

Технологии ЭМС

В номере:

- Особенности мониторинга электромагнитной среды на технически сложном энергетическом объекте
- Исследование паразитного излучения кромок многослойных печатных плат СВЧ диапазона
- Методы снижения уровня побочных излучений от СВЧ установок лучевого типа для термообработки материалов
- Научно-методическое и программное обеспечение оценки безопасности относительно электромагнитных излучений радиочастот на объектах морской инфраструктуры
- Определение условий распределения тягового тока в среде передачи данных телекоммуникационных систем автоматики и телемеханики
- Защита бортовой спутниковой навигационной системы от кратковременного пропадания электропитания и электромагнитных помех
- Выбор методов обеспечения внутриаппаратной ЭМС при массогабаритных ограничениях
- Обеспечение качества характеристик источников бесперебойного питания в условиях помех, вызванных нелинейной нагрузкой
- Определение расположения сварных швов на магистральных трубопроводах в условиях помех
Методы снижения паразитной связи между проводниками

Всероссийская научно-техническая конференция ТехноЭМС 2013

Москва, ноябрь 2013 г.

Технологии электромагнитной совместимости *Technologies of electromagnetic compatibility* 2013. № 3(46).

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

Зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Регистрационное свидетельство ПИ № 77-9669 от 24 августа 2001 года

Оформить подписку можно

по объединенному каталогу «Пресса России»:

10362 — полугодовой индекс;

в издательстве (предпочтительно) (8-985-134-4367).

Главный редактор журнала, председатель редакционного совета

КЕЧИЕВ ЛЕОНИД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.

Зам. главного редактора журнала

ФАЙЗРАХМАНОВ НИКОЛАЙ ИСХАКОВИЧ,

АЛЕШИН АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, к.т.н.

Редакционный совет:

АКБАШЕВ БЕСЛАН БОРИСОВИЧ, д.т.н.

БАЛЮК НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.

ВОРШЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ, д.т.н., проф.

КИРИЛЛОВ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., проф.

КОСТРОМИНОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ,

д.т.н., проф.

КРИВОВ АНАТОЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ, д.т.н., проф.

МЫРОВА ЛЮДМИЛА ОШЕРОВНА, д.т.н., проф.

НЕФЕДОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, д.т.н., проф.

НИКИТИНА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА, д.мед.н., проф.

НИКИФОРОВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ, к.т.н.

ОЛЬШЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, к.т.н.

ПОЖИДАЕВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ, д.т.н., проф.

ПУГАЧЕВ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

САРЫЛОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ

САХАРОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., с.н.с.

СТЕПАНОВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ, д.т.н., проф.

СУХОРУКОВ СЕРГЕЙ АРСЕНЬЕВИЧ, к.т.н., доцент

ТУХАС ВЯЧЕСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.

ФОМИНИЧ ЭДУАРД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.

ЧЕРМОШЕНЦЕВ СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ, д.т.н., проф.

ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:

НОЧУ «Новая Инженерная Школа»

Издается при содействии кафедры РЭТ

МИЭМ-НИУ ВШЭ.

Главный редактор СТАСЬ Константин Николаевич

Исполнительный директор

Лебедев Петр Сергеевич

Адрес: 105005, Москва, Наб. академика Туполева, 15, стр. 29, оф. 117.

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ»

Редакция: тел./факс 8 (495) 916-89-64,

e-mail: kln1940@gmail.com.

Статьи рецензируются. Статьи опубликованы в авторской редакции. Мнение членов редакционного совета может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций. Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции. Рукописи не возвращаются.

ISSN 1729-2670

Журнал включен в перечень ведущих журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК).

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИННИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Содержание

Головин Д.Л., Сарылов О.В., Сарылов В.Н. Особенности мониторинга электромагнитной среды на технически сложном энергетическом объекте	3
Елизаров А.А., Закирова Э.А. Исследование паразитного излучения кромок многослойных печатных плат СВЧ диапазона	16
Мамонтов А.В., Резник С.В., Нефедов В.Н., Гузева Т.А. Методы снижения уровня побочных излучений от СВЧ установок лучевого типа для термообработки материалов	24
Лазарев Д.В., Грачёв Н.Н. Научно-методическое и программное обеспечение оценки безопасности относительно электромагнитных излучений радиочастот на объектах морской инфраструктуры	29
Глотов А.С. Определение условий распределения тягового тока в среде передачи данных телекоммуникационных систем автоматики и телемеханики	39
Аминев Д.А., Лисицын И.Ю., Увайсов С.У. Защита бортовой спутниковой навигационной системы от кратковременного пропадания электропитания и электромагнитных помех	45
Гультяев А.В. Выбор методов обеспечения внутриаппаратной ЭМС при массогабаритных ограничениях	50
Гольдберг О.Д., Увайсов С.У., Иванов И.А., Иванов О.А. Обеспечение качества характеристик источников бесперебойного питания в условиях помех, вызванных нелинейной нагрузкой	55
Андреев М.А. Определение расположения сварных швов на магистральных трубопроводах в условиях помех	65
Карaban В.М., Зырин И.Д. Методы снижения паразитной связи между проводниками	68

Всероссийская НТК ТехноЭМС-2013

79

УДК 621.385.6.6

А.В.Мамонтов, С.В.Резник, В.Н.Нефедов, Т.А. Гузева

Методы снижения уровня побочных излучений от СВЧ установок лучевого типа для термообработки материалов

Рассмотрены методы снижения уровня побочных излучений от СВЧ установок лучевого типа, предназначенных для термообработки диэлектрических материалов в конвейерном режиме. СВЧ установка состоит из рабочей камеры, на которой расположены источники СВЧ энергии, и шлюзовых камер, предназначенных для снижения уровня побочных излучений. Показано, что уровень плотности мощности побочного излучения от работающего СВЧ устройства лучевого типа благодаря применению шлюзовых камер не превышает допустимых норм.

СВЧ устройство, распределение температуры, диэлектрический материал, источник СВЧ энергии, СВЧ камера лучевого типа

Создание равномерного распределения температуры по объему диэлектрических материалов является актуальной задачей в различных отраслях обрабатывающей промышленности. Для равномерного нагрева материалов различных поперечных сечений используются электродинамические системы, состоящие из одной или нескольких камер лучевого типа, через которые проходит обрабатываемый материал. В настоящее время для целей термообработки различных диэлектриков используются источники СВЧ энергии с частотой колебаний электромагнитного поля 2450 МГц. СВЧ устройства, в частности, конвейерного типа, являются источниками побочных и внеполосных излучений, которые могут оказывать негативное воздействие на работу окружающего оборудования и здоровье обслуживающего персонала. В связи с этим необходимо при разработке СВЧ устройств конвейерного типа, предназначенных для термообработки материалов, предусмотреть специальные методы снижения уровня побочных излучений.

Функциональная схема конвейерной СВЧ установки лучевого типа показана на рис. 1.

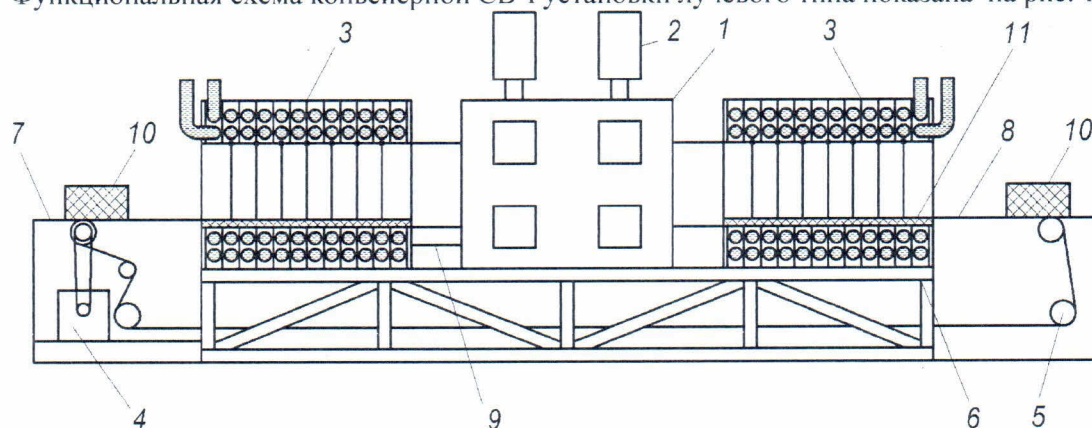


Рис. 1. Функциональная схема конвейерной СВЧ установки лучевого типа: 1 - камера лучевого типа; 2 - источник СВЧ энергии; 3 - шлюзовая камера; 4 - приводная станция; 5 - натяжная станция; 6 - металлический каркас; 7 - загрузочный столик; 8 - разгрузочный столик; 9 - пульт управления источниками СВЧ энергии; 10 - обрабатываемый объект; 11 - конвейерная лента

Диэлектрический материал помещается на загрузочный стол. Конвейерная лента, выполненная из радиопрозрачного материала, приводится в движение и обрабатываемый объект через вход-

ную шлюзовую камеру, предотвращающую утечку СВЧ энергии в окружающее пространство, вводится в камеру лучевого типа, где нагревается до заданной температуры с помощью источников СВЧ, расположенных на камере. Далее объект из камеры нагрева попадает в выходную шлюзовую камеру, и на разгрузочный стол. Загрузочный и разгрузочный столы, шлюзовые камеры и камера нагрева с источниками СВЧ энергии расположены на едином металлическом каркасе.

На стенках прямоугольной камеры нагрева, которая имеет следующие габаритные размеры: длина с фланцами – 1200 мм; высота – 800 мм; ширина – 1000 мм, расположены источники СВЧ энергии.

На рис. 2 показана фотография рабочей камеры лучевого типа с расположенными на ней источниками СВЧ энергии.



Рис. 2. Фотография камеры лучевого типа с источниками СВЧ энергии для термообработки различных диэлектрических материалов в конвейерном режиме

Источники СВЧ энергии собраны на элементной базе бытовых СВЧ печей. Уровень побочных излучений из такого источника определяется в основном степенью уплотнения посадки магнетрона в излучающий волновод, и, как правило, существенно меньше, чем в бытовых микроволновых печах.

На верхней крышке камеры и по боковым её стенкам размещены по четыре источника СВЧ энергии, расположенные определённым образом для обеспечения равномерного нагрева обрабатываемого материала, проходящего через камеру. Поперечные размеры канала (окна) конвейера составляют: ширина – 620 мм; высота – 350 мм. Источники СВЧ энергии имеют волноводный вывод энергии: размер широкой стенки волновода – 72 мм; размер узкой стенки волновода – 34 мм. Источники СВЧ энергии крепятся к камере с помощью фланцев. Для предотвращения излучения в окружающее пространство между фланцами источника СВЧ энергии и камерой расположены тонкие уплотняющие контактные пружинные прокладки.

В рассматриваемой конвейерной СВЧ установке используются камеры лучевого типа с раскрывами прямоугольных волноводов в качестве излучающих антенн [1], работающих на основном типе волны H_{10} и расположенных на определенном расстоянии от поверхности нагреваемого материала.

На рис. 3 представлено схематическое изображение излучения СВЧ энергии из раскрыва прямоугольного волновода.

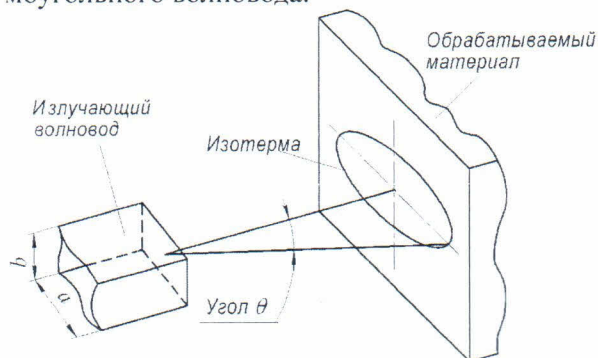


Рис. 3. Схематическое изображение излучения СВЧ энергии из раскрыва прямоугольного волновода: a – размер широкой стенки волновода, b – размер узкой стенки волновода, θ – угол между рассматриваемым направлением и направлением излучения в волноводе

Задача об излучении СВЧ энергии из раскрыва прямоугольного волновода не имеет строгого решения [2]. Результаты решения для аналогичных более простых задач дают основание утверждать, что хорошую точность можно получить при решении этой задачи методом Гюйгенса – Кирхгофа, который основан на следующих предположениях [2]:

- электромагнитное поле в раскрыве волновода остается невозмущенным;
- отсутствуют затекающие на наружную поверхность волновода токи;
- отсутствует отраженная обратно внутрь волновода волна.

Количество и место расположения излучающих антенн в рассматриваемых конструкциях СВЧ устройств лучевого типа определяется геометрическими размерами обрабатываемого материала и расстоянием от поверхности материала до плоскости расположения источников СВЧ энергии.

Распределение мощности СВЧ излучения электромагнитного поля из раскрыва прямоугольного волновода на волне типа H_{10} , как по узкой, так и по широкой стенке, в первом приближении описывается уравнениями Гюйгенса-Кирхгофа. Мощность электромагнитного поля, излучаемая из раскрыва волновода источника СВЧ энергии, неравномерно распределена в пространстве. Зависимость истечения мощности излучения от величины угла (θ), который составляет интересующее нас направление относительно направления распространения энергии в волноводе, описывается функциями с учетом корректирующих коэффициентов, полученных в работе [3].

Корректировка рассчитанных и измеренных характеристик связана эмпирическими коэффициентами $k_E(z, \theta)$ и $k_H(z, \theta)$. Эти коэффициенты зависят от расстояния до поверхности диэлектрического материала и от величины угла (θ):

$$|F_E|^2 = k_E(z, \theta) \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot a}\right)^2} \cdot \cos \theta \right] \cdot \frac{\sin\left(\frac{k \cdot b}{2} \cdot \sin \theta\right)}{\frac{k \cdot b}{2} \cdot \sin \theta} \Bigg|^2, \quad (1)$$

$$|F_H|^2 = k_H(z, \theta) \cdot \left[\cos \theta + \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot a}\right)^2} \right] \cdot \frac{\cos\left(\frac{k \cdot a}{2} \cdot \sin \theta\right)}{1 - \left(\frac{2 \cdot a}{\lambda} \cdot \sin \theta\right)^2} \Bigg|^2, \quad (2)$$

где λ – длина рабочей волны источника СВЧ энергии; $|F_E|^2$ – мощность электромагнитного поля, излучаемого из раскрыва прямоугольного волновода в E – плоскости; $|F_H|^2$ – мощность электромагнитного поля, излучаемого из раскрыва прямоугольного волновода в H -плоскости.

Поглощенная и преобразованная в теплоту мощность электромагнитного СВЧ поля может быть рассчитана с учетом мнимой (ϵ'') и действительной (ϵ') части относительной диэлектрической проницаемости обрабатываемого материала.

Предположим, что на изотропный материал с диэлектрическими потерями падает плоская электромагнитная волна. При достижении границы материала часть мощности отражается, а оставшаяся часть СВЧ мощности передается обрабатываемому материалу, при этом электромагнитное поле затухает в материале по экспоненциальному закону:

$$P(z) = P_{\text{прош}} \cdot e^{-2 \cdot \alpha \cdot z}, \quad (3)$$

где α – постоянная затухания амплитуды напряженности электрического поля в материале; Z – координата, в направлении которой рассматривается распределение мощности в материале; $P_{\text{прош}}$ – значение мощности, вошедшей в обрабатываемый материал.

Соотношения для поглощенной, отраженной и переданной мощности электромагнитного поля для общего случая материала с диэлектрическими потерями толщиной z_0 являются комплексными. Вывод значений отраженной СВЧ мощности электромагнитного поля от поверхности материала и поглощенной СВЧ мощности представляет большие трудности, в частности для случая, когда диэлектрические параметры материала являются функциями температуры.

Таким образом, часть СВЧ мощности от источников СВЧ энергии не поглощается материалом и может выходить из рабочей камеры по каналу конвейера, через который материал поступает в камеру нагрева и выходит из неё. Для определения значения температуры на поверхности изотропного материала с диэлектрическими потерями рассмотрим бесконечно тонкий слой материала, толщиной z_0 . В этом случае параметр, определяющий степень экспоненциальной зависимости α z_0 в уравне-

нии (3) является достаточно малым и можно считать, что амплитуда напряженности электрического поля $E_{\text{прон}}$ в рассматриваемом слое материала, является постоянной величиной $E_{\text{прон}} = \text{const}$.

Величина поглощенной мощности ($P_{\text{погл}}$) в бесконечно тонком слое поверхности материала можно представить в виде [3]:

$$P_{\text{погл}} = 0,278 \cdot 10^{-12} \cdot E_{\text{прон}}^2 \cdot f \cdot \varepsilon'' \quad (5)$$

где $P_{\text{погл}}$ – величина поглощенной мощности электромагнитного поля, Вт/см³; f – частота колебаний электромагнитного поля, Гц; $E_{\text{прон}}$ – амплитуда напряженности электрического поля, В/см.

Температура в материале растет со скоростью [3]:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P_{\text{погл}}}{c_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{д}}}, \quad (6)$$

где $c_{\text{д}}$ – теплоемкость материала, Дж/г·град; $\rho_{\text{д}}$ – плотность материала, г/см³; dT/dt – скорость изменения температуры, град/с.

Таким образом, распределение температуры в бесконечно тонком слое Z_0 на поверхности обрабатываемого материала можно представить в виде:

$$T = \frac{0,278 \cdot 10^{-12} \cdot E_{\text{прон}}^2 \cdot f \cdot \varepsilon'' \cdot \tau}{c_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{д}}}, \quad (7)$$

где τ – время облучения материала энергией электромагнитного поля сверхвысоких частот. Если считать, что теплоемкость и плотность материала в процессе нагрева остаются неизменными, то согласно уравнению (7) измеренное относительное распределение температуры можно представить в соответствие рассчитанному относительному распределению излучаемой СВЧ мощности электромагнитного поля ($P_{\text{изл}}$), падающей на поверхность материала с диэлектрическими потерями:

$$T(\tau) = T_{\text{нач}} + \frac{P_{\text{изл}} \cdot \tau}{c_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{д}}}, \quad (8)$$

$T_{\text{нач}}$ – начальная температура материала до подачи СВЧ излучения; $T(\tau)$ – температура поверхности материала после СВЧ облучения за время τ .

Таким образом, расчет распределения температуры по поверхности материала проводится с использованием уравнений Гюйгенса – Кирхгофа, учета корректирующих коэффициентов и применения принципа суперпозиции.

Если известно распределение температуры на поверхности обрабатываемого материала и известна экспоненциальная зависимость распределение мощности внутри материала от каждого источника СВЧ энергии, то заданное распределение температуры по объему обрабатываемого материала можно получить в результате суперпозиции распределений мощности от различных источников СВЧ энергии.

Если известна СВЧ мощность, поглощенная диэлектрическим материалом и излучаемая мощность источников СВЧ энергии, то можно определить значение мощности, которая выходит в шлюзовые камеры.

Для снижения уровня излучения на входе и выходе обрабатываемого материала используются специальные конструкции фильтров – шлюзовые камеры, препятствующие выходу СВЧ излучения из работающей установки. Конструкция шлюзовых камер защищена патентом РФ [4].

На рис. 4 показано продольное сечение шлюзовых камер, конструкция и габаритные размеры которых идентичны, соответствуют габаритным размерам камеры нагрева и имеют аналогичные поперечные размеры канала для прохождения обрабатываемого материала.

Для поглощения СВЧ излучения, выходящего по рабочему каналу из камеры лучевого типа, внутри шлюзовой камеры имеется каркас, на который намотана трубка из радиопрозрачного материала, заполненная водой. Между трубками и внешней поверхностью камеры в периодической последовательности расположены металлические пластины. СВЧ излучение, попадая между пластинами, которые имеют контакт с внешним кожухом шлюзовой камеры, испытывает многократные отражения от этих металлических пластин и поглощается циркулирующей в трубках водой. Внутри камеры расположен пенал из радиопрозрачного материала (полипропилена), который фиксируется фланцами и внутренним каркасом. Внутри пенала в периодической последовательности на подвижных

стержнях подвешены металлические экраны, которые также отражают СВЧ излучение, выходящее из камеры нагрева.

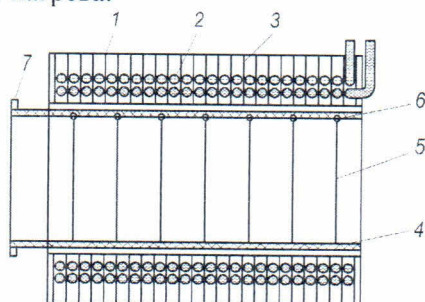


Рис. 4. Конструкция шлюзовой камеры: 1 – металлический кожух; 2 – трубки из радиопрозрачного материала, заполненные водой; 3 – металлические пластины; 4 – пенал из радиопрозрачного материала; 5 – металлический экран; 6 – подвижные стержни; 7 – фланец, соединяющий шлюзовую камеру с камерой нагрева

Шлюзовые камеры соединены с камерой нагрева с помощью специальных фланцев, между которыми имеется пружинящая прокладка для предотвращения СВЧ излучения в окружающее пространство.

Экспериментальными исследованиями установлено, что уровень побочных излучений от СВЧ установки, не превышал 10 мкВт/см^2 , что не нарушало работу радиотехнической аппаратуры, которая была расположена рядом с работающим СВЧ устройством и обеспечивало необходимые безопасные санитарные нормы для обслуживающего персонала.

Список литературы

1. А.В. Мамонтов, М.В. Нефедов, Е.В. Никишин. Измерение распределения температуры поля в объеме диэлектрического материала, обрабатываемого в СВЧ резонаторной камере. – Метрология. – 2009. – № 1. – С. 22–27.
2. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1977. – 340 с.
3. Мамонтов А.В. Разработка и исследование СВЧ устройств для термообработки диэлектрических материалов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2005.
4. Патент РФ № 2060600 от 2.11.93. на ИЗОБРЕТЕНИЕ «СВЧ – печь конвейерного типа (варианты)». Авторы: Нефедов В.Н., Валеев Г.Г., Корнеев С.В., Карпенко Ю.В. // Опубл. 20.05.96. Бюл. № 5.

Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики" (МИЭМ НИУ ВШЭ)

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана (МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Статья поступила 16.03.2013.

В данной научной работе использованы результаты, полученные в ходе выполнения проекта № 12-01-0136, выполненного в рамках Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2013-2014 гг.

A.V.Mamontov, S.V.Reznik, V.N.Nefedov, T.A.Guzeva

Methods for decreasing spurious radiation from microwave BEAM-TYPE devices intended for the materials' thermal treatment

The methods of spurious emission reduction in the beam-type microwave devices intended for dielectric materials thermal treatment in pipelined mode are examined. Microwave device consists of the working chamber on which the microwave power sources are installed and locking chambers intended for the spurious emission reduction. It is shown that microwave power flux density from the working device is well below regulatory limits due to the use of locking chambers.

microwave device, temperature distribution, dielectric material, microwave power source, microwave beam-type chamber

*Moscow Institute of Electronics and Mathematics, "MIEM HSE";
Bauman Moscow State Technical University, "Bauman MSTU".*

АВТОРЫ НОМЕРА

**ВНИМАНИЕ! ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ
«ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ»
Объединенный каталог «Пресса России» агентства «Книга-Сервис»
10362 – полугодовой индекс. Через редакцию – (на любой срок) по тел.: 8-985-134-4367.**

Аминев Дмитрий Андреевич, к.т.н., МИЭМ НИУ ВШЭ, менеджер, тел. 8-906-7406453, aminev.d.a@yandex.ru.

Андреев Михаил Александрович, аспирант, МИЭМ НИУ ВШЭ, ООО «МНПО «СПЕКТР», старший инженер. Тел.: 8-909-964-7648, Andreev.m.a87@gmail.com.

Глотов Андрей Сергеевич, аспирант МИЭМ НИУ ВШЭ, 8-903-267-6774.

Головин Дмитрий Леонидович, доцент НИУ МАИ, кафедра 104 «Управление качеством», dlgolovin@bk.ru.

Гольдберг Оскар Давидович, д.т.н., профессор, МАМИ, ivanov_o_a88@mail.ru.

Грачёв Николай Николаевич, к.т.н., профессор кафедры РЭТ МИЭМ НИУ ВШЭ, nnggrachev@mail.ru.

Гузева Татьяна Александровна, ст. преподаватель, МГТУ им. Н. Э. Баумана, nta29@mail.ru.

Гультяев Алексей Викторович, инженер-исследователь 2 категории, ОАО «Российские космические системы», аспирант МИЭМ НИУ ВШЭ, gultalexey@gmail.com.

Елизаров Андрей Альбертович, д.т.н., профессор каф. РЭТ МИЭМ НИУ ВШЭ. Тел: 8-915-137-1612, yelizarov@list.ru.

Закирова Эльмира Алексеевна, аспирантка 2 года обучения, МИЭМ НИУ ВШЭ. Тел: 8-916-272-4808, jekyll1604@mail.ru.

Зырин Игорь Дмитриевич, аспирант ТУСУРа, Тел.: +7-923-422-30-20, igorpnk@mail.ru.

Иванов Илья Александрович, к.т.н., заместитель заведующего кафедрой, МИЭМ НИУ ВШЭ, ivanov_i_a@mail.ru

Иванов Олег Александрович, аспирант, МАМИ, ivanov_o_a88@mail.ru.

Карабан Вадим Михайлович, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. теплового и механического анализа и синтеза НИИ космических технологий ТУСУРа, Тел.: +7-913-872-4521, karaban_vm@mail.ru.

Лазарев Дмитрий Владимирович, к.т.н., в.н.с., ОАО «ЦНИИ «Курс», тел. (495)365-65-39, qsk@mail.ru.

Лисицын Иван Юрьевич, аспирант, МИЭМ НИУ ВШЭ, инженер; тел. 8-926-272-0919, vanish588@bk.ru.

Мамонтов Александр Владимирович, к.т.н., доцент, МИЭМ НИУ ВШЭ, a.v.mamontov@gmail.com.

Нефедов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор, МИЭМ НИУ ВШЭ, профессор, 6034348@mail.ru.

Резник Сергей Васильевич, д.т.н., профессор, МГТУ им. Н. Э. Баумана, профессор, sreznik@serv.bmstu.ru.

Сарылов Владимир Николаевич, начальник отдела испытаний ОАО «ВНИИ по эксплуатации атомных электростанций» (ОАО «ВНИИАЭС»), системный интегратор работ АСУ ТП и ЭМС на АЭС, , эксперт-аудитор Системы сертификации ОИТ оборудования, поставляемого на атомные станции, e-mail:sarylov.vn@gmail.com, sarylov@vniiaes-asutp.ru, тел.: (499) 170-69-70 раб; 8-915-411-88-13 моб.

Сарылов Олег Владимирович, заместитель директора по испытаниям, исследованиям и качеству ИЦ НИИИТ, 8-495-321-48-47, olegasar@mail.ru, аспирант МАИ, кафедра «Управление качеством».

Увайсов Сайгид Увайсович, д.т.н., профессор, зав.каф. РЭТ МИЭМ НИУ ВШЭ, тел. 8-495-776-6453, uvaysov@yandex.ru.