МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

**ГОСТ IEC 61307— 2016**

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ УСТАНОВКИ НАГРЕВА ТОКАМИ СВЧ

## Методы испытаний для определения выходной мощности

(IEC 61307:2011, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2017

## Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

**Сведения о стандарте**

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации» (ОАО «ВНИИС») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии международного стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 25 октября 2016 г. № 92-П)

За принятие проголосовали:

| Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Сокращенное наименование национального органа по стандартизации |
|---|---|---|
| Армения | AM | Минэкономики Республики Армения |
| Беларусь | BY | Госстандарт Республики Беларусь |
| Киргизия | KG | Кыргызстандарт |
| Молдова | MD | Молдова-Стандарт |
| Россия | RU | Росстандарт |
| Таджикистан | TG | Таджикстандарт |

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 апреля 2017 г. № 273-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 61307—2016 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2017 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 61307:2011 «Установки СВЧ-нагрева промышленные. Методы испытаний для определения выходной мощности» («Industrial microwave heating installations — Test methods for the determination of power output», IDT)

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и правок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «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 (www.gost.ru)*

© Стандартинформ, 2017

В Российской Федерации 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 Методы измерений мощности токов СВЧ . . . 3
4.1 Общие положения . . . 3
4.2 Доступный выход мощности токов СВЧ . . . 4
4.3 Мощность токов СВЧ в микроволновой рабочей загрузке . . . 4
4.4 Эффективная мощность токов СВЧ и КПД . . . 4
5 Калориметрические измерения мощности . . . 4
5.1 Общие положения . . . 4
5.2 Прямые измерения мощности токов СВЧ, поглощенной водой . . . 4
5.3 Измерения мощности искусственной нагрузки . . . 5
6 Определение мощности токов СВЧ для нагрева рабочей загрузки . . . 5
7 Определение эффективной мощности токов СВЧ . . . 6
7.1 Общие положения . . . 6
7.2 Испытание с водой в открытом контейнере . . . 6
7.3 Испытания с использованием других жидкостей . . . 7
8 Электрический коэффициент полезного действия . . . 7
8.1 Доступная выходная мощность токов СВЧ . . . 7
8.2 Потребление энергии . . . 8
9 Потребление мощности в режиме готовности к работе . . . 8
Библиография . . . 9

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ УСТАНОВКИ НАГРЕВА ТОКАМИ СВЧ

## Методы испытаний для определения выходной мощности

Industrial microwave heating installations. Test methods for the determination of power output

Дата введения — 2017—09—01

## 1 Область применения

Настоящий международный стандарт задает методы испытаний для определения доступной микроволновой выходной мощности и КПД (коэффициент полезного действия) частотного преобразования от потребления электроэнергии в промышленных установках нагрева токами сверхвысокой частоты (СВЧ).

Настоящий стандарт также задает методы испытаний для оценки ввода мощности токов СВЧ в рабочую загрузку только в установках нагрева токами СВЧ промышленного назначения.

Настоящий стандарт применяется к электронагревательному оборудованию и установкам, работающим в диапазоне сверхвысоких частот от 300 МГц до 300 ГГц.

Настоящий стандарт имеет отношение к промышленному оборудованию нагрева токами СВЧ при нормальной загрузке.

Настоящий стандарт не применяется к приборам бытового и аналогичного назначения (рассмотрены в IEC 60335-2-25), коммерческого использования (рассмотрены в IEC 60335-2-90) и лабораторного использования (рассмотрены в IEC 61010-2-010).

## 2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные документы. Для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного документа, для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа (включая все его изменения).

IEC 60050-221:2:1990, International electrotechnical vocabulary; chapter 221: magnetic materials and components (Международный электротехнический словарь (IEC). Глава 22. Магнитные материалы и компоненты)

Изменение 1 (1993)

Изменение 2 (1999)

Изменение 3 (2007)

IEC 60050-841:2:2004, International Electrotechnical Vocabulary — Part 841: Industrial electroheat Международный электротехнический словарь (IEC). Часть 841. Промышленный электрический нагрев

IEC 60050-726:2:1982, International Electrotechnical Vocabulary. Part 726: Chapter 726: Transmission, lines and waveguides (Международный электротехнический словарь (IEC). Глава 726. Передающие линии и волноводы)

IEC 60519-6, Safety in electroheat installations — Part 6: Specifications for safety in industrial microwave heating equipment (Безопасность электронагревательных установок. Часть 6. Технические требования по безопасности промышленного сверхвысокочастотного нагревательного оборудования)

Издание официальное

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют следующие термины и определения IEC 60519-6:2003 и IEC 60050-841, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **колориметрический измеритель мощности** (calorimetric power meter): Измеритель мощности, который использует подъем температуры среды в качестве средства измерения поглощенной энергии.

Примечание — Среда, обычно вода, является либо реагирующей средой для поглощения энергии, либо имеет теплоту, которая была передана в нее от элемента, абсорбирующего энергию.

[IEC 60050-726:1982, 726-21-10]

3.2 **циркулятор** (circulator): Пассивное устройство, имеющее три или больше плеч мостовой схемы, в которых энергия, подводимая к любому плечу, передается на следующее плечо в соответствии с заданной последовательностью.

Примечание — Типичные формы — сочлененные циркуляторы [IEC 60050-221:1990, 221-05-14] Т-образного соединения [IEC 60050-726:1982, 726-17-12] или Y-образного соединения [IEC 60050-726:1982, 726-17-13].

[IEC 60050-221:1990, 221-05-11, измененный]

3.3 **развязка (между генераторами)** (cross coupling (between generators)): Появление нежелательной энергии токов СВЧ в генераторе СВЧ или выходном плече линии передачи генератора СВЧ в сборе, которое вызвано одним или несколькими другими генераторами СВЧ или генераторами СВЧ в сборе.

3.4 **электрический КПД оборудования нагрева токами СВЧ** (electrical efficiency of microwave heating equipment): Отношение между доступной выходной мощностью токов СВЧ и потреблением энергии в источнике энергоснабжения промышленной частоты или генераторе токов СВЧ в сборе на установочных параметрах мощности для нормальной работы.

3.5 **вносимые потери** (insertion loss): Потери в результате ввода схемы в систему передачи, отношение мощности, подведенной к той части системы, которая следует после схемы, до ввода этой схемы, к мощности, подведенной к той же самой части системы после ввода упомянутой схемы.

Примечание — Вносимые потери, как правило, выражаются в децибелах.

[IEC 60050-726:1982, 726-06-07]

3.6 **изоляция (трехплечного циркулятора)** (isolation (of a three-port circulator)): Обратное затухание между выходным плечом и входным плечом питающей линии при согласовании полных сопротивлений всех плеч.

Примечание 1 — Настоящую изоляцию не следует путать с обратными потерями, происходящими между смежными плечами.

Примечание 2 — Является специальный случай развязки циркулятора.

[IEC 60050-726:1982, 726-16-06]

3.7 **средства доступа** (means of access): Все детали конструкции оборудования нагрева токами СВЧ, которые могут быть открыты или сняты без использования инструмента, чтобы получить доступ внутрь микроволнового аппликатора или микроволнового резонатора.

3.8 **микроволновый аппликатор** (microwave applicator): Устройство, которое подводит энергию токов СВЧ к загрузке.

[IEC 60050-841:2004, 841-29-11]

3.9 **микроволновый резонатор** (microwave cavity): Пространство, окруженное внутренними металлическими стенками с дверью или отверстием для доступа и в котором размещается загрузка для нагрева токами СВЧ.

[IEC 60050-841:2004, 841-29-19]

3.10 **оболочка с токами СВЧ** (microwave enclosure): Устройство, которое предназначается ограничивать энергию токов СВЧ в определенной зоне.

Примечание — Примерами являются полость, уплотнения двери и волноводы.

3.11 **генератор токов СВЧ** (microwave generator): Источник, используемый для того, чтобы вырабатывать электромагнитную энергию в диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц.

[IEC 60050-841:2004, 841-29-16]

Примечание — В контексте настоящего стандарта генератор токов СВЧ является только компонентом, где имеет место преобразование частоты. См. 3.2.

3.12 **генератор токов СВЧ в сборе** (microwave generator assembly): Часть оборудования нагрева токами СВЧ, включающая в себе аппаратуру, вырабатывающую высокочастотную энергию, и связанное с нею выходное плечо линии передачи.

Примечание 1 — Этот сборочный узел включает генератор токов СВЧ, источник электропитания этого генератора и его вспомогательные и управляющие цепи. Если используется циркулятор, то он также включается в сборку.

Примечание 2 — Оборудование нагрева токами СВЧ, содержащее генератор токов СВЧ в сборе, было классифицировано как Тип А в более ранних изданиях настоящего стандарта; оборудование, где нет выходного плеча линии передачи, было классифицировано как Тип В.

3.13 **оборудование нагрева токами СВЧ** (microwave heating equipment): Сборочный узел электрических и механических устройств, предназначенных для передачи энергии токов СВЧ в микроволновую загрузку. Он включает в себе, как правило, источники энергоснабжения, генераторы токов СВЧ или генераторы токов СВЧ в сборе с приспособлениями для охлаждения, а также циркуляторы, если используются, микроволновые аппликаторы или резонаторы с вентиляционными приспособлениями, если используются, соединительные кабели и волноводы, схему управления, средства транспортировки микроволновой загрузки, если такие средства применяются.

[IEC 60050-841:2004, 841-29-06]

3.14 **микроволновая загрузка** (microwave load): Предметы, введенные в аппликатор или резонатор, или расположенные в задуманной позиции вблизи открытого аппликатора.

[IEC 60050-841:2004, 841-29-12]

3.15 **прозрачность для токов СВЧ** (microwave transparency): Свойство материала, имеющего незначительное поглощение и отражение длин волн в диапазоне СВЧ.

Примечание — Относительная диэлектрическая постоянная материала, прозрачного для токов СВЧ, обычно меньше 7, а коэффициент потерь обычно меньше 0,015. Однако, если микроволновая рабочая загрузка имеет низкий коэффициент потерь, то применяются более жесткие требования.

[IEC 60050-841:2004, 841-29-14, измененный]

3.16 **микроволновая рабочая загрузка** (microwave workload): Предмет, который надо обрабатывать токами СВЧ.

[IEC 60050-841:2004, 841-29-13]

Примечание — Контейнеры для рабочей загрузки не являются частью микроволновой рабочей загрузки, но являются микроволновой загрузкой.

3.17 **нормальная загрузка** (normal load): Номинальная загрузка для нагрева токами СВЧ на полной выходной мощности токов СВЧ, как задано в документации изготовителя.

3.18 **нормальная работа** (normal operation): Диапазон выходной мощности токов СВЧ с нормальными загрузками в допустимом рабочем режиме оборудования нагрева токами СВЧ, как согласовано между изготовителем и пользователем.

3.19 **работа в режиме ожидания** (standby (mode of) operation): Состояние, допускающее переход без промедления к нормальной работе.

Примечание 1 — Этот режим типично случается без промедления до и после нормальной работы.

Примечание 2 — Если обработка рабочей загрузки должна осуществляться не в условиях окружающей среды, а, например, на повышенной температуре, то такая температура поддерживается.

Примечание 3 — «Без промедления» означает, что период времени согласуется с нормальным процессом загрузки, выгрузки или замены рабочей загрузки.

Примечание 4 — Цепь нагревателя катода магнетрона может быть включена в этом режиме работы.

## 4 Методы измерений мощности токов СВЧ

### 4.1 Общие положения

Дается описание трех разных методов. Их применимость зависит от сверхвысокой частоты, уровня мощности и оборудования, если оно включает сборочный узел генератора токов СВЧ.

Примечание 1 — Так длина волны сигналов на частотах примерно свыше 20 ГГц является очень короткой, то ввод токов СВЧ в рабочую загрузку может быть типом облучения с небольшой глубиной проникновения. Вода может не применяться с калориметрическим методом, а некоторые методы измерения ввода мощности токов СВЧ в рабочую загрузку могут не применяться в этом стандарте. В нижнем конце микроволнового диапазона на частоте 300 МГц способность загрузок поглощать токи СВЧ может сильно изменяться в течение нагревательного процесса, может потребоваться загрузка больших масс, поэтому использование представительных искусственных жидких загрузок для калориметрии может быть затруднено.

Примечание 2 — Имеется непостоянство в способности микроволновых загрузок поглощать токи СВЧ и, в частности, неровность их нагрева. Поэтому данные мощности токов СВЧ для нагрева микроволновой рабочей загрузки или данные ее эффективности с замещающей жидкой нагрузкой, полученные в соответствии с настоящим стандартом, следует принимать с осторожностью. Однако данные мощности являются важными и объективными факторами, относящимися к эффективности использования всей энергии, и тем самым являются также коэффициентом полезного действия (КПД).

Примечание 3 — Метод измерения выходной мощности токов СВЧ в бытовых микроволновых печах задается в IEC 60705. В этом методе применяется большая водяная загрузка с компенсацией теплоемкости контейнера и теплообмена с окружающей средой. Технически этот метод дает то, что в упомянутом выше стандарте определяется как доступная выходная мощность токов СВЧ.

### 4.2 Доступный выход мощности токов СВЧ

Измерения на выходном плече сборочного узла генератора токов СВЧ дают доступный выход мощности токов СВЧ (смотрите раздел 5).

### 4.3 Мощность токов СВЧ в микроволновой рабочей загрузке

Калориметрические измерения в нормальной загрузке, включающие потери мощности в любых контейнерах для микроволновой рабочей загрузки, дают мощность токов СВЧ для микроволновой рабочей загрузки (смотрите раздел 6).

Это есть величина мощности, необходимая для достижения намеченного изменения энтальпии в микроволновой рабочей загрузке за фиксированный период времени. Она зависит от типа микроволновой рабочей загрузки, изменения с температурой ее сложной диэлектрической проницаемости, а также от контейнеров или опор для рабочей загрузки и конструкции микроволнового аппликатора или резонатора.

Доступный выход мощности токов СВЧ всегда больше мощности токов для микроволновой рабочей загрузки вследствие следующих некоторых или всех механизмов потери мощности:

- рассогласование полного сопротивления генератора токов СВЧ;
- потери на металлической поверхности оболочки для токов СВЧ;
- поглощение за счет неидеальной микроволновой прозрачности контейнеров с рабочей загрузкой и любых других вспомогательных предметов в оболочке для токов СВЧ;
- утечка токов СВЧ из оболочки для этих токов;
- потери мощности из-за развязки (в циркуляторе).

### 4.4 Эффективная мощность токов СВЧ и КПД

Типично реальная микроволновая рабочая загрузка не подходит хорошо для калориметрических измерений. Тогда в калориметрических измерениях используются жидкие замены, которые дают эффективную мощность токов СВЧ (смотрите разделы 7 и 8).

## 5 Калориметрические измерения мощности

### 5.1 Общие положения

Только общие принципы намечены в общих чертах в этом стандарте. Практические измерительные приборы и их использование должны соответствовать известным инженерным приемам. Вода является веществом, прямо и косвенно поглощающим энергию.

### 5.2 Прямые измерения мощности токов СВЧ, поглощенной водой

Весьма важно, что любая вода, прямо поглощающая энергию, имеет способность поглощения токов СВЧ и геометрию загрузки, которая обеспечивает хорошее и по существу независимое от температуры согласование полных сопротивлений в интервале действительно используемых температур. Раствор хлорида натрия, имеющий удельную электропроводность между 200 мкмС/см и 600 мкмС/см, должен применяться для непосредственной абсорбции на частотах ниже 900 МГц.

Измеритель мощности типично состоит из волноводной секции с прозрачным для токов СВЧ трубопроводом, по которому может протекать вода. Эта вода должна быть тщательно перемешанной. Реко-

мендуемый расход воды составляет около 1 л/мин в расчете на каждый киловатт, но не меньше 0,5 л/мин. Разность температур на впуске и выпуске должна быть, по меньшей мере, 10 К.

Температура воды на впуске не должна превышать 35 °С, а на выпуске — 60 °С. Однако для уровней мощности токов СВЧ меньше 3 кВт эти температуры следует иметь по обе стороны от температуры окружающей среды, чтобы снизить погрешности тепловых потерь.

В рабочих условиях коэффициент стоячей волны по напряжению (VSWR), как измерено схемным анализатором с согласованным волноводным переходом или эквивалентным измерительным устройством, заменяющим сборочный узел генератора токов СВЧ и в пределах упомянутого выше температурного интервала, не должен превышать 1,25.

Если используется циркулятор, то его изоляция должна быть больше 20 дБ, а согласование полных сопротивлений циркулятора с диссипативной оконечной нагрузкой надо привести в соответствие с настоящим подпунктом.

Водный поток должен быть под текущим контролем, например, с помощью выключателей блокировки потока, чтобы избежать парообразования, которое может привести к выбросу.

Рассеиваемая в воде мощность измеряется прямо или сравнивается с калиброванным стандартом нагретой воды.

Измерение должно быть выполнено только при установившемся расходе и в случае, когда генератор токов СВЧ и загрузка эксплуатируются в устойчивом режиме. Необходимо использовать термометры и расходомеры высокой точности для гарантии, что погрешность измерения выходной мощности составляет меньше 5 %.

Доступный выход мощности микроволновой энергии P вычисляется из следующего равенства:

$$P = \frac{4187Q\Delta T}{60}, \quad (1)$$

где P — доступный выход мощности микроволновой энергии, в Вт; Q — расход воды, в кг/мин; коэффициент 4187 есть удельная теплоемкость в Дж/(кг·К) и 60 есть коэффициент в результате примененных единиц измерения; $\Delta T$ — разность температур в К между температурой воды на выпуске и впуске.

Примечание — Если сборочный узел генератора токов СВЧ содержит циркулятор с диссипативной оконечной нагрузкой, предохраняющей этот генератор, то его можно использовать в качестве измерителя мощности путем короткого замыкания нагрузки на его выходном плече.

### 5.3 Измерения мощности искусственной нагрузки

Искусственная нагрузка — это реактивное сопротивление, охлаждаемое естественной конвекцией воздуха, с принудительным охлаждением воздухом или водой. Она обычно подсоединяется к генератору токов СВЧ или генератору токов СВЧ в сборе с помощью коаксиальной питающей линии, рассчитанной на 50 Вт, или с помощью волновода TE10. На низких уровнях мощности применяется естественная конвекция воздуха, а на высоких уровнях мощности вплоть до около 2 кВт может применяться принудительное охлаждение воздухом или водой.

Примечание — Приемлемые искусственные нагрузки в четырехполюснике имеются в продаже, обеспечивая калиброванные вносимые потери на уровнях от 30 дБ до 60 дБ. Они подходят для использования в коммерчески доступном измерителе мощности на его выходном плече.

Необходимо использовать высокочастотные компоненты и измерительные приборы для гарантии, что погрешность измерения выходной мощности составляет менее 5 %.

## 6 Определение мощности токов СВЧ для нагрева рабочей загрузки

Это испытание применяется только в случае, если нормальная загрузка хорошо специфицирована в отношении удельной теплоемкости и подъема температуры в технологическом процессе. Более того, должна быть возможность точного измерения усредненного подъема температуры после обработки. Если есть подозрение, что испытательная установка дает погрешность больше 5 % окончательного результата, то вместо нее применяется метод, изложенный в разделе 6 или разделе 7.

Примечание — Типично, правильные испытания согласно этому разделу могут быть проведены только в непрерывной обработке прокачиваемых рабочих загрузок. Эти рабочие загрузки являются представительными только в случае, когда их микроволновые свойства подобны свойствам нормальной загрузки.

Измеряется входная температура $T_{in}$ (°С) микроволновой рабочей загрузки. В течение установившегося процесса нагрева подходящая длина обработанной микроволновой рабочей загрузки, возбуждающей оборудование нагрева токами СВЧ в течение заранее установленного времени t (с), быстро вынимается в качестве образца и обеспечивается тепловая изоляция. Затем температурное равновесие доводится до конца либо с помощью принудительной конвекции (взбалтыванием или перемешиванием образца) или за счет внутренней теплопроводности, после чего измеряются выходная температура $T_{out}$ и масса m образца. Его удельная теплоемкость с была установлена заранее.

Тогда мощность токов СВЧ для нагрева рабочей загрузки PW вычисляется из следующего равенства:

$$P_W = \frac{(T_{out} - T_{in}) \cdot c \cdot m}{t}, \quad (2)$$

где $P_W$ — мощность токов СВЧ для нагрева рабочей загрузки, в Вт; $T_{out}$ — выходная температура, в °С; $T_{in}$ — входная температура, в °С; $c$ — удельная теплоемкость; $m$ — масса образца в кг; $t$ — время выборки, в секундах, в течение которого масса образца вынимается из оборудования нагрева токами СВЧ.

## 7 Определение эффективной мощности токов СВЧ

### 7.1 Общие положения

Испытания в этом разделе применяются в случаях, когда нормальная загрузка не может быть хорошо специфицирована в отношении удельной теплоемкости и состоит из отдельных предметов, или, когда технологический процесс по другим причинам не подходит для определений мощности согласно разделу 6. Нормальная загрузка заменяется искусственной нагрузкой, предназначенной иметь электрические свойства и конфигурации, которые дают в результате подобные свойства микроволновой абсорбции, как в нормальной загрузке.

В случае неопределенностей в отношении представительности выбранной искусственной нагрузки надо использовать схемный анализатор, чтобы установить рассогласования полных сопротивлений с нормальной загрузкой или надо использовать подходящую замену в качестве микроволновой рабочей загрузки или искусственной нагрузки соответственно. Результирующее вычисленное отклонение в отраженной мощности не должно превышать 10 % переданной мощности, за исключением, когда микроволновую абсорбцию нормальной загрузки очень трудно характеризовать, или она изменяется значимо в течение обработки. Расчетная неопределенность должна быть представлена с вычисленной эффективной мощностью токов СВЧ.

Измерительные устройства, включая контейнеры рабочей загрузки, не должны быть подвержены влиянию от электромагнитных полей, если особо не задано или не принято изготовителем. Выбор метода измерения и результаты должны быть описаны в документе со ссылкой на этот стандарт. Должно быть также дано указание, что изменения в условиях загрузки в течение использования по назначению типично влияют на КПД оборудования нагрева токами СВЧ.

### 7.2 Испытание с водой в открытом контейнере

Вода должна быть помещена в открытые контейнеры с тонкими стенками, которые изготовлены из материала, прозрачного для токов СВЧ.

Количество воды должно быть не меньше 0,5 л из расчета для каждого киловатта мощности генератора токов СВЧ, которая будет воздействовать на воду. Высота водяного столба должна быть, по меньшей мере, 25 мм. Контейнеры следует распределять с таким интервалом в пространстве, чтобы было охвачено 40 % доступной площади в пределах оболочки для токов СВЧ, если изготовитель не задает особый порядок расположения контейнеров.

Между многочисленными генераторами токов СВЧ или сборочными узлами таких генераторов могут возникать перекрестные связи. Поэтому испытание должно быть проведено с рядом одновременно работающих генераторов токов СВЧ или сборочных узлов таких генераторов и на таких больших площадях, охваченных контейнерами, что любое влияние перекрестной связи включается в результат испытания.

Примечание — Оборудование для загрузки партий и оборудование, которое считается многорежимным или облучающим и предназначается для обработки загрузок высотой значительно больше 50 мм, может быть испытано с единичными или многочисленными контейнерами, каждый вмещающий несколько литров.

Так как температура воды увеличивается приблизительно на 14 К в минуту на литр воды для каждого киловатта рассеиваемой в ней мощности, то время обработки для испытания типично значительно короче, чем с нормальной загрузкой. Это необходимо для исключения тепловых потерь в окружающую среду, в частности, путем испарения. Необходимо внимательно следить за тем, что устойчивый режим не может быть достигнут; любые возможные погрешности в результате этого надо регистрировать.

Удельная теплоемкость тех частей контейнеров, которые нагреваются водой, должна быть использована для коррекций в вычислениях эффективной мощности токов СВЧ, используя энергию, которая была введена в контейнеры и воду.

### 7.3 Испытания с использованием других жидкостей

Если оборудование нагрева токами СВЧ предназначается для обработки нормальных загрузок с низким содержанием влаги, например, дерева, некоторых типов керамики, полимеров или бумаги, или нормальных загрузок, имеющих структуру малых или неоднородных (макро)частиц, то диэлектрические свойства воды могут не быть достаточно представительными.

Примечание 1 — Действительная диэлектрическая проницаемость воды является очень высокой и ее коэффициент потерь может быть слишком малым на частотах ниже или равных частоте ISM 2450 МГц (промышленность, наука и медицина), чтобы быть представительной для характеристик абсорбции мощности нормальной загрузки. Добавка хлорида натрия может иметь результатом краевой перегрев и соответствующие потери мощности за счет испарения на частоте 2450 МГц. Дополнительно, высокая действительная диэлектрическая постоянная воды может давать в результате снижение абсорбции мощности за счет более сильных отражений волн на поверхности, чем для микроволновых рабочих загрузок с нижней действительной диэлектрической постоянной и более неровной верхней поверхностью.

В частности, для оборудования нагрева токами СВЧ, предназначенного для сушки или подобной обработки небольших микроволновых рабочих загрузок, рекомендуется использовать жидкости с низкой диэлектрической постоянной и хорошей способностью поглощения токов СВЧ. Такое оборудование включает отдельные СВЧ аппликаторы, каждый из которых имеет один или несколько генераторов токов СВЧ или сборочные узлы таких генераторов, которые обеспечивают несколько киловатт доступной выходной мощности токов СВЧ.

Примечание 2 — Можно использовать глицерин. Технический глицерин содержит около 15 % воды и является приемлемым, но его тепловые данные следует проверять.

Изопропанол имеет благоприятные микроволновые свойства (низкую действительную диэлектрическую проницаемость, высокую поглощаемость токов СВЧ) вплоть до 50 °С для частот ISM от 434 МГц до 5800 МГц. Температура кипения изопропанола на атмосферном давлении составляет 82 °С и его удельная теплоемкость равна 2560 Дж/(кг·К). Его надо использовать с осторожностью из-за низкой температуры вспышки.

Вместо открытых контейнеров используются герметизированные пластмассовые пакеты, разумно плоские и с тонкими стенками. Каждый пакет содержит подходящее количество жидкости поглощающего диэлектрика. Рекомендованная средняя высота этой жидкости составляет от 15 мм до 30 мм и в пакете должно быть как можно меньше воздуха. Объем жидкости в каждом пакете должен быть, по меньшей мере, 200 мл при испытании на частоте 2450 МГц; этот объем должен быть меньше для частоты генератора 5800 МГц и больше для частот генератора ниже 1000 МГц.

Пакеты должны охлаждаться до температуры между 5 °С и 10 °С. Сразу перед размещением в оболочке с токами СВЧ пакеты разминаются для получения однородной массы. Температура на входе $T_{in}$ измеряется небольшим датчиком, прикрытым свернутым пакетом.

Нагрев токами СВЧ осуществляется до максимальной температуры около 40 °С. Рекомендуется проводить предварительное тестирование. Затем пакеты извлекаются из оболочки с токами СВЧ, снова разминаются и, как раньше, измеряется выходная температура $T_{out}$.

Эффективная мощность токов СВЧ $P_e$ вычисляется с использованием равенства (2) раздела 6.

## 8 Электрический коэффициент полезного действия

### 8.1 Доступная выходная мощность токов СВЧ

Если оборудование нагрева токами СВЧ не имеет выходного плеча линии передачи от генератора токов СВЧ, то этот генератор должен пройти отдельное испытание согласно разделу 5.

Примечание 1 — Результат измерения в разделе 5 не будет включать никакие значимые потери токов СВЧ за счет рассогласования полных сопротивлений генератора и потерь на стенках в аппликаторе или резонато-

ре. Поэтому мощность для микроволновой рабочей загрузки (раздел 6) и, в частности, эффективная мощность токов СВЧ (раздел 7) будет ниже.

Примечание 2 — Существуют некоторые методики изготовителя магнетронов для испытания и оценки рабочих характеристик магнетронов с использованием определенного стандартизованного волноводного перехода. Однако источник электропитания, заданный в таких методиках изготовителя, может не обеспечивать такую же форму кривой выходного тока, как у источника электропитания действительного оборудования нагрева токами СВЧ. В результате будем иметь разный КПД магнетронов.

### 8.2 Потребление энергии

Следующие цепи оборудования надо включить в измерение потребления энергии на заданной доступной выходной мощности токов СВЧ:

- главная силовая цепь с конкретной формой кривой, подаваемой на генератор токов СВЧ;
- цепь нагрева нити накала катода (мощность может колебаться в зависимости от настройки выходной мощности);
- любые другие непосредственные цепи, необходимые для работы генератора, например, электромагниты;
- любые схемы управления, включая контакторы;
- цепи дополнительного потребления электроэнергии, например, освещение, водяные насосы, вентиляторы воздушного охлаждения и клапаны).

Описание другого потребления дается отдельно и не включается в значение КПД.

## 9 Потребление мощности в режиме готовности к работе

Этот раздел применяется к оборудованию нагрева токами СВЧ в следующих режимах работы:

- режим периодического технологического процесса, когда открывание средств доступа останавливает функционирование генераторов или сборочного узла генератора токов СВЧ и оборудование нагрева токами СВЧ переходит в режим ожидания при полной готовности к работе;
- режим непрерывного технологического процесса, когда прерывание потока загрузки автоматически останавливает функционирование генераторов или сборочного узла генератора токов СВЧ и оборудование нагрева токами СВЧ переходит в режим ожидания при полной готовности к работе.

Режим ожидания может автоматически следовать за вторичным выключением дополнительного источника электропитания или другого потребления после заранее программируемого периода времени. После этого требуется ручной повторный запуск или может возникать ситуация задержанного повторного запуска работы оборудования нагрева токами СВЧ. Этот вторичный режим является маркированным режимом бездействия.

Потребление энергии в режиме ожидания измеряется. Это измерение должно включать все пункты раздела 8. Кроме того, потребление энергии двигателями конвейера и насосами загрузки также включается, если они работают в этом режиме работы нагревательного оборудования.

Если оборудование нагрева токами СВЧ автоматически выключается или переходит в режим бездействия после заранее программируемого периода времени, то это также регистрируется. Электрическая мощность в этом режиме измеряется, как изложено выше.

## Библиография

IEC 60335-2-25, Household and similar electrical appliances — Safety — Part 2-25: Particular requirements for microwave ovens, including combination microwave ovens (Приборы электрические бытового и аналогичного назначения. Безопасность. Часть 2-25. Частные требования к микроволновым печам, включая комбинированные микроволновые печи)

IEC 60335-2-90, Household and similar electrical appliances — Safety — Part 2-90: Particular requirements for commercial microwave ovens (Приборы электрические бытового и аналогичного назначения. Безопасность. Часть 2-90. Частные требования к промышленным микроволновым печам)

IEC 60705, Household microwave ovens — Methods for measuring performance (Печи микроволновые бытового назначения. Методы измерения рабочих характеристик)

IEC 61010-2-010, Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use — Part 2-010: Particular requirements for laboratory equipment for the heating of materials (Электрооборудование для проведения измерений, управления и лабораторного использования. Требования безопасности. Часть 2-010. Частные требования к лабораторному оборудованию для нагрева материалов).

УДК 641.535.06:006.354 МКС 25.180.10 Е17 IDT

Ключевые слова: промышленные установки, токи СВЧ, методы испытаний, выходная мощность, испытания, измерение мощности

**БЗ 7—2016/58**

Редактор *Е.С. Римская*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 13.04.2017. Подписано в печать 03.05.2017. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68. Тираж 25 экз. Зак. 709.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru