{-1}$.

4 Испытательное оборудование и материалы

Для проведения испытаний требуется следующее оборудование.

a) Прибор для определения паропроницаемости (влагопроницаемости) для регистрации процесса проникновения влаги через мембрану.

Прибор должен обладать высокой точностью и малой инерционностью и отвечать следующим требованиям:

диапазон измерений ..... от 0,01 до 40 г · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$;

точность измерений, не менее ..... 0,01 г · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$;

диапазон температуры, поддерживаемой в измерительной ячейке ..... от 15 °С до 55 °С;

точность поддержания температуры в измерительной ячейке, не менее ..... 0,1 °С;

диапазон относительной влажности, поддерживаемой в измерительной ячейке ..... 0 % — 100 %;

точность поддержания относительной влажности в измерительной ячейке, не менее ..... ±1 %.

При выборе прибора следует учитывать, что при низкой скорости пропускания водяного пара влага, адсорбированная на поверхности измерительного инструмента, ограничивает точность некоторых измерений.

Если у испытуемого полимерного материала необходимо определить зависимость характеристик влагопроницаемости от температуры или, для материалов, отвечающих фиковской диффузии водяного пара, зависимость растворимости от относительной влажности, прибор должен обеспечивать измерение образцов в условиях контролируемого изменения значений температуры в камерах измерительной ячейки и/или относительной влажности в камере источника влаги.

При испытании полимерных материалов, представляющих собой многослойную пленку из слоев различных материалов (например, фторполимер/полиэтилентерефталат/этиленвинилацетат, используемый для изготовления тыльного покрытия), следует обратить особое внимание на чувствительность измерительного прибора, чтобы стационарная WVTR и коэффициент проницаемости могли быть получены на образцах из одного слоя испытуемого материала независимо от его толщины. Следует учитывать, что при большом времени достижения равновесной стадии процесса оценка кажущегося коэффициента диффузии и кажущегося коэффициента растворимости с помощью этого измерительного прибора может быть невозможна из-за несоответствия возможностей прибора длительности достижения равновесной стадии.

b) Толщиномер пленочный циферблатный или электронный с диапазоном измерений не менее 0—10 мм и точностью не менее 0,01 мм.

c) Установка для кондиционирования образцов, обеспечивающая сухую атмосферу с относительно влажностью не выше 1 % и температурой до 50 °С, если проводят кондиционирование образцов, а также средства, позволяющие оценить достаточность сушки образцов.

d) Оснастка для подготовки образцов требуемого размера и работы с образцами (ножи для вырезания образцов, металлическая линейка, пинцет и пр.).

e) Рулонный ламинатор, пресс или иное средство для создания хорошего контакта между слоями испытуемого материала при изготовлении образцов из нескольких слоев испытуемого материала, если необходимо (см. раздел 5).

f) Тонкая (предпочтительно толщиной менее 0,05 мм), высокопроницаемая (50 г · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$), антиадгезионная поддерживающая пленка для предотвращения прилипания образцов к поверхностям испытательной ячейки, если необходимо (см. 6.3).

g) Поддерживающая сетка для предотвращения деформации образцов при температурах свыше 50 °С, если необходимо.

Все применяемые средства измерений должны быть поверены.

Примечание — Для соблюдения требований по чистоте подаваемой воды и исходной влажности газа-носителя в организации, проводящей испытания, может быть необходимо оборудование по очистке воды и осушке азота или другого газа-носителя, если требуемые значения характеристик (см. 6.1) не обеспечиваются иным образом.

5 Отбор и подготовка образцов

Для проведения измерений подготавливают один или более комплектов образцов испытуемого полимерного материала, не менее трех образцов каждый.

Либо для испытаний используют необходимое количество готовых образцов, подготовленных в соответствии с требованиями настоящего раздела, изготовителем испытуемого материала или фотоэлектрических модулей.

При подготовке образцов следует руководствоваться инструкцией по эксплуатации к измерительному прибору.

Образцы вырезают из рулона испытуемого полимерного материала, представленного к испытаниям. Толщина материала в рулоне должна быть такой же, как и его толщина при использовании для изготовления фотоэлектрического модуля/компонентов фотоэлектрического модуля.

Толщина образов для испытаний должна быть от 0,25 до 2 мм. Рекомендуется, чтобы толщина образца была такой же, как и толщина испытуемого материала при его использовании для изготовления фотоэлектрического модуля/компонентов фотоэлектрического модуля.

Допускается использовать образцы, толщина которых выходит за указанные границы диапазона 0,25—2 мм. Для испытания полимерных материалов с очень низкой влагопроницаемостью, таких как полихлортрифторэтилен (ПХТФЭ, фторопласт-3), могут быть необходимы гораздо более тонкие образцы, чтобы проникающая вода могла быть обнаружена при низких температурах. Для испытания полимерных материалов с высокой диффузией (например, силиконов) могут быть необходимы образцы толщиной в несколько миллиметров, чтобы точно различить время, связанное с протеканием нестационарной диффузии в полимере, и время запаздывания измерительного прибора.

Сразу правильно выбрать толщину образцов не всегда возможно, т. к. необходимая для измерений толщина образца зависит от настроек конкретного измерительного прибора и протекания нестационарной стадии процесса пропускания водяного пара (переходного значения скорости пропускания водяного пара). Поэтому для проведения испытаний могут потребоваться дополнительные комплекты образцов, если по результатам измерений первого комплекта образцов для получения удовлетворительных результатов необходимо изменить толщину образцов.

В этом случае толщину нового комплекта образцов определяют исходя из следующего:

- если есть затруднения в достижении в разумные сроки стационарной стадии процесса, то образцы следует делать тоньше;
- если процесс протекает настолько быстро, что сложно определить начало процесса, то образцы следует делать толще.

Если для проведения измерений необходимы образцы большей толщины, чем материал в состоянии поставки, то образцы могут быть изготовлены из нескольких слоев испытуемого материала. Для этого соответствующее количество слоев материала сжимают до тех пор, пока воздушный зазор между слоями не будет сведен к минимуму. Рекомендуется, чтобы такой многослойный образец был пропущен через рулонный ламинатор или какое-либо другое аналогичное средство для создания хорошего контакта между слоями пленки. Измерения таких образцов дают приемлемые результаты, поскольку объем воздушного зазора очень мал, молярная доля воды в воздухе, как правило, мала, а диффузионная способность влаги в воздухе очень высока.

Образцы из нескольких слоев испытуемого материала не используют для оценки влагопроницаемости полимерных материалов, представляющих собой многослойную пленку из слоев различных материалов (например, фторполимер/полиэтилентерефталат/этиленвинилацетат, используемый для изготовления тыльного покрытия).

Разброс толщины образца по площади пропускания образца (площади образца, задействованной в измерениях) должен быть менее ±5 %.

Площадь образца должна быть от 5 до 100 $см^2$ (выбирается в соответствии с требованиями используемого измерительного прибора).

Примечание — Маски, уменьшающие при необходимости площадь пропускания образца (площадь образца, задействованную в измерениях), могут быть предоставлены изготовителем испытательного прибора. Обычно их изготавливают из алюминиевой фольги с клеевым слоем на одной стороне. Как правило, эти маски предназначены для уменьшения площади пропускания с 50 до 5 $см^2$.

Поверхности образцов должны быть гладкими и плоскими.

Образцы должны быть обработаны или отверждены (если это необходимо) в соответствии с рекомендациями изготовителя.

Отверждение (или термическую обработку) образца испытуемого материала, если это необходимо, следует проводить в условиях, соответствующих условиям, при которых происходит ламинирование фотоэлектрического модуля, для применения в котором предназначен испытуемый полимерный материал.

6 Проведение испытаний

6.1 Общие положения

При проведении измерений следует руководствоваться инструкцией по эксплуатации к измерительному прибору.

Измерения могут проводиться при значениях температуры и относительной влажности, которые необходимы для оценки работоспособности испытуемых фотоэлектрических модулей в тех условиях эксплуатации, для работы в которых они предназначены.

Рекомендуется, чтобы значение температуры, поддерживаемой в измерительной ячейке, выбиралось из диапазона от 15 °С до 55 °С.

Значение относительной влажности в камере источника влаги при первом цикле измерений комплекта образцов (6.3, шаги 1—12) должно быть равно 100 %. Допускается проводить первый цикл измерений комплекта образцов при относительной влажности ниже 100 %.

Качество (чистота) подаваемых в испытательную ячейку воды и газа-носителя должно соответствовать указаниям в инструкции по эксплуатации измерительного прибора. Если такие требования отсутствуют, используют дистиллированную воду по *ГОСТ 6709*. Если в качестве газа-носителя используют осушенный азот, его чистота должна быть не менее 99,999 (особой чистоты, сорт 1 по *ГОСТ 9293*).

Если сушка испытуемого материала невозможна, например материала торцевого уплотнения с осушителями, следует принять меры предосторожности для сведения к минимуму воздействия влаги на образцы до начала измерений.

Если испытуемый полимерный материал представляет собой многослойную пленку из слоев различных материалов (например, фторполимер/полиэтилентерефталат/этиленвинилацетат, используемый для изготовления тыльного покрытия), то при достаточной чувствительности измерительного прибора в соответствии с ограничениями, изложенными в разделе 7, могут быть получены стационарная WVTR и коэффициент проницаемости (на образцах из одного слоя испытуемого материала, см. раздел 5). При этом оценка кажущегося коэффициента диффузии и кажущегося коэффициента растворимости может быть невозможна из-за большого времени достижения равновесной стадии процесса (из-за несоответствия возможностей прибора длительности достижения равновесной стадии).

6.2 Кондиционирование

Перед измерениями для сокращения времени сушки в измерительном приборе рекомендуется кондиционировать образцы в сухой атмосфере с относительной влажностью менее 1 %.

Необходимое время сушки и температура определяются диффузионной способностью образцов. Для большинства материалов рекомендуется сушка при температуре от 40 °С до 50 °С в течение не менее 48—72 ч. Более толстые образцы или образцы с низкой диффузионной способностью могут сушиться дольше.

При кондиционировании образцы не следует укладывать друг на друга, между образцами должен циркулировать воздух.

Образцы выдерживают в сухой атмосфере до момента помещения в испытательную ячейку (если эта задача не решается с помощью самого измерительного прибора после помещения образцов в ячейку).

Если для образцов испытуемого материала, например материала торцевого уплотнения с осушителями, сушка невозможна, измерения образцов проводят без предварительного кондиционирования.

6.3 Основные измерения

1) Подготавливают и подключают прибор для определения паропроницаемости (влагопроницаемости).

2) Высушивают испытательную ячейку путем удаления остаточной влаги продувкой сухим азотом или аналогичным сухим газом. В итоге относительная влажность должна быть приблизительно не выше 1 %.

3) Помещают каждый из одновременно испытуемых образцов в отдельную испытательную ячейку. Если позволяет измерительный прибор, испытывают одновременно все или несколько образцов одного комплекта.

Некоторые материалы, особенно материалы торцевых уплотнений на основе полиизобутилена, склонны прилипать к поверхностям измерительного прибора. В этом случае, помещая образец в испытательную ячейку, можно использовать тонкую (предпочтительно толщиной менее 0,05 мм), высокопроницаемую (50 г · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$), антиадгезионную поддерживающую пленку.

Для испытаний при температурах свыше 50 °С, чтобы предотвратить провисание или другие деформации образца, может быть необходима поддержка их сеткой.

4) Устанавливают требуемое значение температуры в испытательной(ых) ячейке(ах) и удаляют остаточную влагу, пропуская по обеим сторонам образца сухой газ (например, азот), контролируя при этом относительную влажность, температуру в обеих камерах испытательной ячейки и WVTR (см. рисунок 1). Температура газа, поступающего в испытательную ячейку, должна быть равна температуре, установившейся внутри испытательной ячейки. В итоге относительная влажность с обеих сторон образца должна стать приблизительно не более 1 %.



Рисунок 1 — Схема принципа действия испытательной ячейки

5) После того, как температура в обеих камерах испытательной ячейки установится в пределах ±0,5 °С от требуемого значения, а WVTR будет находиться в установившемся состоянии вблизи нуля в пределах чувствительности измерительного прибора, включают подачу и откачку воды или продувку увлажненным газом в камере источника влаги и начинают регистрацию проникновения влаги датчиком влажности (момент времени $t = 0$). При этом продолжают подавать сухой газ в верхнюю камеру. Контролируют и фиксируют относительную влажность, температуру в обеих камерах испытательной ячейки и WVTR.

Началом отсчета времени (момент времени $t = 0$) считают момент начала подачи воды, который определяется как разница между временем первого добавления воды по показаниям измерительного прибора и временем запаздывания измерительного прибора t_{delay}.

Температура воды или увлажненного газа, подаваемого в испытательную ячейку, должна быть равна температуре, установившейся внутри испытательной ячейки с отклонением в пределах ±10 °С.

6) Пошагово добавляют воду в камеру источника влаги испытательной ячейки (от 3 до 10 мл на каждом шаге) и фиксируют изменение WVTR во времени [например, строя график WVTR = $f(t)$ — кривую процесса установления стационарного диффузионного потока], а также время каждого добавления воды (примеры графиков см. в приложении А).

Вода не должна контактировать с образцом. Не следует добавлять воду до полного заполнения камеры источника влаги.

Не менее 90 % влажности от требуемого значения должно быть достигнуто за время, меньшее, чем $0{,}05t_{1/2}$.

Для образцов большой площади может быть необходимо добавлять более 10 мл воды на каждом шаге так, чтобы жидкость покрыла дно камеры.

Допускается использовать любой метод, обеспечивающий пошаговое изменение влажности.

7) Измерения завершают через время, равное $2t_{1/2}$ или более, после достижения WVTR стационарного значения [график WVTR = $f(t)$ практически вышел на горизонтальную прямую], т. е., когда время с момента начала подачи воды/влажного газа будет не менее $4t_{1/2}$, измерения могут быть завершены.

Считается, что за время $4t_{1/2}$ или более с момента начала подачи воды/влажного газа диффузия водяного пара через образец достигла состояния, близкого к равновесному состоянию.

Рекомендуется, чтобы для материалов, отвечающих фиковской диффузии водяного пара, время от начала подачи влаги до завершения измерений было больше $8t_{1/2}$. Для материалов, диффузия водяного пара в которых не является фиковской (например, материалов торцевых уплотнений с осушителем), время достижения равновесного состояния может быть меньше, поскольку, как правило, получается более крутая кривая WVTR = $f(t)$. Время от начала подачи влаги до завершения измерений, равное $4t_{1/2}$, считается достаточным. Если для материалов, диффузия водяного пара в которых не является фиковской, WVTR не изменяется более чем на 5 % в течение времени $0{,}5t_{1/2}$ после достижения WVTR стационарного значения (т. е. ко времени $2t_{1/2} + 0{,}5t_{1/2}$ от начала подачи влаги), считают, что собрано достаточно данных, и испытание может быть прекращено.

Примеры точек $t_{1/2}$, $4t_{1/2}$ и $8t_{1/2}$ см. на графиках WVTR = $f(t)$ в приложении А.

8) Если испытание образцов одного комплекта проводят не одновременно, то повторяют измерения (шаги 2—7) таким образом, чтобы были проведены измерения всех образцов данного комплекта образцов.

9) Оценивают соотношение $t_{1/2}$ и t_{delay}. Если необходимо, повторяют измерения с новыми образцами другой толщины, как указано в 6.4.1.

10) Если по результатам измерений необходимо, выполняют другие измерения, указанные в 6.4.2 или/и 6.4.3, или/и 6.4.4.

11) По полученным графикам WVTR = $f(t)$ предварительно оценивают характер диффузии водяного пара в испытуемом материале: фиковская или нефиковская.

12) Для определения зависимости характеристик влагопроницаемости от температуры после завершения основного цикла измерений с окончательным комплектом образцов (отвечающим всем требованиям 6.4) проводят полный цикл измерений (шаги 4—8 и 11) еще по крайней мере при двух значениях температуры. Разница между наибольшим и наименьшим значениями температуры (включая температуру, при которой проводились измерения до шага 12) должна составлять не менее 30 °С (К).

13) Если испытуемый материал отвечает фиковской диффузии водяного пара и необходимо определить зависимость растворимости от относительной влажности, проводят измерения при нескольких значениях относительной влажности в камере источника влаги (повторяют шаги 4—8 и 11 с комплектом образцов, с которыми проводили измерения на предыдущем шаге, или выполняют шаги 1—8 и 11 с новым аналогичным комплектом образцов). В итоге должны быть получены результаты, по крайней мере, для трех значений относительной влажности.

Разница между наибольшим и наименьшим значениями относительной влажности (включая относительную влажность, при которой проводились измерения до шага 13) должна составлять не менее 50 %.

Эти измерения позволяют дополнительно проверить, является ли диффузия водяного пара в испытуемом материале фиковской или нет (см. 7.4).

Примечание — Ряд современных приборов для определения паропроницаемости (влагопроницаемости) часть указанных в 6.3 и 6.4 операций могут выполнять автоматически, и требуется только соответствующая настройка.

6.4 Дополнительные измерения

6.4.1 Измерения, связанные с соотношением $t_{1/2}$ и t_{delay}

На диффузионную способность и растворимость влаги в материале влияют возможности прибора и толщина образца. Для определения коэффициента диффузии или времени сквозного проникновения влаги t_{10} значение $t_{1/2}$ должно быть не менее чем в 10 раз больше времени запаздывания t_{delay}.

Если $t_{1/2} < 10t_{delay}$, то:

- изготавливают новый комплект образцов увеличенной толщины. Толщину образцов определяют исходя из того, что величина $t_{1/2}$ должна изменяться в зависимости от квадрата толщины образца и при удвоении толщины образца должно быть получено четырехкратное увеличение $t_{1/2}$;
- повторяют измерения (шаги 2—8) с новыми образцами то тех пор, пока $t_{1/2}$ станет не менее чем в 10 раз больше времени запаздывания t_{delay}.

Если скорость проникновения ниже чувствительности измерительного прибора или если адсорбция влаги на поверхностях прибора непредсказуемо влияет на время запаздывания измерительного прибора t_{delay}, то:

- изготавливают новый комплект образцов уменьшенной толщины. Толщину образцов определяют исходя из того, что величина $t_{1/2}$ должна изменяться в зависимости от квадрата толщины образца и при удвоении толщины образца должно быть получено четырехкратное увеличение $t_{1/2}$;
- повторяют измерения (шаги 2—8) с новыми образцами до тех пор, пока $t_{1/2}$ станет не менее чем в 10 раз больше времени запаздывания t_{delay}.

6.4.2 Определение t_{delay}

Время запаздывания t_{delay} учитывает тот факт, что для конкретного измерительного прибора с заданным расходом при заданной скорости проникновения будет существовать задержка между тем, когда влага проходит через пленку насквозь, и тем, когда она обнаруживается. Это значение должно изменяться приблизительно обратно пропорционально расходу газа-носителя и обычно (но не всегда) не зависит от толщины образца и влагопроницаемости. Однако для очень низких скоростей проникновения t_{delay} может дополнительно зависеть от адсорбции на поверхностях датчиков влажности. В этом случае значение t_{delay} уточняют с помощью одного из двух методов:

- как константу для измерительного прибора, путем измерения двух образцов материала с различной толщиной l в одних и тех же условиях и подбора одинакового набора значений D, S и t_{delay} к двум наборам данных;
- измерением одной и той же пленки Фика при нескольких температурах и подбором значений D, S с использованием одного и того же значения для t_{delay} после аппроксимации кривой Аррениуса к прямой. Верхний предел для t_{delay} может быть определен измерением тонкой пленки с очень коротким нестационарным процессом.

6.4.3 Измерения, связанные с тем, что неправильно выбрана толщина образцов

Сразу правильно выбрать толщину образцов не всегда возможно, т. к. необходимая для измерений толщина образца зависит от настроек конкретного измерительного прибора и протекания нестационарной стадии процесса пропускания водяного пара (переходного значения скорости пропускания водяного пара).

Если есть затруднения в достижении в разумные сроки стационарной стадии процесса или процесс протекает настолько быстро, что сложно определить начало процесса, то, возможно, неправильно выбрана толщина образцов. Следует подготовить новый комплект образцов другой толщины и повторить шаги 2—8 (или шаги 1—8).

В первом случае для получения удовлетворительных результатов измерений новые образцы должны быть тоньше, во втором — толще.

6.4.4 Измерения, связанные с изменением образцов в процессе измерений

Если есть вероятность, что в процессе измерений образцы будут изменяться таким образом, что изменится влагопроницаемость, проводят повторные измерения (шаги 1—8) в тех же условиях, в более поздние сроки, с тем же окончательным комплектом образов, отвечающих всем требованиям 6.4. Сравнивают результаты. Если влагопроницаемость изменяется, то для определения характеристик следует использовать либо только результаты первоначальных измерений, либо результаты повторных измерений. В протоколе испытаний фиксируют факт изменения образцов и влагопроницаемости, приводят данные обоих циклов измерений и указывают, какие из них были использованы для определения приведенных характеристик влагопроницаемости.

7 Обработка результатов

Для оценки влагопроницаемости (прохождения водяного пара) испытуемого полимерного материала определяют ее характеристики (7.1, 7.2 для T = const и RH = const, 7.3 для T = varia и RH = const и 7.4 для T = const и RH = varia), используя результаты измерений окончательного комплекта образцов (образцов, отвечающих всем требованиям 6.4).

Примечание — Ряд современных приборов для определения паропроницаемости (влагопроницаемости) автоматически выполняет как построение кривой проницаемости WVTR (t), так и определение значений параметров, указанных в настоящем разделе.

7.1 Оценка диффузионного процесса. Определение коэффициентов диффузии, растворимости и проницаемости

Предварительную оценку того, является ли диффузия водяного пара в испытуемом материале фиковской или нет, проводят в процессе измерений (см. 6.3, шаг 11).

По результатам измерений выполняют анализ нестационарного участка кривой проницаемости WVTR(t) для окончательного комплекта образцов (образцов, отвечающих всем требованиям 6.4) и ее аппроксимацию к теоретической модели Фика.

За окончательный результат измерения принимают среднее арифметическое результатов измерений образцов.

Для материала, отвечающего фиковской диффузии, изменение WVTR во времени при постоянном значении относительной влажности и температуры (не принимая во внимание переустановку нулевого значения измерительного прибора или аналогичные инструментальные погрешности) должно близко соответствовать уравнению:

$$\mathrm{WVTR}(t) = \frac{D \cdot S}{l}\left[1 + 2\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n e^{\left(-\frac{Dn^2\pi^2 t}{l^2}\right)}\right]. \qquad (1)$$

В уравнении (1) n должно быть не менее 15, но рекомендуется использовать значения от 50 до 100. Это уравнение применимо только для материалов, диффузия водяного пара в которых является фиковской, т. е. коэффициент диффузии не зависит от концентрации влаги.

Наилучшее соответствие уравнению (1) может быть определено путем минимизации суммы квадратов разностей:

$$\sum\{[\mathrm{WVTR}_{mes}(t)] - [\mathrm{WVTR}_{calc}(t)]\}^2. \qquad (2)$$

где $\mathrm{WVTR}_{mes}(t)$ — измеренная скорость пропускания водяного пара;

$\mathrm{WVTR}_{calc}(t)$ — скорость пропускания водяного пара, определенная по уравнению (1).

Допускается оценивать тип диффузионного процесса визуально, в этом случае диффузия считается фиковской при видимом совпадении представленных в графическом виде расчетных данных о WVTR и данных, полученных по результатам измерений (см., например, рисунки А.1 и А.2).

Оба способа могут быть реализованы с помощью специальных прикладных программ — электронных таблиц. Рекомендуется формировать электронную таблицу таким образом, чтобы можно было определить значения $D \cdot S/l$ и D/l^2 и уже их подставить в уравнение (1) для определения WVTR. Сначала подбирают величину $D \cdot S/l$, которая является стационарной WVTR. Далее выполняют аппроксимацию D/l^2, которая связана с характеристическим временем диффузии (временем запаздывания диффузии) θ и вычисляется с учетом времени запаздывания измерительного прибора.

Для определения требуемых значений используют «характеристические точки» измеренной дифференциальной кинетической кривой проницаемости. Коэффициент диффузии находят из соотношений:

$$D = l^2/7{,}199t_{1/2} = l^2/6\theta, \qquad (3)$$

где θ соответствует 0,63 $WVTR_{SS}$.

Значения D и S должны определяться этим методом только для материалов, отвечающих фиковской диффузии водяного пара. Следует использовать не менее 10 точек, взятых на кривой WVTR (t),

с равномерными интервалами до $4t_{1/2}$. Считают, что испытуемый материал отвечает фиковской диффузии водяного пара, если расхождение между измеренными и расчетными значениями составляет менее 5 % от стационарного значения $WVTR_{SS}$ во всех точках кривой проницаемости (переходные процессы, связанные с перенастройкой прибора, такие как вызванные повторным обнулением, можно не учитывать) (см. рисунки А.1 и А.2). Часто многослойный полимерный материал может иметь один слой с низкой влагопроницаемостью, который доминирует в нестационарном процессе, в результате чего такой материал является композитной структурой с характеристиками материала, отвечающего фиковской диффузии. Для многослойных материалов коэффициенты диффузии и растворимости следует регистрировать только как кажущиеся значения (D_{eff} и S_{eff}), но могут быть определены их равновесные значения.

Примеры кривых проницаемости WVTR(t) и характеристик влагопроницаемости при фиковской и нефиковской диффузии водяного пара в полимерных материалах, используемых в фотоэлектрических модулях, приведены в приложении А.

Коэффициент проницаемости P рассчитывается по формуле

$$P = D \cdot S \tag{4}$$

и связан со скоростью пропускания водяного пара формулой

$$P = WVTR_{SS} \quad l. \tag{5}$$

Поскольку коэффициент проницаемости не зависит от толщины образца, от времени нестационарной стадии процесса или от типа диффузии водяного пара в материале (фиковская или нефиковская), он может быть лучшим показателем, чем WVTR, для сравнения различных материалов.

Приведенная в настоящем подразделе оценка того, отвечает ли материал фиковской диффузии или нет, относится к результатам измерений при постоянном значении относительной влажности. Оценку по результатам измерений при нескольких значениях относительной влажности см. в 7.4.

7.2 Определение константы сквозного проникновения влаги

Если испытывают полимерный материал торцевого уплотнения или материал-заполнитель с низким коэффициентом диффузии, предназначенные для уменьшения проникновения влаги, то расстояние проникновения влаги через испытуемый материал X при постоянных температуре и относительной влажности связано со временем процесса проникновения влаги следующим образом:

$$X = K_{10}\sqrt{t}, \tag{6}$$

где K_{10} — частный коэффициент диффузии, константа сквозного проникновения влаги.

Время сквозного проникновения влаги принимают равным времени, за которое скорость пропускания водяного пара достигает 10 % от стационарного значения, т. е. $t = t_{10}$.

Для испытуемого материала K_{10} определяют путем замены X на толщину пленки l при $t = t_{10}$ по формуле

$$K_{10} = \frac{l}{\sqrt{t_{10}}}. \tag{7}$$

Замена X на l является хорошим приближением для случая краевого уплотнения с низкой диффузией, используемого с материалом-заполнителем с высокой диффузией и/или высокой растворимостью, поскольку, как только влага попадает через краевое уплотнение, она быстро рассеивается, делая концентрацию на другой стороне краевого уплотнения фактически нулевой. Эта ситуация хорошо представлена переходной диффузией через пленку, поскольку оба случая являются одномерными диффузионными ситуациями.

Для случая материала-заполнителя без краевого уплотнения эта зависимость является лишь приблизительной и предназначена для грубой относительной оценки того, как далеко может проникать влага.

Значение K_{10} может быть вычислено как для материалов, отвечающих фиковской диффузии, так и для материалов, не отвечающих фиковской диффузии (примеры — см. рисунки А.1 и А.3). Для материалов, диффузия водяного пара в которых является фиковской, $K_{10} = 3{,}89D^{0{,}5}$.

7.3 Определение энергий активации и предэкспоненциальных множителей

Если были проведены измерения при различных значениях температуры (см. 6.3, шаг 12), энергии активации и предэкспоненциальные множители в уравнениях диффузии, растворимости, проницаемости и сквозного проникновения влаги определяют, используя формулы:

$$D(T) = D_0 e^{\left(\frac{-Ea_D}{RT}\right)} \quad \text{или} \quad \ln(D) = \left(\frac{-Ea_D}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) + \ln(D_0); \tag{8}$$

$$S(T) = S_0 e^{\left(\frac{-Ea_S}{RT}\right)} \quad \text{или} \quad \ln(S) = \left(\frac{-Ea_S}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) + \ln(S_0); \tag{9}$$

$$P(T) = P_0 e^{\left(\frac{-Ea_P}{RT}\right)} \quad \text{или} \quad \ln(P) = \left(\frac{-Ea_P}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) + \ln(P_0); \tag{10}$$

$$K_{10}(T) = K_{10,0} e^{\left(\frac{-Ea_D}{RT}\right)} \quad \text{или} \quad \ln(K_{10}) = \left(\frac{-Ea_{K10}}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) + \ln(K_{10,0}), \tag{11}$$

где R — универсальная газовая постоянная, R = 8,314 Дж · моль$^{-1}$ · К$^{-1}$.

Характеристики определяют графическим методом. По результатам измерений 6.3, шаг 12, используя уравнения (8)—(11), строят график изменения натурального логарифма соответствующего параметра от 1/T (температура в К), выполняют линеаризацию и определяют наклон прямой методом наименьших квадратов. Графики строят минимум по трем точкам в диапазоне не менее 30 К. Энергия активации равна произведению тангенса угла наклона полученной прямой на универсальную газовую постоянную R, а предэкспоненциальный множитель — это число натурального логарифма в точке пересечения полученной прямой с осью ординат. Должна быть рассчитана неопределенность (погрешность) определения каждой характеристики с учетом неопределенности результатов измерений в отдельных точках и совпадения полученной кривой с кривой Аррениуса.

Некоторые материалы могут иметь различную кривую Аррениуса выше и ниже фазового перехода. Это особенно вероятно, если материал проходит через точку плавления. В этом случае должен быть указан соответствующий температурный диапазон применимости.

Примечание — Для материала, отвечающего фиковской диффузии водяного пара, $Ea_{K10} = 0{,}5Ea_D$ и $K_{o,10} = 3{,}89D_o^{0,5}$. Но для наполненного осушителем материала (например, типичного материала торцевого уплотнения), где количество воды, адсорбированной в осушителе, значительно больше количества воды, растворенной в полимерной матрице, $Ea_{K10} = 0{,}5Ea_P$ (см. также *[2]*).

7.4 Оценка изменения характеристик влагопроницаемости при изменении относительной влажности

Если для испытуемого материала, отвечающего фиковской диффузии водяного пара, были проведены измерения при нескольких значениях относительной влажности (см. 6.3, шаг 13), можно определить зависимость растворимости от изменения относительной влажности, оценить изменение коэффициента диффузии при изменении относительной влажности и тем самым проверить, является ли диффузия водяного пара в испытуемом материале фиковской или нет.

По результатам измерений для данной температуры значение коэффициента диффузии при разных значениях относительной влажности должно быть постоянным. В противном случае считается, что диффузия водяного пара в испытуемом материале является нефиковской, даже если для измерений при каждом значении относительной влажности уравнение (1) верно с погрешностью 5 % от WVTR. Чтобы полимерный материал мог считаться отвечающим фиковской диффузии, коэффициент диффузии при данном значении температуры не должен изменяться более чем на 10 % при изменении относительной влажности на 50 %.

Если коэффициент растворимости линейно зависит от относительной влажности, в протоколе испытаний достаточно указать только это. В противном случае должны быть указаны значения коэф-

фициента растворимости для каждой относительной влажности при данной температуре или, если данным соответствует другая функциональная форма, она может быть снабжена соответствующими константами. Типичной функциональной формой является степенно́е соотношение между коэффициентом растворимости и относительной влажностью. Возможно, хотя и менее вероятно, что материал с нелинейной зависимостью коэффициента растворимости от относительной влажности может отвечать фиковской диффузии. Если установлено, что диффузия водяного пара в испытуемом материале является нефиковской, то должны быть зафиксированы только отдельные измерения при каждом варианте температуры и относительной влажности.

8 Протокол испытаний

Протокол испытаний оформляется испытательной лабораторией, проводившей испытания, в соответствии с *ГОСТ ISO/IEC 17025*. Протокол испытаний должен содержать как минимум следующие данные:

a) наименование документа;

b) наименование и адрес испытательной лаборатории, и указание места, где были проведены испытания;

c) уникальную идентификацию протокола и каждой страницы;

d) наименование и адрес заказчика, когда это необходимо;

e) количество отобранных образцов и описание процедуры отбора образцов, когда это необходимо;

f) описание и идентификацию образцов, включая значения их толщины, температуры и влажности, описание метода и деталей подготовки образцов (включая, если применяется, отверждение, ламинирование, историю образцов или аналогичную обработку) и любую предварительную подготовку, а также идентификацию и описание фотоэлектрического(их) модуля(ей), для применения в котором(ых) предназначен испытуемый материал, когда это необходимо, например описание процесса ламинирования;

g) дату получения испытанных образцов (модуля, материала) и дату(ы) испытания, когда это необходимо;

h) идентификацию используемого измерительного прибора;

i) описания всех отклонений, дополнений или исключений в процедурах проведения испытаний, а также любую иную информацию, характеризующую конкретное испытание, например описание подготовки образцов или тип диффундирующего вещества (водяной пар);

j) данные измерений, расчеты и полученные результаты каждого испытанного образца, сопровождаемые необходимыми таблицами, схемами, рисунками и фотографиями (например, графики процесса или графики изменения параметров в зависимости от изменения температуры или влажности);

k) расчетные или измеренные значения следующих параметров и констант с расчетными неопределенностями:

1) для каждого цикла измерений:
- температура в испытательной ячейке T;
- относительная влажность воздуха RH;
- стационарная скорость пропускания водяного пара $WVTR_{SS}$;
- коэффициент проницаемости P;
- коэффициент диффузии воды D;
- коэффициент растворимости S,
- константа сквозного проникновения влаги K_{10};

2) для серии измерений при различных значениях температуры и/или относительной влажности в испытательной ячейке — диапазоны изменения температуры в испытательной ячейке и/или относительной влажности в камере источника влаги во время измерений, а также, если были определены:
- энергия активации проницаемости Ea_P;
- предэкспоненциальный множитель в уравнении проницаемости P_0;
- энергия активации диффузии Ea_D;
- предэкспоненциальный множитель в уравнении диффузии D_0;
- энергия активации растворимости Ea_S;
- предэкспоненциальный множитель в уравнении растворимости S_0;

- энергия активации сквозного проникновения влаги Ea_{K10};
- предэкспоненциальный множитель в уравнении сквозного проникновения влаги $K_{10,0}$.

Для многослойных материалов должно быть указание на то, что часть измеренных значений характеристик влагопроницаемости являются кажущимися: к соответствующим символам должен быть добавлен подстрочный индекс «eff» (например, D_{eff});

l) указание на то, отвечает ли материал фиковской диффузии водяного пара или нет;

m) оценку неопределенности (погрешности) результатов испытаний (когда это необходимо);

n) должность и подпись либо равноценную идентификацию лиц, отвечающих за содержание протокола испытаний, а также дату его подписания/составления;

p) положение о том, что полученные результаты относятся только к испытанным образцам, когда это необходимо;

q) положение о том, что для сохранения сертификата соответствия изготовитель должен сообщать и согласовывать с испытательной лабораторией и сертифицирующей организацией все проводимые им изменения;

r) положение о том, что данный протокол испытаний не может быть воспроизведен иначе как полностью без письменного разрешения опубликовавшей его лаборатории.

Изготовитель должен хранить копию протокола испытаний в качестве справочного материала.

Приложение А
(справочное)

Примеры результатов измерений полимерных материалов, отвечающих фиковской и нефиковской диффузии

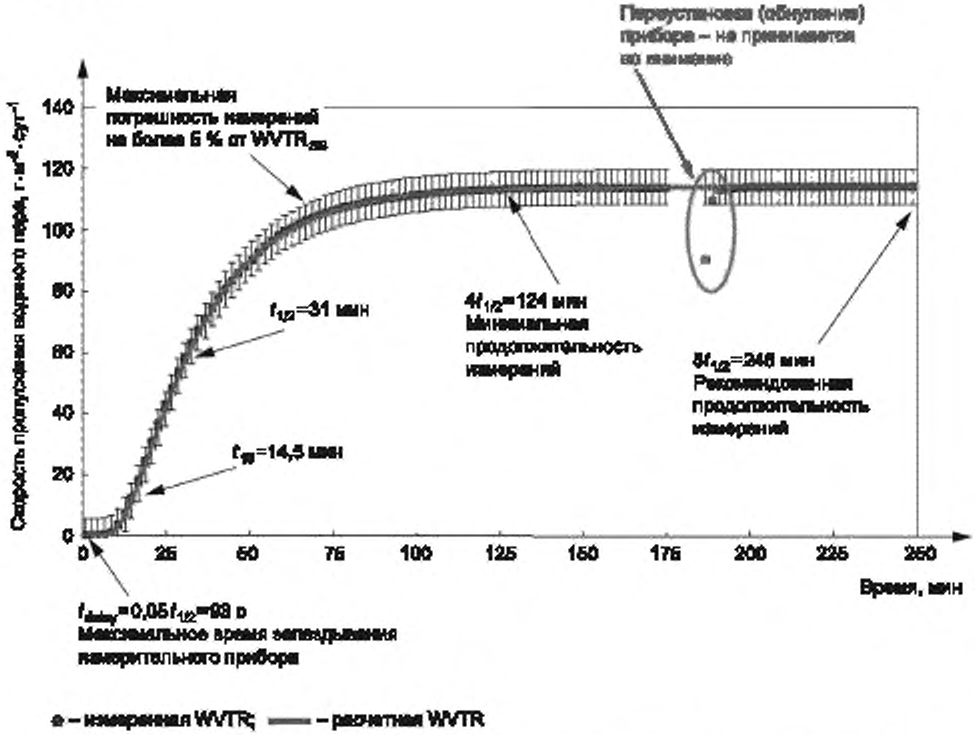
А.1 Пример результатов измерений материала, отвечающего фиковской диффузии

Пленка из сополимера этилена с винилацетатом (ЭВА) отвечает фиковской диффузии. Измеренный и расчетный графики WVTR(t) показаны на рисунке А.1. Параметры измерений и характеристики влагопроницаемости при постоянной температуре внутри испытательной ячейки:

T = 85 °С
RH = 100 %
l = 2,84 мм
$WVTR_{SS}$ = 114 г · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$
D = 6,1 · 10^{-6} см^2 · с$^{-1}$
S = 0,006 1 г · см$^{-3}$
P = 324 г · мм · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$
K_{10} = 0,634 см · ч$^{-0,5}$

При изменении температуры внутри испытательной ячейки в диапазоне, указанном в настоящем стандарте (в протоколе фиксируют граничные значения диапазона изменения температуры), энергии активации и предэкспоненциальные множители имеют следующие значения:

P_0 = 4,1 · 10^{10} г · мм · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$
Ea_P = 55 кДж · моль$^{-1}$
D_0 = 2,3 см^2 · с$^{-1}$
Ea_D = 38 кДж · моль$^{-1}$
S_0 = 1,8 г · см$^{-3}$
Ea_S = 17 кДж · моль$^{-1}$



Примечание — В данном случае на 185 минуте произошло обнуление (переустановка) прибора.

Рисунок А.1 — Пример фиковской диффузии в пленке ЭВА при температуре внутри испытательной ячейки 85 °С, относительной влажности в камере источника влаги 100 % и толщине образца 2,84 мм

А.2 Пример неудачных измерений

На рисунке А.2 приведен пример неудачных измерений образцов пленки полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и, как результат, неудачного применения модели Фика. Проведенные измерения не позволили определить коэффициенты диффузии и растворимости. Было взято недостаточное количество данных и получено большое количество точек, лежащих за пределами ±5 % от $WVTR_{SS}$. Тем не менее время запаздывания в 80 с находилось в пределах максимума $0{,}05t_{1/2} = 0{,}05 \cdot 16000$ ч = 800 ч. Большое количество инструментальных погрешностей также привело к значительному отличию измеренного $t_{1/2}$ от того, которое было получено при расчете.

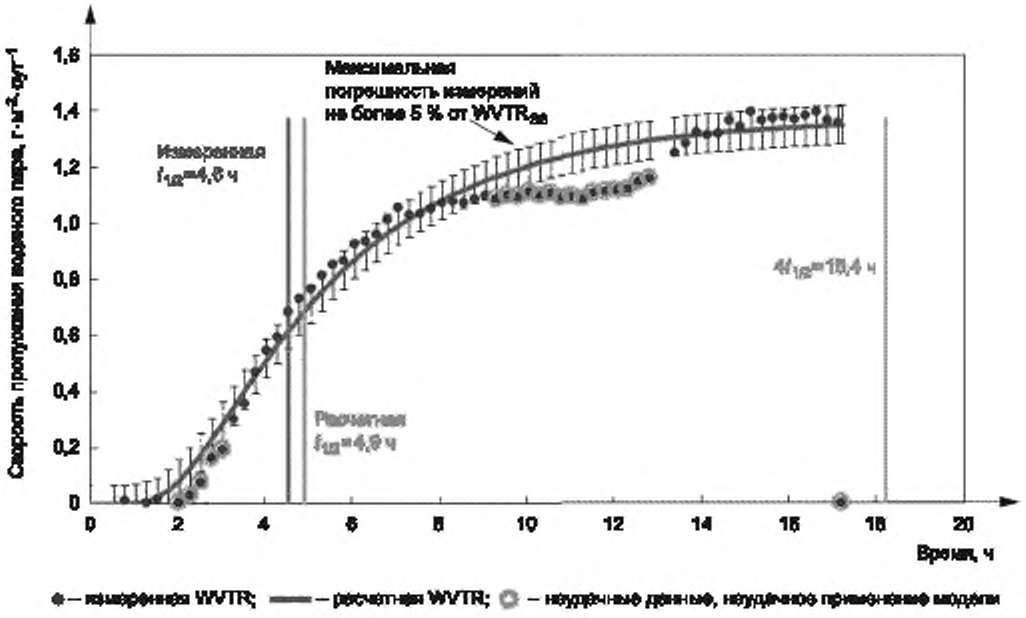


Рисунок А.2 — Пример неудачных измерений пленки ПЭТФ при температуре внутри испытательной ячейки 22 °С, относительной влажности в камере источника влаги 100 % и толщине образца 0,018 мм

А.3 Пример нефиковской диффузии

Полиизобутилен с осушителем, применяемый в качестве материала торцевого уплотнения, график WVTR(t) в котором показан на рисунке А.3, не отвечает фиковской диффузии. Характеристики влагопроницаемости:

T = 38 °С
RH = 100 %
l = 0,10 мм
$WVTR_{SS} = 0{,}29$ г · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$
$P = 0{,}29$ г · мм · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$
$P_0 = 4{,}11 \cdot 10^9$ г · мм · м$^{-2}$ · сут$^{-1}$
$Ea_P = 60{,}4$ кДж · моль$^{-1}$
$K_{10} = 0{,}00204$ см · ч$^{-0{,}5}$
$K_{10,0} = 2500$ см · ч$^{-0{,}5}$
$Ea_{K10} = 35$ кДж · моль$^{-1}$

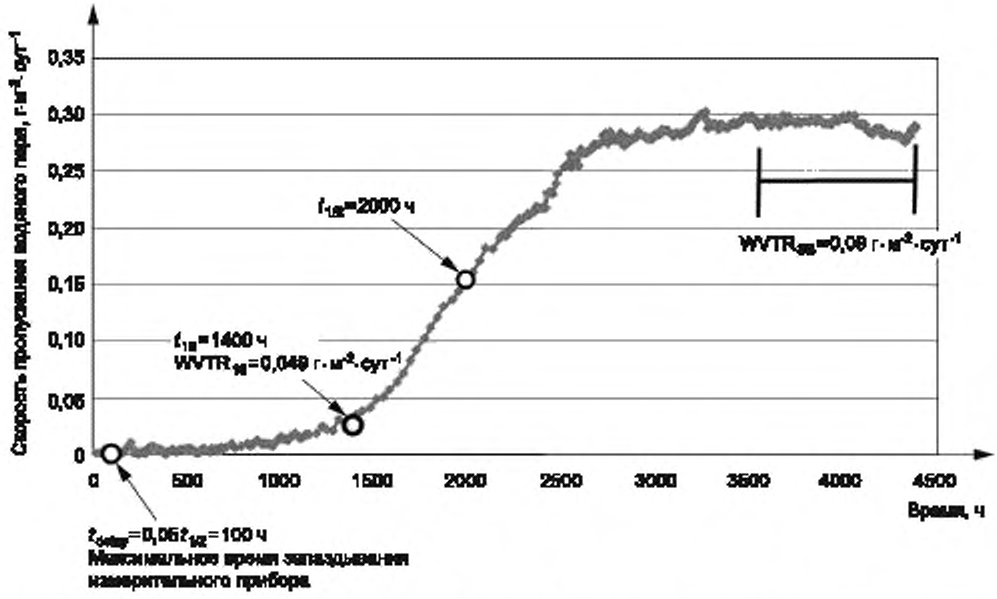


Рисунок А.3 — Пример нефиковской диффузии в полиизобутилене с осушителем, применяемом в качестве материала торцевого уплотнения при температуре внутри испытательной ячейки 38 °С, относительной влажности в камере источника влаги 100 % и толщине образца 1 мм

Приложение ДА
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта

Таблица ДА.1

Структура настоящего стандарта	Структура международного стандарта МЭК 62788-6-2:2020
1 Область применения	1 Область применения
2 Нормативные ссылки	2 Нормативные ссылки
3 Термины, определения и обозначения	3 Термины и определения
3.1 Термины и определения	3.1 Термины и определения
3.2 Обозначения	3.2 Условные обозначения
4 Испытательное оборудование и материалы	4 Испытательное оборудование
5 Отбор и подготовка образцов (раздел 5)	5 Образцы для испытаний
6 Проведение испытаний (раздел 5, раздел 6, 7.3, 7.4)	6 Порядок испытаний
6.1 Общие положения (раздел 6)	7 Расчеты
6.2 Кондиционирование (раздел 6)	7.1 Определение коэффициентов диффузии и растворимости
6.3 Основные измерения (разделы 6, 7)	7.2 Определение константы сквозного проникновения
6.4 Дополнительные измерения (разделы 5, 6)	7.3 Измерение при переменных температурах
6.4.1 Измерения, связанные с соотношением $t_{1/2}$ и t_{delay}	7.4 Измерение при переменной относительной влажности
6.4.2 Определение t_{delay}	8 Протокол испытаний
6.4.3 Измерения, связанные с тем, что неправильно выбрана толщина образцов	Приложение А Пример данных
6.4.4 Измерения, связанные с изменением образцов в процессе измерений	Библиография
7 Обработка результатов	
7.1 Оценка диффузионного процесса. Определение коэффициентов диффузии, растворимости и проницаемости	
7.2 Определение константы сквозного проникновения влаги	
7.3 Определение энергий активации и предэкспоненциальных множителей	
7.4 Оценка изменения характеристик влагопроницаемости при изменении относительной влажности	
8 Протокол испытаний	
Приложение А Примеры результатов измерений полимерных материалов, отвечающих фиковской и нефиковской диффузии	

Окончание таблицы ДА.1

Структура настоящего стандарта	Структура международного стандарта МЭК 62788-6-2:2020
Приложение ДА Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта	
Библиография	
Примечание — После заголовков разделов (подразделов) настоящего стандарта приведены в скобках номера аналогичных им разделов (подразделов, пунктов) международного стандарта.	

Библиография

[1] IEC/TS 61836:2016 *Системы фотоэлектрические. Термины, определения и символы (Solar photovoltaic energy systems — Terms, definitions and symbols)*

[2] ИСО 15106-4:2008 *Пластмассы. Пленка и листы. Определение проницаемости водяных паров. Часть 4. Метод с применением газохроматографического детектора (Plastics — Film and sheeting — Determination of water vapour transmission rate — Part 4: Gaschromatographic detection sensor method)*

УДК 697.329:006.354 ОКС 27.160

Ключевые слова: фотоэлектрические модули, полимерные материалы, испытание на влагопроницаемость, равновесная скорость пропускания водяного пара, коэффициент влагопроницаемости, коэффициент диффузии, коэффициент растворимости

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 27.10.2021. Подписано в печать 03.11.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,24.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru