ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59322— 2021 (ИСО 16378:2013)

СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИЕ

Измерения терморадиационных характеристик терморегулирующих материалов и покрытий

(ISO 16378:2013, Space systems — Measurements of thermo-optical properties of thermal control materials, MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «Композит» (АО «Композит») на основе официального перевода на русский язык англоязычной версии указанного в пункте 4 стандарта, который выполнен АО «Композит»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 321 «Ракетно-космическая техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 февраля 2021 г. № 49-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 16378:2013 «Системы космические. Измерения термооптических свойств терморегулирующих материалов» (ISO 16378:2013 «Space systems — Measurements of thermo-optical properties of thermal control materials», MOD) путем изменения структуры, внесения технических отклонений и дополнений для учета особенностей аспекта стандартизации, характерных для Российской Федерации.

Дополнительные слова (фразы, показатели, ссылки), включенные в текст стандарта для учета особенностей российской национальной стандартизации, выделены курсивом.

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

Отдельные структурные элементы применены в целях соблюдения норм русского языка и технического стиля изложения, а также в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5—2001.

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

© ISO, 2013 — Все права сохраняются
© Стандартинформ, оформление, 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 и определения . . . 2
4 Условия *проведения измерений* . . . 3
4.1 Опасные и вредные факторы, меры по охране здоровья и обеспечению безопасности . . . 3
4.2 Подготовка образцов . . . 3
4.3 Производственные помещения . . . 4
4.4 Стандартные образцы *и рабочие* эталоны . . . 4
5 Методы *определения* коэффициента поглощения солнечного излучения (α_s) . . . 5
6 Метод измерения полусферического коэффициента излучения (ε_h) в ИК-диапазоне *калориметрическим методом* . . . 5
7 Методы измерения нормального коэффициента излучения (ε_n) в ИК-диапазоне . . . 6
8 Отчет об измерениях . . . 6
8.1 Полная идентификация испытуемого материала . . . 6
8.2 Полная идентификация условий измерения . . . 6
8.3 Результаты измерений . . . 7
8.4 Нестандартные измерения . . . 7
9 Обеспечение качества . . . 7
9.1 Неопределенность (погрешность) измерений . . . 7
9.2 Калибровка . . . 7
10 Поверка средств измерений . . . 8
10.1 Общие положения . . . 8
10.2 Первичная *поверка средств измерений* . . . 8
10.3 Периодическая поверка средств измерений . . . 8
10.4 Внеочередная поверка средств измерений . . . 8
Приложение А (справочное) *Определение* коэффициента поглощения солнечного излучения (α_s) *расчетным методом с использованием спектральных характеристик, измеренных на спектрофотометре* . . . 9
Приложение В (справочное) *Определение* коэффициента поглощения солнечного излучения (α_s) *с использованием средств измерений, измеряющих интегральный коэффициент отражения* методом сравнения . . . 12
Приложение С (справочное) *Определение* полусферического коэффициента излучения (ε_h) в ИК-диапазоне калориметрическим методом . . . 14
Приложение D (справочное) *Определение* нормального коэффициента излучения в ИК-диапазоне (ε_n) *расчетным методом с использованием спектральных характеристик, измеренных* на ИК-спектрометре . . . 17
Приложение Е (справочное) *Определение* нормального коэффициента излучения в ИК-диапазоне (ε_n) *с использованием средств измерений, измеряющих интегральный коэффициент отражения методом сравнения* . . . 19
Приложение F (справочное) Основные параметры при выполнении измерений . . . 22
Приложение ДА (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта . . . 23
Библиография . . . 25

Введение

Коэффициент поглощения солнечного излучения и коэффициент излучения в ИК-диапазоне являются основными характеристиками при проведении тепловых расчетов активной и пассивной систем *терморегулирования* космической техники.

В настоящем стандарте описываются методы, средства измерений и образцы, используемые для определения терморадиационных характеристик терморегулирующих материалов и покрытий: коэффициента поглощения солнечного излучения (α_s) и коэффициента излучения в ИК-диапазоне (ε).

Настоящий стандарт целесообразно применять при выполнении международных контрактов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИЕ

Измерения терморадиационных характеристик терморегулирующих материалов и покрытий

Space systems. Measurements of thermo-irradiation properties of thermal control materials and coatings

Дата введения — 2021—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы измерений, требования к средствам измерений и образцам, используемых для измерения (определения) терморадиационных характеристик терморегулирующих материалов и покрытий (далее — материалы). В настоящем стандарте описаны особенности, приведено сравнение возможностей методов измерений и указаны погрешности средств измерений. Данные измерения выполняют на наземных средствах измерений с целью определения указанных характеристик. Измеренные терморадиационные характеристики используют для выбора материалов, выполнения тепловых расчетов космических аппаратов, контроля технологического процесса, контроля качества терморегулирующих материалов и покрытий и т. п.

Результаты, полученные при наземных измерениях, дают возможность оценить температуру космического аппарата на орбите в начале эксплуатации. В настоящем стандарте установлены требования к поверке (калибровке) средств измерений и эталонным образцам, используемым при измерениях.

В приложениях к настоящему стандарту изложены следующие методы измерений, в том числе требования к форме и размерам образцов и выполнению вычислений:

a) *определение* коэффициента поглощения солнечного излучения α_s расчетным методом с использованием *спектральных характеристик, измеренных на* спектрофотометре, — приложение A;

b) *определение* коэффициента поглощения солнечного излучения α_s *с использованием средств измерений, измеряющих интегральный коэффициент отражения* методом сравнения, — приложение B;

c) *определение* полусферического коэффициента излучения в ИК-диапазоне калориметрическим методом (ε_h) — приложение C;

d) *определение* нормального коэффициента излучения (ε_n) в ИК-диапазоне *расчетным методом с использованием спектральных характеристик, измеренных на* ИК-спектрометре (ε), — приложение D;

e) *определение* нормального коэффициента излучения (ε_n) в ИК-диапазоне *с использованием средств измерений, измеряющих интегральный коэффициент отражения методом сравнения,* — приложение E.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 3 Перчатки хирургические резиновые. Технические условия

Издание официальное

ГОСТ 34100.3/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерений

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 и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **коэффициент поглощения** α**:** Величина, определяемая отношением потока, поглощенного материалом (или телом), к потоку падающего излучения.

3.2 **коэффициент поглощения солнечного излучения** α_s**:** Величина, определяемая отношением потока солнечного излучения, поглощенного материалом (или телом), к потоку падающего солнечного излучения.

3.3 **поток излучения** Φ**, Вт**: Величина, вычисляемая по формуле

$$\Phi = dQ/dt,$$

где dQ — лучистая энергия, излученная, переданная или полученная за промежуток времени длительностью dt.

3.4 **сферическая облученность (в точке)** $E_{e,o}$**, Вт · м$^{-2}$:** Величина, определяемая по формуле

$$E_{e,o} = \int_{4\pi} L_e \, d\Omega,$$

где $d\Omega$ — телесный угол элементарного пучка лучей, проходящего через данную точку;

L_e — энергетическая яркость пучка лучей.

[ГОСТ 8.654—2016, статья 2.1.22]

3.5 **коэффициент отражения** ρ**:** Величина, определяемая отношением отраженного материалом потока излучения к падающему потоку излучения.

3.6 **коэффициент зеркального отражения** ρ_r**:** Величина, определяемая отношением зеркально отраженного потока излучения от материала к падающему потоку излучения.

3.7 **коэффициент диффузного отражения** ρ_d**:** Величина, определяемая отношением диффузно отраженного потока излучения от материала к падающему потоку излучения.

Примечание — При наличии смешанного отражения коэффициент отражения складывается из коэффициентов зеркального и диффузного отражения $\rho_d + \rho_r$.

3.8 **коэффициент излучения в ИК-диапазоне:** Коэффициент излучения в ИК-диапазоне от 3 до 25 мкм.

3.9 **близкий к нормали — полусферический коэффициент отражения:** Коэффициент, указывающий, что направление падающего излучения близко к нормали от поверхности образца, а поток, отраженный от его поверхности, собирается для регистрации из всей полусферы.

3.10 **солнечная облученность, Вт · м$^{-2}$:** Солнечное излучение, проинтегрированное по спектральному диапазону и выраженное в единицах системы СИ мощности, падающей на единичную площадку.

3.11 **коэффициент пропускания τ:** Величина, определяемая отношением прошедшего потока излучения к падающему потоку излучения.

3.12 **коэффициенты излучения, ε, $ε_h$:** Величины, определяемые отношением энергетической светимости тела к энергетической светимости абсолютно черного тела при той же температуре.

Примечание — Для указания условий падения и регистрации излучения к введенным определениям величин необходимо добавлять следующие прилагательные:

- полный: если они относятся ко всему спектру теплового излучения (данное определение можно считать неявно подразумеваемым) (см. [1]);
- спектральный: если они относятся к спектральному диапазону с центром на длине волны λ (см. [1]);
- полусферический: если они относятся ко всем направлениям, по которым элемент поверхности может излучать или по которым излучение может попадать на элемент поверхности (см. [1]);
- направленный: если они относятся к направлениям распространения, задаваемым телесным углом вокруг определенного направления (см. [1]);
- нормальный: если они относятся к распространению или падению по нормали к поверхности (см. [1]).

Пример — Полный полусферический коэффициент излучения.

Полная полусферическая светимость рассматриваемой поверхности, деленная на полную полусферическую светимость абсолютно черного тела при той же температуре (см. [1]).

3.13 **излучательная способность:** Характеристика материала, определяемая как коэффициент излучения идеального материала, который имеет достаточную толщину, чтобы быть непрозрачным в ИК-диапазоне, и имеет оптически гладкую поверхность.

3.14 **интегрирующая сфера:** Полый шар с внутренней поверхностью, которая в большинстве случаев представляет собой практически неселективный и пространственно однородный диффузный отражатель, имеющий отверстие, в которое помещается физический приемник; экран, расположенный внутри шара, защищающий отверстие от прямых лучей источника.

4 Условия *проведения измерений*

4.1 Опасные и вредные факторы, меры по охране здоровья и обеспечению безопасности

Следует уделять внимание мерам по охране здоровья и обеспечению безопасности. Необходимо контролировать и минимизировать факторы, представляющие опасность для персонала, оборудования и материалов.

4.2 Подготовка образцов

4.2.1 Характеристики образцов

Настоящий стандарт применим к материалам, обладающим как зеркальным, так и диффузным *характерами отражения.*

4.2.2 Конфигурация *образцов*

Образцы материала должны изготавливаться по действующей технологической документации в соответствии *с требованиями нормативных документов или конструкторской документации* и должны отражать отклонение *характеристик материала* в партии.

Образцы следует изготавливать одновременно с рабочей деталью или на них одновременно с рабочей деталью должно наноситься покрытие. В тепловых расчетах следует учитывать предполагаемые изменения терморадиационных характеристик при переходе от образцов к материалам бортового оборудования.

Шероховатость поверхности существенно влияет на результаты измерений. Чистота поверхности образцов без покрытия после завершающей технологической операции должна быть такой же, как и у рабочей детали.

4.2.3 Очистка *образцов*

Способ очистки и иная обработка образцов всегда должны быть точно такими же, как и для материалов бортового оборудования. Дополнительная очистка или обработка образца не допускается.

В частности, коэффициент поглощения солнечного излучения чувствителен к загрязнению поверхности образца, и, если образец или материал бортового оборудования загрязнен (пусть даже потожировыми выделениями рук), результаты измерений могут оказаться ошибочными.

4.2.4 Обращение с образцами и их хранение

Образцы следует брать в чистых, не оставляющих ворса перчатках *или резиновых хирургических перчатках* по *ГОСТ 3*, хранить образцы необходимо в помещениях при комнатной температуре от 288 до 303 К и относительной влажности от 20 % до 65 %.

Поверхности с нанесенным покрытием следует предохранять от прикосновений, используя для этого мягкий и инертный материал, например полиэтиленовые или полипропиленовые пакеты или листы.

Следует предотвращать нанесение механических повреждений, упаковывая завернутые образцы в чистый, не оставляющий пыльных следов и ворса материал.

Материалы с ограниченным сроком эксплуатации должны быть снабжены этикетками или промаркированы с указанием сроков их эксплуатации и датами изготовления.

4.2.5 Идентификация *образцов*

К образцам, передаваемым для измерений, должен прилагаться заполненный *сопроводительный документ (паспорт)*.

Следует указывать поверхность образцов, на которой предстоит проводить измерения, за исключением случаев, когда на обеих поверхностях образцов свойства полностью идентичны.

4.3 Производственные помещения

4.3.1 Чистота

Рабочее место должно быть чистым и незапыленным.

4.3.2 Условия окружающей среды

Температура в производственных помещениях и на рабочих местах должна быть от 288 до 303 К, а относительная влажность — от 20 % до 65 %, если не оговорено иное.

4.3.3 Средства измерений

Средства измерений являются индивидуальными для каждого измерения и приводятся в приложениях.

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, должны иметь утвержденный тип, быть работоспособны и поверены в соответствии с [2]. Для остальных средств измерения допускается процедура калибровки.

4.4 Стандартные образцы *и рабочие* эталоны

4.4.1 Общие положения

Необходимы как стандартные образцы, так и рабочие эталоны (образцы сравнения, эталонные образцы). Предпочтительнее пользоваться износостойкими и долговечными материалами. Со стандартными образцами и *эталонами* следует обращаться и хранить их согласно соответствующим инструкциям и правилам. *Прикосновения к измеряемым оптическим поверхностям образцов недопустимы.*

4.4.2 Стандартные образцы

Стандартные образцы — это первичные эталонные образцы для поверки (калибровки) средств измерений и рабочих эталонов. Стандартные образцы должны пройти калибровку в организации, аккредитованной на право проведения данных работ.

4.4.3 Рабочие эталоны

Рабочие эталоны применяют при повседневной работе со средствами измерений. Рабочий эталон должен подвергаться калибровке ежегодно путем измерения его *спектров отражения* относительно свойств соответствующего стандартного образца. При наличии загрязнений или повреждении поверхности рабочий эталон следует очистить, обновить или заменить.

4.4.4 Рабочие эталонные образцы для определения коэффициента поглощения солнечного излучения

Для диффузных образцов с высоким коэффициентом отражения используют рабочий эталон, который имеет высокий коэффициент диффузного отражения в области солнечного спектра.

Примечание — В качестве эталонного образца с высоким коэффициентом отражения обычно используют белый светорассеивающий материал, который обладает высоким коэффициентом диффузного отражения в диапазоне от 250 до 2500 нм.

Для зеркально отражающих образцов необходим рабочий эталон, который является в высокой степени зеркальным. Применяемые рабочие эталоны представляют собой осажденные в вакууме тонкие непрозрачные пленки металлов.

Примечание — Стеклянное зеркало с алюминиевым покрытием широко применяют благодаря своему высокому коэффициенту отражения и простоте нанесения. Хотя алюминиевая поверхность без покрытия легко повреждается, защитное покрытие способно сохранить оптические свойства.

Для поглощающих материалов необходим рабочий эталон, который имеет низкий коэффициент отражения в области солнечного спектра, чтобы обеспечить точную коррекцию нулевой базовой линии.

4.4.5 Рабочие эталонные образцы для определения коэффициента излучения в ИК-диапазоне

В качестве рабочих эталонных образцов изготовители средств измерений часто поставляют набор материалов с высоким и низким коэффициентами излучения. Рабочими эталонными образцами с высоким и низким коэффициентами излучения могут служить, соответственно, черная краска (или, что более предпочтительно, полость абсолютно черного тела), *никель или образец с золотым покрытием.*

5 Методы *определения* коэффициента поглощения солнечного излучения (α_s)

5.1 Коэффициент поглощения солнечного излучения определяют двумя методами. Необходимо четко различать коэффициенты поглощения солнечного излучения, полученные этими двумя методами. При проведений измерений должны быть указаны метод измерения и средства измерений.

5.1.1 Метод определения коэффициента поглощения солнечного излучения α_S расчетом с использованием спектральных характеристик, измеренных на спектрофотометре в диапазоне длин волн от 250 до 2500 нм

В данном методе выполняют измерения спектрального коэффициента отражения и коэффициента пропускания образцов материалов (в том случае, если они полупрозрачные) с помощью спектрофотометров, оснащенных интегрирующими сферами. Этот метод обеспечивает достаточно высокую точность определения коэффициента поглощения солнечного излучения для образцов материалов и покрытий различных типов и может быть использован для определения as эталонных образцов, которые используют для измерений по второму методу с использованием интегральных средств измерений.

5.1.2 Метод определения коэффициента поглощения солнечного излучения α_s с использованием средств измерений, измеряющих интегральный коэффициент отражения методом сравнения

Данный метод имеет ограничения из-за отличия спектра источника излучения (галогенной или ксеноновой лампы) от солнечного спектра и спектральной селективности приемников излучения. Поэтому в качестве образцов сравнения следует использовать эталонные образцы с оптическими характеристиками отражения, схожими с измеряемыми образцами.

Погрешность в измерении α_s по этому методу больше, чем по методу с использованием спектральных средств измерений, и сводится к минимуму для неселективных (серых) материалов.

6 Метод измерения полусферического коэффициента излучения (ε_h) в ИК-диапазоне *калориметрическим методом*

Калориметрический метод позволяет проводить непосредственное измерение полусферического коэффициента излучения. Калориметрический метод является точным методом для получения полно-

го полусферического коэффициента излучения в ИК-диапазоне. Полусферический коэффициент излучения образцов в более широком температурном интервале получают только калориметрическим методом.

7 Методы измерения нормального коэффициента излучения (ε_n) в ИК-диапазоне

7.1 Нормальный коэффициент излучения в ИК-диапазоне определяют двумя методами Необходимо четко различать коэффициенты излучения, полученные этими двумя методами. При проведении измерений должны быть указаны метод измерения и средства измерений.

7.1.1 Определение нормального коэффициента излучения в ИК-диапазоне с использованием ИК-спектрометра (ε_n)

В методе с использованием ИК-спектрометра *и интегрирующей сферы с золотым диффузно отражающим покрытием измеряется* нормальный коэффициент отражения, который равен единице минус коэффициент излучения материалов.

7.1.2 Определение нормального коэффициента излучения в ИК-диапазоне с использованием *средств измерений, измеряющих интегральный коэффициент отражения методом сравнения, например с помощью оптической системы собирающего зеркального эллипсоида (ε_n) или интегрирующей сферы ИК-диапазона длин волн*

Исходный пучок направляется на образец под углом, близким к нормали. Зеркальный эллипсоид собирает на приемнике излучения, обычно пироэлектрического типа большую часть потока излучения, отраженного образцом в полусферу.

8 Отчет об измерениях

8.1 Полная идентификация испытуемого материала

В отчете об измерениях должно быть приведено, как минимум, следующее:

a) марки материалов и номера партий испытуемых материалов;

b) наименование изготовителя материала или поставщика, через которого была произведена закупка;

c) сводная информация по программе подготовки (например, состав покрытия, толщина покрытия, время и температура отверждения, процедура очистки);

d) при наличии данных необходимо указать размеры и толщину образца, толщину слоев покрытия, профиль поверхности, характер отражения (например, диффузно или зеркально отражающий), степень прозрачности и т. п.;

e) если покрытие наносится на подложку, то указывают ее свойства (например, марка подложки, материал, толщина и т. п.).

8.2 Полная идентификация условий измерения

В отчете об измерениях должно быть приведено, как минимум, следующее:

a) применяемый метод измерения;

b) дата и время проведения измерения;

c) идентификация используемых средств измерений (для серийно изготавливаемых средств измерений достаточно будет указать наименование изготовителя и номер модели, включая модификации и дополнительное оборудование. Единичные средства измерений должны быть описаны подробно, в том числе должны быть указаны диапазон длин волн и оценка их точности. Должна быть указана информация по наиболее важному вспомогательному оборудованию, в частности, материал покрытия и диаметр интегрирующей сферы, полоса пропускания фильтра и т. п.);

d) идентификация (марка материала и характеристики) рабочих эталонов, применяемых для калибровки;

e) *терморадиационные* характеристики материалов, использованных в качестве рабочих эталонов;

f) температура и относительная влажность окружающей среды;

g) температура образцов (комнатная или регулируемая определенная температура);

h) местоположение на участке поверхности, на котором проводились измерения (не относится к небольшим образцам для измерений).

8.3 Результаты измерений

8.3.1 Оптические *характеристики* в области солнечного спектра

В отчете об измерениях должно быть приведено следующее:

a) коэффициент поглощения, коэффициент отражения или коэффициент пропускания *(в случае полупрозрачных образцов материалов)* солнечного излучения либо все три коэффициента, определенные с точностью *0,02* или *2 %*;

b) исходный документ о солнечной спектральной облученности или исходные данные и метод взвешивания, используемые для вычисления оптической характеристики в области солнечного спектра.

8.3.2 Оптические *характеристики* в ИК-области спектра

В отчете об измерениях должно быть приведено следующее:

a) коэффициент излучения, коэффициент *отражения* или коэффициент пропускания *(в случае полупрозрачных образцов материалов)* в ИК-диапазоне либо все три коэффициента, определенные с точностью *0,03* или *3 %*;

b) показания средства измерений (коэффициент отражения) для трех последовательных измерений и их среднеквадратическое отклонение (не распространяется при определении калориметрическим методом);

c) коэффициент излучения в ИК-диапазоне, определенный с точностью *0,03* или *3 %*, полученный вычитанием из единицы усредненной величины трех значений коэффициента отражения (не распространяется при определении калориметрическим методом);

d) для образцов с неоднородными свойствами измерения выполняют на нескольких образцах *(участках образца)* и указывается усредненная величина измеренных значений и ее среднеквадратичное отклонение.

8.4 Нестандартные измерения

Измерение, выполненное с любыми отклонениями от стандартных условий, считается нестандартным измерением. В отчете должны быть четко указаны все отклонения. Измеренные данные необходимо отличать от результатов стандартных измерений. Рекомендуется указать предположительную систематическую погрешность результатов измерений, обусловленную отклонениями.

9 Обеспечение качества

9.1 Неопределенность (погрешность) измерений

Расширенная неопределенность измерений коэффициента поглощения солнечного излучения не должна превышать 0,02 (допустимо увеличение до 0,03 в зависимости от диапазона измеряемых значений и типа применяемого средства измерений) при доверительной вероятности 0,95.

Воспроизводимость измерений коэффициента поглощения солнечного излучения в одной и той же точке образца ±0,01 *(допустимо увеличение до 0,02 в зависимости от диапазона измеряемых значений и типа применяемого средства измерений).*

Расширенная неопределенность измерений коэффициента излучения в ИК-диапазоне не должна превышать 0,03 *(допустимо увеличение до 0,05 в зависимости от диапазона измеряемых значений и типа применяемого средства измерений) при доверительной вероятности 0,95.*

Воспроизводимость измерений коэффициента излучения в ИК-диапазоне в одной и той же точке образца ±0,01 (допустимо увеличение до 0,02 в зависимости от диапазона измеряемых значений и типа применяемого средства измерений).

9.2 Калибровка

Каждый эталонный образец и каждая единица средств измерений должны быть *поверены (откалиброваны)* в соответствии с процедурой, установленной для конкретного средства измерений.

10 Поверка средств измерений

10.1 Общие положения

Данные *по терморадиационным характеристикам*, полученные испытательными центрами для проектов заказчика в форме, установленной настоящим стандартом, признаются только для проектов данного заказчика, если указанный испытательный центр аккредитован для выполнения соответствующей процедуры по настоящему стандарту.

10.2 Первичная *поверка средств измерений*

Средство измерений после покупки или монтажа должно быть поверено (откалибровано) организацией, аккредитованной на право проведения данных работ.

Первичная поверка должна включать в себя, как минимум (но не обязательно ограничиваться этим), техническую проверку аппаратуры и вспомогательного оборудования, проведения измерения на определенной группе материалов, выпуск *извещения о непригодности или свидетельства о поверке (сертификата калибровки)*.

10.3 Периодическая поверка средств измерений

Периодическая поверка включает:

- техническую проверку средств измерений и относящихся к ним стандартных образцов и рабочих эталонов;
- сопоставимость результатов измерений;
- отклонение в результатах измерений. Если техническая проверка системы показывают отклонение в результатах измерений от установленных требований, испытательный центр должен предпринять действия по выявлению причины отклонения и в соответствии с 9.2, прежде чем будет продлено свидетельство о поверке (сертификат о калибровке), провести повторное измерение;
- *выдачу свидетельства о поверке (сертификата калибровки) или извещения о непригодности.*

10.4 Внеочередная поверка средств измерений

При существенных модификациях необходимо заново провести внеочередную проверку средств измерений, как описано в 10.2.

Приложение А
(справочное)

Определение коэффициента поглощения солнечного излучения (α_s) *расчетным методом с использованием спектральных характеристик, измеренных на спектрофотометре*

А.1 Общие положения

Для вычисления коэффициента поглощения солнечного излучения используют спектральные характеристики образца материала, измеренные в диапазоне длин волн от 250 до 2500 нм, *т. к. в этом диапазоне сосредоточено 95,6 % всей энергии солнечного излучения.*

Спектральные характеристики (коэффициент отражения, коэффициент пропускания) следует измерять на спектрофотометре с использованием интегрирующей сферы. *Предпочтительнее использовать спектрофотометр, построенный по двухлучевой схеме измерений, а интегрирующую сферу с внутренним диаметром не менее 150 мм.*

Измерения спектральных характеристик на спектрофотометре с использованием интегрирующей сферы выполняют абсолютным или относительным методом. В случае относительного метода при измерениях используется калиброванный стандартный образец из материала с известными значениями спектрального коэффициента отражения в диапазоне длин волн от 250 до 2500 нм (например, Spectralon).

Для полупрозрачных образцов требуется выполнить измерения коэффициента отражения и коэффициента пропускания.

Коэффициент пропускания, коэффициент отражения или коэффициент поглощения солнечного излучения получаются путем интегрирования спектральных характеристик (в диапазоне длин волн от 250 до 2500 нм), при этом в качестве весовой функции выступает спектральное распределение солнечного излучения.

А.2 Форма и размеры образцов

Требуемый размер измеряемых образцов зависит от размеров интегрирующей сферы. Для сфер, в которых образец крепится на стенке, он должен быть достаточно большим, чтобы полностью закрыть окно сферы. Если достаточно большого образца нет, *то необходимо обеспечить соответствие размеров образца и окна для образцов.*

Пример — Если размер окна сферы составляет 15 × 15 мм, то образец, независимо от своей формы, должен быть больше квадрата со стороной 15 мм. Эти размеры могут меняться в зависимости от используемых методов и средств измерений. В случае структурированных образцов следует использовать либо достаточно большой образец, чтобы можно было выполнить несколько измерений в различных местах, либо несколько образцов, представляющих собой различные участки материала.

Гибкие образцы следует крепить на твердой поверхности. Образец должен быть плоским. У сферически изогнутых образцов радиус их кривизны должен быть больше 300 мм.

Особое внимание следует уделить юстировке оптических систем. Образец должен располагаться под прямым углом к окну для образца и плотно прилегать к нему. Отклонение в угле падения пучка и внутри оптических систем может привести к ошибке в результатах измерений.

Данный метод измерений пригоден для материалов, обладающих как зеркальными, так и диффузными оптическими свойствами.

Непрозрачные образцы должны иметь хотя бы один достаточно большой участок сравнительно ровной поверхности, позволяющий закрыть окно сферы.

У прозрачных матовых образцов должны быть две достаточно плоские и параллельные поверхности. Чтобы уменьшить количество света, рассеивающегося на краях матового образца, минимальное расстояние между краем пучка и краем окна должно равняться десятикратной толщине образца.

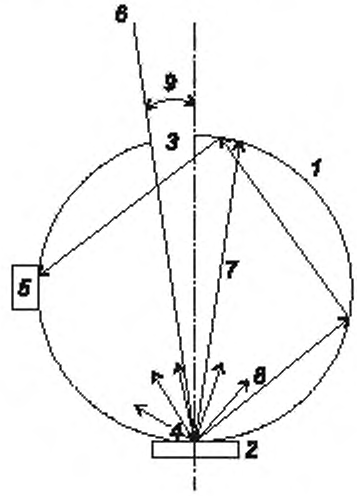
Коэффициент пропускания сильно рассеивающих матовых образцов сложно измерять средством измерений с интегрирующей сферой, поскольку значительная часть падающего потока будет рассеиваться снаружи окна со стороны образца. В отчете об измерениях следует указывать, когда измеряемые образцы обладают подобными свойствами.

А.3 *Средство измерений* и подготовка его к работе

Средство измерений состоит из спектрофотометра, *в который устанавливают интегрирующую сферу* с рабочим диапазоном как минимум от 250 до 2500 нм. Для лучшей повторяемости рекомендуется использовать средство измерений, перекрывающее более широкий диапазон длин волн. На рисунках А.1 и А.2 показана конфигурация средства измерений.

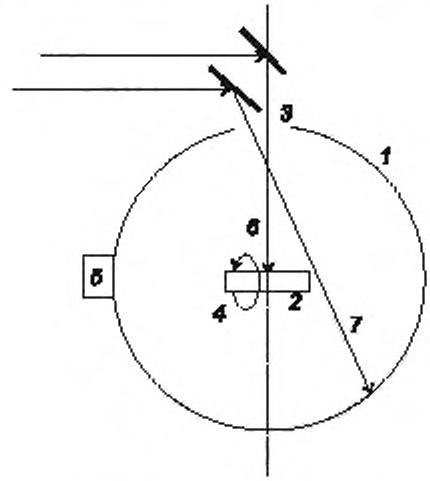
Спектральное разрешение спектрометра должно соответствовать разрешению, используемому для спектра солнечного излучения.

Если образец прикладывается к отверстию (окну) в боковой стенке интегрирующей сферы, то отношение площади окна к площади всей поверхности данной сферы не должно превышать 5 %. Уменьшение величины отношения площади отверстия ко всей внутренней площади поверхности может быть достигнуто при использовании больших сфер. Маленькие сферы могут привести к большим ошибкам.



1 — интегрирующая сфера. *2* — измеряемый образец; *3* — входное отверстие; *4* — окно для образца, *5* — датчик; *6* — падающее излучение; *7* — зеркальное отражение; *8* — диффузное отражение; *9* — угол падения

Рисунок А.1 — Интегрирующая сфера (с расположением образца на стенке)



1 — интегрирующая сфера; *2* — измеряемый образец; *3* — входное отверстие, *4* — вращение образца; *5* — датчик, *6* — падающее излучение; *7* — опорное излучение

Рисунок А.2 — Интегрирующая сфера (с расположением образца в центре)

Измерение спектров отражения образцов проводят абсолютным или относительным методом. При проведении измерений относительным методом ответственный исполнитель должен выбрать эталонный образец, близкий к измеряемому образцу по ряду свойств (внешнему виду, *величине коэффициента отражения).*

Если у материалов в измеряемой области спектра преобладает зеркальная компонента, то в качестве эталонного образца следует выбрать образец с зеркальным характером отражения.

Если в измеряемой области спектра преобладает диффузная компонента, то в качестве эталонного образца следует выбрать образец с диффузным характером отражения.

В отчете должно быть указано, какой эталонный образец использовался для измерений.

А.4 Процесс испытаний и измерений

Перед проведением измерений необходимо выполнить коррекции 100 % и 0 % базовых линий (используя эталонные образцы). Эти значения следует измерять как минимум один раз в день при включении средства измерений.

А.5 Вычисление коэффициента поглощения солнечного излучения

Коэффициент поглощения солнечного излучения вычисляют по формуле

$$\alpha_s = 1 - \rho_s, \tag{А.1}$$

где ρ_s *— коэффициент отражения солнечного излучения, вычисляемый по формуле*

$$\rho_s \triangleq \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \rho(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) d\lambda}, \tag{А.2}$$

где $\rho(\lambda)$ — спектральный коэффициент отражения после коррекции опорной величины 100 %;

$S(\lambda)$ — спектральная солнечная облученность;

$d\lambda$ — *шаг сканирования* (обычно составляет 1 нм и должен задаваться с учетом свойств образца);

λ_1 — нижний предел интегрирования 250 нм;

λ_2 — верхний предел интегрирования 2500 нм.

Спектр солнечной облученности приведен в нескольких источниках (например, см. [3]). В отчете об измерениях необходимо указать источник информации, из которого был использован спектр солнечной облученности.

У прозрачных измеряемых образцов коэффициент поглощения можно вычислить этим же способом, поскольку

$$\alpha(\lambda) = 1 - [\rho(\lambda) + \tau(\lambda)]. \tag{А.3}$$

Можно также вычислить коэффициент поглощения для спектра, отличающегося от спектра солнечного излучения, например для имитаторов солнечного излучения.

Приложение В
(справочное)

Определение коэффициента поглощения солнечного излучения (α_s) *с использованием средств измерений, измеряющих интегральный коэффициент отражения* методом сравнения

В.1 Общие положения

При определении коэффициента поглощения солнечного излучения данным методом используют, как правило, средство измерений, в котором источник излучения имеет спектральное распределение, близкое к солнечному, либо регистрацию излучения проводят с использованием спектральных корректирующих элементов, которые моделируют регистрацию потока солнечного излучения.

Данный метод с использованием интегрального фотометра (рефлектометра солнечного) основан на сравнении коэффициента отражения измеряемого образца с коэффициентом отражения образца сравнения (стандартного образца). Свойства (химический состав и морфология поверхности) должны быть типичными и для стандартного образца, и для измеряемого образца. Коэффициент поглощения солнечного излучения от поверхности стандартного образца должен быть определен с использованием метода, описанного в приложении А.

У данного метода имеются ограничения вследствие того, что спектр лампы не идентичен спектру солнечного излучения и спектральной селективности приемников излучения, установленных на интегрирующей сфере интегрального рефлектометра.

При проведении измерений на интегральном фотометре следует соблюдать меры предосторожности.

Данное средство измерений следует использовать только для сравнительных измерений. Средство измерений следует использовать вместе с эталонным образцом, идентичным, или, по крайней мере, имеющим похожие оптические свойства, что и измеряемый образец. Если следовать этому принципу, то на средстве измерений должен получиться непосредственный и корректный результат в пределах области линейности. Если используемый эталонный образец не идентичен испытуемому материалу, то показания средства измерений будут зависеть не только от области линейности средства измерений, но и от спектральной отражательной способности материала. В любых представляемых результатах должны быть указаны подробные условия измерений.

В.2 Форма и размеры образцов

Минимальные размеры образцов определяются диаметром окна интегрирующей сферы средства измерений. Этот диаметр обычно составляет от 15 до 20 мм.

Гибкие образцы следует крепить на твердой поверхности. Образец должен быть плоским. У сферически изогнутых образцов радиус их кривизны должен быть больше 300 мм.

В.3 *Средства измерений* и подготовка их к работе

Средство измерений представляет собой интегральный рефлектометр с интегрирующей сферой, в котором источник излучения (ксеноновая или галогенная лампа) создает световое излучение с воспроизводимым спектром, который с использованием спектральных корректирующих элементов моделирует солнечный. Измеряют интенсивность излучения от поверхности стандартного образца и от поверхности измеряемого образца.

В.4 Процесс испытаний и измерений

Прежде чем приступать к выполнению любых измерений, следует обеспечить устойчивость средств измерений согласно инструкциям изготовителя.

Средство измерений следует откалибровать согласно инструкциям изготовителя.

Калибровка должна включать в себя, как минимум, измерение «нуля» или опорной величины, а также измерение эталонного образца.

После проведения калибровки по соответствующему эталонному образцу следует определить коэффициент поглощения измеряемого образца.

Если необходимо провести измерение нескольких материалов, то калибровку необходимо повторять через равные промежутки времени в зависимости от стабильности средства измерений.

Для обеспечения статистической обработки данных каждое измерение следует повторять как минимум пять раз; необходимо вычислять и приводить в отчетах среднеарифметические и среднеквадратические отклонения результатов измерений.

Некоторые средства измерений выполняют такие вычисления автоматически благодаря встроенному программному обеспечению. Среднеквадратическое отклонение между измерениями должно составлять не более 0,02.

В.5 Вычисления

Коэффициент отражения поверхности эталонного образца (ρ_r):

$$\rho_r = I_r / I, \quad (B.1)$$

где I_r — *интегральный поток излучения,* отраженный поверхностью рабочего эталонного образца;

I — интегральный поток излучения, падающий на рабочий эталонный образец.

Коэффициент отражения поверхности образца (ρ_s):

$$\rho_s = I_s / I. \quad (B.2)$$

где I_s — *интегральный поток излучения,* отраженный поверхностью измеряемого образца;

I — интегральный поток излучения, падающий на измеряемый образец.

Исключая I, для определения коэффициента отражения солнечного излучения измеряемого образца используется соотношение

$$\rho_s = A_s / A_r \cdot \rho_r, \quad (B.3)$$

где A_s, A_r — *электрические сигналы, пропорциональные потокам излучения, отраженного от поверхностей измеряемого и, соответственно, эталонного образцов;*

ρ_r — измеренный коэффициент отражения рабочего эталонного образца (при использовании метода, описанного в приложении А).

Приложение С
(справочное)

Определение полусферического коэффициента излучения (ε_h) в ИК-диапазоне калориметрическим методом

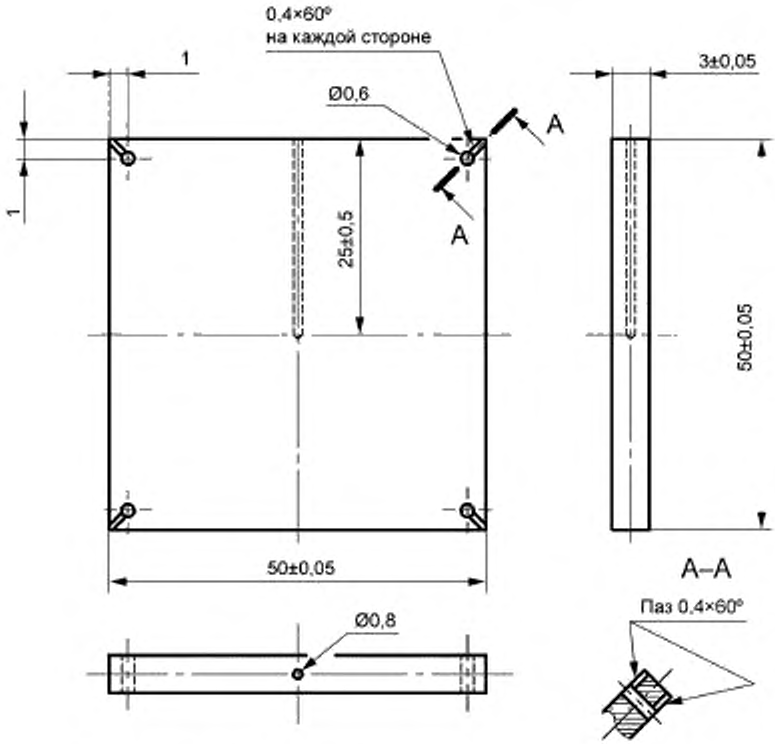
С.1 Общие положения

С помощью динамического калориметрического метода можно определить полный полусферический коэффициент излучения, исходя из понижения температуры объекта измерений с хорошо известными тепловыми характеристиками.

С.2 Форма и размеры образцов

Лучше всего использовать стандартную подложку для образцов, геометрическая форма которой представлена на рисунке С.1.

При этом образец следует изготавливать с помощью механической обработки, а не вырезать ножницами, *т. к. поверхность образца деформируется.* Образец материала приклеивают к подложке. Образец должен быть непрозрачным в ИК-диапазоне, чтобы исключить перенос тепла от подложки.



Материал: бескислородная медь.
Спецификация 99,99 % чистоты
Завершающая обработка:
– толщина никеля: от 1 до 2 мкм;
– толщина золота. 20 мкм

Рисунок С.1 — Стандартная подложка для образцов

С.3 *Средства измерений* и подготовка их к работе

В динамическом калориметрическом методе предполагается, что известна удельная теплоемкость измеряемого образца. Небольшой по весу измеряемый образец (то есть образец с малой теплоемкостью) приклеивают с помощью двухсторонней липкой ленты к позолоченной подложке (стандартной подложке для образцов), теплоемкость которой достаточно велика, чтобы сохранялась постоянная температура на поверхности измеряемого образца.

Вначале измеряют коэффициент излучения позолоченной подложки. В центре позолоченной подложки крепится медно-константановая термопара. Четырьмя нейлоновыми нитями (например, φ = 0,16 мм) подложка и испытуемый образец крепятся к центру держателя образца, который зафиксирован на оси.

Затем вся эта конструкция опускается в центр криогенного экрана, окрашенного в черный цвет, и охлажденного жидким азотом.

Размеры его должны быть таковы, чтобы площадь экрана не менее чем в 100 раз превышала полную площадь измеряемого образца.

Окошко, изготовленное из высокочистого синтетического кварцевого стекла (рабочий диаметр: 90 мм), позволяет облучать измеряемый образец внешним тепловым источником.

С.4 Процесс испытаний и измерений

После достижения достаточного вакуума (менее 10^{-4} Па) и стабилизации температуры экрана и держателя образца испытуемый образец нагревается до 303 К. Регистрируется снижение температуры до 293 К. Затем вычисляется полный полусферический коэффициент излучения для температуры 298 К. С помощью этого метода можно рассчитать указанный коэффициент для любой температуры в интервале от 173 до 373 К.

Примечания

1 Температура образцов должна определяться исходя из диапазона рабочих температур материала.

2 Погрешности измерения зависят главным образом от следующих параметров:

- удельная теплоемкость измеряемого образца C_e;
- температура T;
- время t.

Первый параметр измеряемого образца C_e может быть определен путем термического анализа с помощью дифференциального сканирующего калориметра или взят из справочных данных.

С.5 Вычисление полного полусферического коэффициента излучения

Коэффициент излучения вычисляют по следующим формулам:

$$\varepsilon = \frac{(M_r C_r)_0 + (M_e C_e)_{Tmoy}}{4\sigma S T_0^3 (t_2 - t_1)} \left[(\alpha T_0) \ln A + \ln B + 2C \right], \tag{C.1}$$

$$A = \frac{(T_2^2 + T_0^2)(T_1^2 - T_0^2)}{(T_2^2 - T_0^2)(T_1^2 + T_0^2)}, \tag{C.2}$$

$$B = \frac{(T_2 + T_0)(T_1 - T_0)}{(T_2 - T_0)(T_1 + T_0)}, \tag{C.3}$$

$$C = (1 - \beta T_0^2) \left(\arctan \frac{T_2}{T_1} - \arctan \frac{T_2}{T_0} \right) \tag{C.4}$$

и

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon S - \varepsilon_r S_r}{S_e}, \tag{C.5}$$

где t_1, T_1 и t_2, T_2 представляют собой две точки на кривой охлаждения в моменты времени t_1 и t_2, для которых соответствующими температурами являются T_1 и T_2;

MC — суммарная теплоемкость измеряемого образца с позолоченной подложкой.

Если предполагается, что изменение удельной теплоемкости будет иметь параболическую зависимость от температуры, то тогда:

$$(MC)_T = M_r C_r + M_e C_e \qquad (С.6)$$

и

$$(M_r C_r)_T = (M_r C_r)_0 (1 + \alpha T + \beta T^2), \qquad (С.7)$$

где ε — полный полусферический коэффициент излучения измеряемого образца плюс подложки;

ε_r — полный полусферический коэффициент излучения позолоченной подложки;

ε_e — полный полусферический коэффициент излучения измеряемого образца;

$(M_r C_r)_0$ — теплоемкость подложки при температуре 273 К (Дж · $К^{-1}$);

M_r — масса позолоченной детали (кг);

C_r — удельная теплоемкость позолоченной детали (Дж · кг · $К^{-1}$);

M_e — масса измеряемого образца (кг);

C_e — удельная теплоемкость измеряемого образца (Дж · кг · $К^{-1}$);

S_r — площадь позолоченного участка ($м^2$);

S_e — площадь поверхности измеряемого образца ($м^2$);

S — суммарная площадь излучающей поверхности, т. е. $S = S_e + S_r$ ($м^2$);

T_0 — температура криогенного экрана (К);

t — время (с);

σ — постоянная Стефана-Больцмана = 5,670 400 (40) · 10^{-8} (Вт · $м^{-2} \cdot К^{-4}$).

Приложение D
(справочное)

Определение нормального коэффициента излучения в ИК-диапазоне (ε_n) *расчетным методом с использованием спектральных характеристик, измеренных* на ИК-спектрометре

D.1 Общие положения

Данный метод основан на оптических измерениях спектрального коэффициента отражения материалов в ИК-диапазоне от 3 до 25 мкм. Коэффициент излучения определяется путем измерения полусферического коэффициента отражения этих материалов с использованием ИК Фурье-спектрометра с установленной интегрирующей сферой *с золотым диффузно отражающим покрытием.*

Измерения спектрального полусферического коэффициента отражения образцов материалов проводят абсолютным или относительным методом, где в качестве образца-сравнения используется калиброванный стандартный образец (зеркало или диффузно отражающий образец). Полученный спектр интегрируется, при этом в качестве весовой функции используется спектральная плотность излучения абсолютно черного тела.

D.2 Форма и размеры образцов

Размер образцов зависит от принятой конфигурации измерений (по центру или на стенке), размеров сферы, падающего пучка, держателя образца и окна для измерения. Образец должен быть достаточно большим, чтобы падающий пучок полностью попадал на образец, но в то же время достаточно маленьким, чтобы свести к минимуму изменение структуры сферы.

Обычными являются размеры 20 × 20 мм или диаметром 20 мм (при размещении образца толщиной не более 5 мм в центре сферы), *30 × 30* мм *или диаметром 30 мм (при размещении образца на стенке сферы)* для интегрирующей сферы диаметром 150 мм.

Образцы должны быть жесткими.

D.3 Средства измерений и подготовка их к работе

Средство измерений включает в себя ИК Фурье-спектрометр, оборудованный интегрирующей сферой и охватывающий диапазон как минимум от 3 до 25 мкм. Границы диапазона измерений определяются коэффициентом диффузного отражения материала, который наносится на стенки интегрирующей сферы.

Спектрометр необходимо продуть постоянным потоком N_2, чтобы избавиться от полос поглощения CO_2 и H_2O. Если продувка N_2 невозможна, его следует продуть сухим воздухом.

D.4 Процесс испытаний и измерений

Измерения спектрального коэффициента отражения образцов проводят абсолютным или относительным методом. При проведении измерений относительным методом ответственный исполнитель должен выбрать эталонный образец, близкий *к измеряемому образцу по ряду свойств* (внешним виду, *величине коэффициента отражения).*

Измерения спектрального коэффициента отражения на образце выполняются после измерения спектрального коэффициента отражения стандартного образца, который располагается либо на стенке интегрирующей сферы, либо в ее центре.

Измерения *спектрального коэффициента отражения* исследуемого образца следует проводить в тех же условиях, *что и измерения стандартного образца.*

Для полупрозрачных образцов необходимо выполнить измерения коэффициента пропускания в полусферу с использованием ИК Фурье-спектрометра с установленной интегрирующей сферой, при этом образец прикладывается к входному отверстию интегрирующей сферы, через которое проходит зондирующее излучение, а стандартный образец остается на месте порта измерения коэффициента отражения.

D.5 Вычисление коэффициента излучения

Спектр, полученный вышеприведенным способом, интегрируется с использованием весовой функции по формуле

$$\varepsilon = \frac{\int\limits_{3\text{мкм}}^{25\text{мкм}} \alpha(\lambda)E(\lambda)d(\lambda)}{\int\limits_{3\text{мкм}}^{25\text{мкм}} E(\lambda)d(\lambda)}, \qquad (D.1)$$

где ε — коэффициент излучения образца в ИК-диапазоне;

$\alpha(\lambda)$ — спектральный коэффициент поглощения образца после 100 %-ной коррекции по эталону ($\alpha(\lambda) = 1 - \rho(\lambda)$ или $\alpha(\lambda) = 1 - [\rho(\lambda) + \tau(\lambda)]$, если образец прозрачный);

$E(\lambda)$ — спектр излучения абсолютно черного тела при температуре 300 К, который может быть вычислен по закону Планка:

$$E(\lambda) = \frac{2\pi hc^2\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{мкм)}, \qquad \text{(D.2)}$$

где $h = 6{,}626\,069\,57\,29 \cdot 10^{-34}$ (Дж · с) и $k = 1{,}380\,648\,8 \cdot 10^{-23}$ (Дж · $К^{-1}$).

Приложение Е
(справочное)

Определение нормального коэффициента излучения в ИК-диапазоне (ε_n) *с использованием средств измерений, измеряющих интегральный коэффициент отражения методом сравнения*

Е.1 Общие положения

Определение нормального коэффициента излучения выполняется методом измерения коэффициента отражения образца материала при облучении его поверхности под углом, близким к нормальному относительно поверхности. Отраженный от поверхности образца *поток излучения* собирается эллипсоидальной *или сферической* полостью практически из всей полусферы и направляется *на приемник ИК-излучения, обычно пироэлектрического типа. Для калибровки средств* измерений *используются два стандартных образца с высоким и низким коэффициентом отражения, в последнем случае это может быть модель абсолютно черного тела.* Сравнивая регистрируемые сигналы от измеряемого и эталонного образцов, определяется коэффициент отражения образца, *взвешенный по спектральной плотности излучения абсолютно черного тела.* Этот коэффициент отражения вычитается из единицы, и в результате получается коэффициент излучения в ИК-диапазоне.

Е.2 Форма и размеры образцов

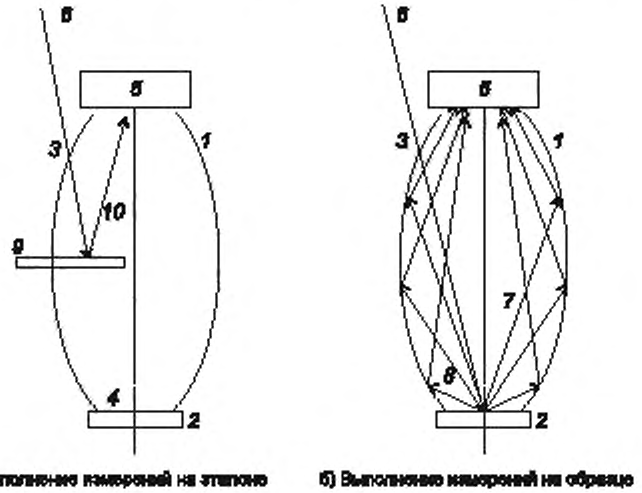
Минимальные размеры образцов определяются диаметром измерительного отверстия средства измерения. Этот диаметр обычно составляет от *10* до *30* мм.

Для образцов меньшего размера необходимо уделять особое внимание при размещении образца в измерительном отверстии. Образцы с вогнутой поверхностью должны иметь радиус не менее 166 мм. Образцы с выпуклой поверхностью должны иметь радиус не менее 12,5 мм.

Образцы, имеющие высокий коэффициент диффузного отражения, должны располагаться не далее *0,2 мм* от измерительного отверстия нормально к нему, зеркальные образцы — *0,5 мм*. Температура образцов должна лежать в диапазоне *от 293 до 303 К*.

Е.3 Средства измерений и подготовка их к работе

На рисунке Е.1 показана схема измерений одной из реализаций данного метода. Источник ИК-излучения с корректирующим покрытием дает излучение с цветовой температурой, которое очень близко совпадает с излучением абсолютно черного тела при 300 К в интервале от 2,5 до 50 мкм. Интенсивность пучка от источника модулируется с помощью *дискового* прерывателя. После этого *модулированный* пучок излучения собирается зеркалом, который проецирует источник в центр окна с образцом под углом 15°. Зондирующее излучение, падающее на образец, модулированно и не оказывает влияния на результат определения коэффициента излучения, даже когда выполняются измерения на тонких пленках. Более 99 % отраженной от образца энергии пучка собирается в полусферу с телесным углом 2π стерадиан, а затем повторно проецируется на *приемнике излучения*. На этот *приемник излучения* нанесено покрытие, служащее для обеспечения равномерного спектрального поглощения *в диапазоне измерений* от 2,5 до 35 мкм.



а) Выполнение измерений на эталоне б) Выполнение измерений на образце

1 — собирающее эллипсоидное зеркало, 2 — измеряемый образец; *3 —* входное отверстие; *4 —* окно для образца; *5 — приемник излучения; 6 —* падающее излучение; *7 —* зеркальное отражение, *8 —* диффузное отражение; *9 —* зеркало; *10 —* отраженное излучение

Рисунок Е.1 — Методика выполнения измерений с помощью эллипсоидального коллектора

Погрешность измерений составляет (для зеркальных и диффузных образцов): ±3 % от всей шкалы для серых образцов и ±5 % от всей шкалы для не серых образцов.

Е.4 Процесс испытаний и измерений

Образец следует расположить таким образом, чтобы отверстие окна для образца оказалось плотно прижатым к измеряемой поверхности. Если измеряют диффузные образцы, то важно размещать их поверхность как можно ближе к измерительному окну, чтобы рассеянный свет не смог покинуть коллектор. Чем большую величину зеркальной компоненты будут иметь образцы, тем меньше будет рассеянного света, и результат измерений станет менее чувствительным к размещению образцов. Фольгу и материал со складками следует расправлять на измерительном окне с помощью *поджатия плоской поверхностью*.

Отражатель-эталон (полированное зеркало) перемещается и встает на пути луча, отражая его и направляя на *приемник излучения*. Когда сигнал стабилизируется, снимают несколько показаний от эталона, которые затем усредняют. *После этого отражатель убирают, и инфракрасный пучок отражается от образца*. Когда сигнал стабилизируется, снимают несколько показаний при отражении от образца, которые затем усредняют. Коэффициент отражения вычисляют как отношение результатов измерения на образце к результатам измерения на эталоне.

С помощью данного метода можно измерять коэффициент отражения образцов, которые непрозрачны в измеряемом диапазоне длин волн. Коэффициент излучения в ИК-диапазоне полупрозрачных образцов определяют из приближенных значений полного коэффициента пропускания и отражения образцов, обратная сторона которых закрыта вспомогательными образцами. Чтобы проверить, не является ли образец частично пропускающим, следует по очереди приложить к его обратной стороне вспомогательный образец с высоким и вспомогательный образец с низким коэффициентами отражения. Если вспомогательный образец пропускающий, то значения коэффициента отражения будут различаться. При работе с эталонными образцами необходимо соблюдать меры предосторожности, так как их можно повредить.

Измерения на образце следует проводить, помещая на обратной его стороне вспомогательный образец с высоким коэффициентом отражения (позолоченный) и вспомогательный образец с низким коэффициентом отражения (черный). Следует также измерить полный коэффициент отражения каждого из вспомогательных образцов. Приближенные значения коэффициента пропускания τ и коэффициента отражения ρ_s полупрозрачных образцов рассчитывают по формулам (Е.1) и (Е.2). Далее коэффициент излучения в ИК-диапазоне определяют путем вычитания коэффициентов отражения и пропускания из единицы. Следует отметить, что использование образцов вносит, как ожидается, более значительную погрешность в получаемые данные.

$$\tau = \frac{\rho_b G - \rho_g B}{\rho_b \rho_g (G - B) + \rho_b - \rho_g}, \tag{Е.1}$$

$$\rho_s = \sqrt{\frac{(G - B)(\rho_g B - 1)(\rho_g - \rho_b)(\rho_b G - 1)}{(\rho_b \rho_g (G - B) + \rho_b - \rho_g)^2}}, \tag{Е.2}$$

где ρ_b — коэффициент отражения вспомогательного образца с низким коэффициентом отражения (черного);

ρ_g — коэффициент отражения вспомогательного образца с высоким коэффициентом отражения (позолоченного);

B — коэффициент отражения образца, обратная сторона которого закрыта вспомогательным образцом с низким коэффициентом отражения (черным);

G — коэффициент отражения образца, обратная сторона которого закрыта вспомогательным образцом с высоким коэффициентом отражения (позолоченным).

Е.5 Вычисление нормального коэффициента излучения

В данном методе близкий к нормали полный коэффициент излучения определяют путем измерения близкого к нормали полного полусферического коэффициента отражения ИК-излучения. Коэффициент излучения получается путем вычитания коэффициента отражения из единицы:

$$\varepsilon_s \cdot \sigma T_s^4 + \rho_s \sigma T_{IR}^4 = I_D, \tag{Е.3}$$

где ε_s — коэффициент излучения образца;

σ — постоянная Стефана-Больцмана;

T_s — температура образцов (К);

ρ_S — коэффициент отражения образца;

T_{IR} — температура источника ИК-излучения;

I_D — энергия, попавшая на коллектор/датчик системы.

Первое слагаемое представляет собой энергию излучения без модуляции от образца при температуре окружающей среды. Его можно исключить из рассмотрения по двум причинам. Во-первых, *приемник излучения* будет реагировать только на изменение интенсивности. Во-вторых, электроника *приемника излучения* выполняет синхронное детектирование с частотой и фазой модуляции *дискового прерывателя*. Во втором слагаемом T_{IR} поддерживается при фиксированном значении, обеспечивая постоянство σT_{IR}^4. Так что I_D является функцией только ρ_s.

Энергия, излученная и отраженная образцом, фокусируется на *приемнике излучения*. Оптическая система эллипсоидального коллектора собирает 99 % всей энергии. Полную энергию, полученную *приемником излучения*, вычисляют по следующей формуле

$$I_D = \rho_{ellipsoid} (\varepsilon_h \sigma T_s^4 + \rho_N \sigma T_{IR}^4), \quad (E.4)$$

где $\rho_{ellipsoid}$ — коэффициент отражения эллипсоидального коллектора;

T_s — температура образца (К);

ε_h — полусферический коэффициент излучения образца;

σ — постоянная Стефана-Больцмана;

ρ_N — нормальный коэффициент отражения образца;

T_{IR} — температура источника ИК-излучения;

I_D — энергия, попадающая на систему коллектор/датчик.

Благодаря вращающемуся прерывателю пучок ИК-излучения от источника поочередно то отсекается, тогда образец не облучается, то вновь попадает на образец. Когда пучок излучения попадает на образец, датчик фиксирует излучаемую и отраженную энергию. Когда прерыватель перекрывает пучок излучения от источника, то фиксируется только энергия, излучаемая образцом. Разница этих двух энергий представляет собой отраженную энергию, которую вычисляют по следующей формуле:

$$I_D = \rho_{ellipsoid} \cdot \rho_N \sigma T_{IR}^4. \quad (E.5)$$

Энергию пучка от источника ИК-излучения ($I_{reference}$) измеряют так, как показано на рисунке Е.1 а). Подвижной отражатель-эталон отражает падающий пучок непосредственно на датчик. После того, как подвижной отражатель-эталон убирается [см. рисунок Е.1 б)], падающий пучок начинает облучать образец. Вся энергия, отраженная и излученная образцом ($I_{measurement}$), фокусируется на датчике. Если подвижной отражатель-эталон имеет коэффициент отражения ρ_{arm}, то

$$\frac{I_{measurement}}{I_{reference}} = \frac{\rho_{ellipsoid} \rho_N \sigma T_{IR}^4}{\rho_{arm} \sigma T_{IR}^4}. \quad (E.6)$$

Одно и то же покрытие наносят и на подвижной отражатель-эталон, и на эллипсоидальный коллектор. Поэтому и подвижной отражатель-эталон, и эллипсоидальный коллектор имеют одинаковый коэффициент отражения:

$$\rho_{arm} = \rho_{ellipsoid}.$$

Нормальный коэффициент отражения ρ_N образца вычисляют по следующей формуле

$$\frac{I_{measurement}}{I_{reference}} = \frac{\rho_{ellipsoid} \rho_N \sigma T_{IR}^4}{\rho_{arm} \sigma T_{IR}^4} = \frac{\rho_N \sigma T_{IR}^4}{\sigma T_{IR}^4} = \rho_N. \quad (E.7)$$

Коэффициент излучения полупрозрачного образца вычисляют по следующей формуле:

$$\varepsilon_N = 1 - \rho_N - \tau, \quad (E.8)$$

Коэффициент излучения непрозрачного образца ($\tau = 0$) равен:

$$\varepsilon_N = 1 - \rho_N. \quad (E.9)$$

Приложение F
(справочное)

Основные параметры при выполнении измерений

Параметры, которые влияют на общую погрешность, приведены на рисунке F.1. Когда необходимо провести оценку погрешности, ее следует оценивать и вычислять, используя для этого *ГОСТ 34100.3* и *[4]*.

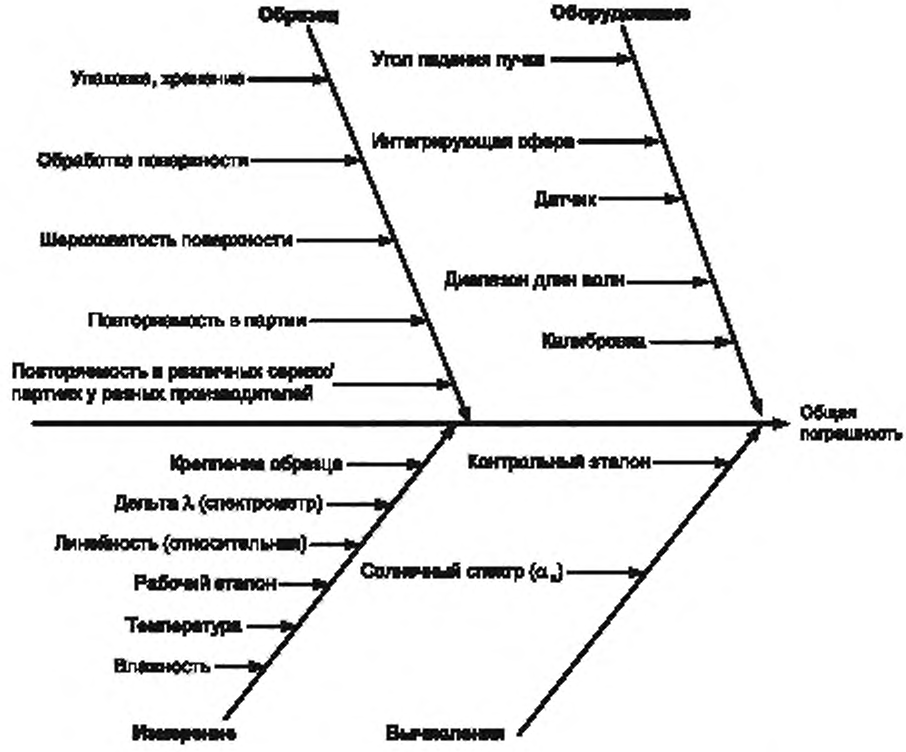


Рисунок F.1 — Основные параметры при выполнении измерений

Приложение ДА
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта

Таблица ДА.1

Структура настоящего стандарта			Структура стандарта ISO 16378:2013		
Раздел	Подраздел	Пункт	Раздел	Подраздел	Пункт
1	—	—	1	—	—
2	—	—	2	—	—
3	3.1	—	3	3.1	—
	3.12; 3.13	—		3.2	—
	3.6	—		3.3	—
	3.7	—		3.4	—
	3.14	—		3.5	—
	3.4	—		3.6	—
	3.9	—		3.7	—
	3.3	—		3.8	—
	3.5	—		3.9	—
	—	—		3.10	—
	—	—		3.11	—
	3.2	—		3.12	—
	3.10	—		3.13	—
	—	—		3.14	—
	—	—		3.15	—
	3.8	—		3.16	—
	3.11	—		3.17	—
—	—	—	4	—	—
4	4.1	—	5	5.1	—
	4.2	4.2.1		5.2	5.2.1
		4.2.2			5.2.2
		4.2.3			5.2.3
		4.2.4			5.2.4
		4.2.5			5.2.5
	4.3	4.3.1		5.3	5.3.1
		4.3.2			5.3.2
		4.3.3			5.3.3
	4.4	4.4.1		5.4	5.4.1
		4.4.2			5.4.2
		4.4.3			5.4.3
		4.4.4			5.4.4
		4.4.5			5.4.5
5	—	—	6	—	—
6	—	—	7	—	—

Окончание таблицы ДА.1

Структура настоящего стандарта			Структура стандарта ISO 16378:2013		
Раздел	Подраздел	Пункт	Раздел	Подраздел	Пункт
7	—	—	8	—	—
8	8.1	—	9	9.1	9.1.1
	8.2	—			9.1.2
	8.3	8.3.1			9.1.3; 9.1.4
		8.3.2			9.1.5
	8.4	—		9.2	—
9	9.1	—	10	10.1	—
	—	—		10.2	—
	9.2	—		10.3	—
	—	—		10.4	—
Приложение А	—	—	Приложение А	—	—
Приложение В	—	—	Приложение В	—	—
Приложение С	—	—	Приложение С	—	—
Приложение D	—	—	Приложение D	—	—
Приложение Е	—	—	Приложение Е	—	—
—	—	—	Приложение F	—	—
Приложение F	—	—	Приложение G	—	—
—	—	—	Приложение Н	—	—
Приложение ДА	—	—	—	—	—

Библиография

[1] *ИСО 9288:1989 Теплоизоляция. Теплопередача посредством излучения. Физические величины и определения (Thermal Insulation — Heat Transfer by Radiation — Physical Quantities and Definitions)*

[2] *Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 2 июля 2015 г. № 1815 Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке*

[3] *ASTM E 490-00a:2014 Таблицы стандартной солнечной постоянной и спектрального распределения солнечного излучения при нулевой воздушной массе (Standard Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables)*

[4] *РМГ 29—2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения*

УДК 667.6:006.354 ОКС 49.040

Ключевые слова: измерения, терморадиационные характеристики, терморегулирующие материалы, покрытия, системы космические

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

Сдано в набор 11.02.2021. Подписано в печать 04.03.2021. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 2,98.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru