

Отзыв

**Научного руководителя Лопина Михаила Ивановича на
диссертационную работу Федотова Василия Васильевича «Создание
малогабаритных магнетронов непрерывного действия мощностью 1-3
кВт и СВЧ камеры для кухонных СВЧ печей на частоте 915 мГц»
представленной на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.27.02. " Вакуумная и плазменная
электроника"**

Актуальность темы.

В настоящие времена, возникла необходимость создания нового поколения бытовых кухонных СВЧ печей с большей производительностью, чем это присуще кухонным печам на частоте 2450 МГц. Существующие в настоящее время на этой частоте СВЧ печи ограничены по своим возможностям малым размерам СВЧ камер (~23л) и малой глубиной проникновения СВЧ энергии в приготовляемый продукт. Такие печи пригодны в основном для обеспечения потребностей одной семьи.

Для печей, предназначенных для работы в небольших кафе, школах, больницах и т.п. требуется СВЧ печи небольших размеров, но с малым потреблением электрической энергии и достаточно эффективные для пищевой обработки продуктов при вместимости порядка 40-100 л.

Настала необходимость создавать малые печи, достаточные для работы в малых предприятиях (кафе, школьные столовые и т.п.) – это означает продвижение бытовых кухонных СВЧ печей в новой для них частотный диапазон 915 МГц с уровнем выходной мощности порядка (1-3) кВ.

Для создания экономичной кухонной бытовой СВЧ печи на частоте 915 МГц мощностью 1000- 3000 Ватт требуется создание компактного эффективного источника СВЧ энергии. Наиболее распространенным источником СВЧ энергии в настоящее время является магнетрон. Магнетрон привлекает своим высоким КПД, устойчивостью работы в условиях повышенных температур.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие задачи:

Уменьшить массу и габаритные размеры магнетрона на частоту 915 МГц, сравнимые с аналогичными параметрами магнетрона на частоте 2450 МГц.

Создать магнетрон на частоте 915 МГц с величинами напряжений питания, равным аналогичным параметрам на частоте 2450 МГц, но без уменьшения КПД и увеличенной мощностью по сравнению с аналогом не менее чем в 2 раза.

Обеспечить электромагнитную совместимость магнетрона. Уменьшить выход паразитного СВЧ излучения из катодной ножки и его воздействие на обслуживающий персонал, источник питания и другие электронные приборы. Для решения этой проблемы разработать и установить на катодную ножку компактный дроссель, который обеспечит ослабление не менее 20 dB.

Разработать СВЧ камеру на частоту 915 МГц объемом не более 50 литров.

Провести сопряжение магнетрона по параметрам питания и по электрическим параметрам в экспериментальном образце печи нового поколения.

Изложенное выше определило актуальность работы и её цель.

Диссертация является завершенной научной квалифицированной работой и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Работа выполнена на 92 страницах текста, содержит 46 рисунков, 9 таблиц и список литературы из 103 наименований. Публикации по теме диссертации представлены в статьях в четырех изданиях, рекомендованных ВАК РФ, двух патентах и выступлениях на научно-технических конференциях. Текст в диссертации написан доступным научно-техническим языком. Выводы по главам и по работе в целом логично возникают из результатов проведенных автором исследований.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Во введении дано обоснование актуальности темы работы, определены цели и задачи исследований, перечислены основные результаты, выводы и

рекомендации, научные положения, выносимые на защиту. Обоснована необходимость и практическая важность работы.

В первой главе приведены результаты исследований и обоснован переход на более низкую частоту 915 МГц, при сохранении размеров соизмеримых с магнетроном на частоту 2450 МГц.

Для обеспечения минимальных габаритов предлагается выбрать конструкцию с «тяжелыми» связками и большой общей емкостью резонаторной системы (малое Z_0).

Увеличение емкости связок достигается за счет увеличения высоты колец связи и уменьшения зазора между ними.

Для увеличения индуктивности резонаторной системы, высота ламели h была уменьшена на 50% в области, примыкающей к цилиндуру анодного блока. Дальнейшее уменьшение высоты лопаток ограничивается необходимостью отвода тепла, выделяющегося на концах лопаток при работе магнетрона. Для увеличения отвода тепла от ламелей, можно в них проделать каналы для охлаждающей жидкости, но эта операция неприемлема для серийного производства из-за сложности в изготовлении.

Во второй главе описывается увеличение КПД магнетрона с помощью оптимизации магнитного поля и катодного подогревательного узла.

Для обеспечения анодного напряжения 4 кВ потребовалось увеличенное до 0,16-0,18 Тл магнитное поле. При меньшем поле пришлось бы увеличить диаметр анода и катода, но это практически невозможно при осевом выводе энергии, поскольку точка контакта петли связи уходит по радиусу далеко под полюсный наконечник.

Расчеты проводились в пакете прикладных программ CST STUDIO

Далее представлены результаты выбора катода разрабатываемого магнетрона и оптимизация конструкции для получения равномерной нагрузки на катод.

Для опытных образцов был выбран оксидный катод, способный обеспечить требуемую плотность тока при меньшей мощности накала.

Далее проведен расчет вывода энергии магнетрона с минимальными размерами волновода на частоту 915 МГц.

Расчет вывода энергии магнетрона проводился с условием его работы на несогласованную нагрузку с возможностью кратковременно выдерживать

ухудшения КСВН до 6. Расчеты проводились с помощью пакета прикладных программ CST Studio 14.

Использование оксидного катода, способного обеспечить нам необходимую плотность тока, позволило нам получить мощность СВЧ выше 3 кВт, использовав три стандартных источника питания от СВЧ печи на 2450 МГц подсоединеных параллельно к магнетрону и питающихся от разных фаз с одним нулем.

Проведены эксперименты нового магнетрона на частоту 915 МГц и обычного печного магнетрона в динамическом режиме на согласованную нагрузку, от стандартного источника питания СВЧ печи и даны характеристики аналогов. Результаты приведены в Таблице.

Таблица 1

Магнетрон	Ia(мА)	Ua(В)	P(кВт)	F(МГц)	КСВН	КПД(%)	МАССА
M-176 (Магратеп)	350	4200	1,2	915	1,2	81	3
2M286 (LG)	350	4400	1,150	2450	1,1	78	0,9
M-176 (Магратеп) (схема 3 кВт)	920	4200	3200	915	1,2	82	3
2M290 (LG)	840	5100	3000	2450	1,1	69	3
Хитачи CK-147	850	7500	5000	915	1,1	78	7

Из Таблицы 1 видно, что магнетрон M-176 на 915 МГц имеет выше КПД, не менее 80%.

В главе 3 говорится о расчете фильтра внетрактового излучения через катодную ножку.

Актуальной задачей при проектировании и создании магнетронов непрерывного действия, использующихся в бытовых и промышленных

приборах, в частности в СВЧ-печах, является подавление обратного СВЧ-излучения на рабочей частоте магнетрона, которое возникает при его работе, и просачивается во внешнюю среду через катодную ножку магнетрона.

При выборе резонаторной структуры, для подавления внерактowego излучения, были просмотрены и пересчитаны дроссельные структуры магнетронов на частоту 433 МГц, 915 МГц, 2450 МГц, и принято решение свернуть четвертьволновый дроссель в двое. Новизна решения зафиксирована патентом.

Принцип действия свернутой четвертьволновой дроссельной структуры, аналогичен принципу действия коаксиального четвертьволнового резонатора. Входное сопротивление данной структуры стремится к бесконечности, поскольку суммарная длина проводников дроссельной структуры подбирается приблизительно равной четверти длины волны в свободном пространстве.

Таким образом удается добиться ослабления СВЧ-излучения через катодную ножку магнетрона более 20 дБ, что достаточно для его стабильной работы без влияния на источник питания и окружающие радиоприборы. Экспериментальная проверка подтвердила резонансные свойства предлагаемой дроссельной структуры, обеспечивающей ослабление более 25 дБ.

В разделе 4 показан процесс расчета и испытание камеры для применения магнетрона мощностью 1-3 кВт на частоте 915 МГц.

Задачей на работу было создание резонаторной рабочей камеры с минимальным объемом, в котором может возбуждаться виды колебаний, способствующие равномерному нагреву.

При выборе размеров резонансной камеры можно воспользоваться достоинством частоты 915 МГц, глубиной проникновения СВЧ энергии, усилив это преимущество увеличением выходной мощности. При этом можно сократить число видов колебаний до 3 и сократить объем рабочей камеры до 45 литров, сохранив качество приготавливаемых продуктов. Особенность такой рекомендации полезна для размораживания продуктов. Глубина проникновения СВЧ на частоте 915 МГц, при объеме СВЧ камеры менее 60 литров позволяет равномерно проводить обработку по всему объему продукта.

Проведенный расчет показал, что таким резонатором является прямоугольный резонатор с размерами $435 \times 270 \times 410$. Объем такого резонатора составил 45 литров. В таком резонаторе в полосе частот 915 ± 15 МГц возбуждается 3 вида

колебаний H_{202} ; H_{012} ; H_{301} . Широкая стенка 435 мм позволяет использовать резонатор для равномерного нагрева продуктов с двумя рабочими видами колебаний (H_{202} , H_{301}), устанавливать в печь стандартные пищевые лотки применяемые в пищевой продукции, по 2 – 5 кг.

Рассчитанная камера имеет коэффициент равномерности 0,96.

Личный вклад автора.

Разработка общей концепции диссертации и постановка задач исследований. Определяющее личное творческое участие в разработке программы и методик исследований, в проведении расчетов и моделирования, экспериментальных и конструкторско-технических работ, а также при анализе их результатов. Руководство работами и непосредственное участие во внедрении результатов диссертации в экспериментальное производство СВЧ печей на частоте 915 МГц.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и решений.

Положения и результаты, выносимые на защиту, достаточно обоснованы и базируются:

- на результатах расчетов с использованием известного математического аппарата, адекватно описывающего физические процессы в ЭВП и поведение электронов в скрещенных магнитных и электрических полях;
- на результатах испытаний ЭВП и его узлов с использованием аттестованных методик измерений;
- на практических результатах полученным автором во время проведения испытаний.

1. Даны основные рекомендации по изготовлению малогабаритного магнетрона длинноволнового диапазона (915 МГц) соизмеримого по габаритам с магнетроном коротковолнового диапазона (2450 МГц), подтвержденные практическим результатом;
2. Даны рекомендации, подтвержденные практическим результатом, по увеличению КПД малогабаритного магнетрона на частоту 915 МГц с уровнем мощности 1-3 кВт по сравнению с КПД коротковолнового магнетрона на частоте 2450 МГц при сохранении стандартного источника питания

3. Проведен расчет и изготовление компактной СВЧ камеры для малогабаритного магнетрона на частоту 915 МГц, подтвержденные экспериментальными данными.
4. Проведены испытания разработанного магнетрона в экспериментальной кухонной СВЧ печи нового поколения на частоте 915 МГц.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации, не вызывает сомнений и подтверждается совпадением расчетных и экспериментальных данных, техническими характеристиками созданных магнетронов с источниками питания и результатами их испытаний в разработанной СВЧ камере в экспериментальной печи на 915 мегагерц.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Положения и результаты, выносимые на защиту, достаточно обоснованы и базируются:

- на результатах расчетов с использованием известного математического аппарата, адекватно описывающего физические процессы, происходящие в спектре сигнала магнетрона;
- на результатах испытаний разработанного магнетрона с промышленным источником питания в разработанной СВЧ камере в бытовой кухонной СВЧ печи на 915 мегагерц при использовании аттестованных методик и средств измерений;
- на соответствие полученных автором расчетных и экспериментальных данных;
- на практических результатах предложенных автором и технических решений изготовленных на их основе в НПП "Магратеп" экспериментальных бытовых СВЧ печей на частоте 915 мегагерц;
- На сопоставленном анализе результатов исследований полученных автором, с достигнутыми результатами из других источников.

Выводы и рекомендации по диссертации обоснованы и логично вытекает из результатов исследования.

Значимость для науки и практики полученных автором диссертации результатов.

Полученные автором диссертации результаты теоретических и экспериментальных исследований доведены до практического применения. Создание малогабаритного магнетрона на частоту 915 мегагерц, сопряженного с типовым промышленным источником питания, позволило создать первые образцы бытовых кухонных СВЧ печей на частоте 915 мегагерц. Разработанная автором СВЧ камера для испытания магнетрона оказалась настолько успешной, что полностью была использована в СВЧ печи на 915 мегагерц. Печи с успехом демонстрировались в Сеуле (Южная Корея) и в настоящее время используется в ряде ресторанов ЮАР. Такая печь работает в столовой ОАО "ГНПП"Исток". В ЗАО"НПП"Магратеп" в настоящее время готовится серийное производство такой печи.

Недостатки

К тексту предоставленной работы можно отнести ряд замечаний;

1. Нечетко представлены наименование осей в некоторых графиках.
2. Есть грамматические погрешности в тексте диссертации.

Указанные замечания не снижают теоретической и практической ценности проведенных исследований и полученных авторам результатов.

Заключение

Диссертация на тему " Создание малогабаритного магнетрона и СВЧ камеры для нового поколения бытовых СВЧ печей на частоте 915 мегагерц" является законченной научно-квалификационной работы, в которой обоснована и решена н/т задача по созданию компактного источника СВЧ энергии и СВЧ камеры на частоте 915 мегагерц, т.е. созданы условия для дальнейшего развития отрасли народного хозяйства и продвижения кухонных СВЧ печей с большей производительностью в новой для них диапазон 915 мегагерц.

Диссертация удовлетворяет п.9 " Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор - Федотов Василий Васильевич заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02. - Вакуумная и плазменная электроника.

Научный руководитель доктор технических наук,
заслуженный конструктор РФ

Лопин М. И.

Подпись Лопина Михаила Ивановича заверяю.

Ученый секретарь
диссертационного совета к. т. н. доцент

Куликова И. В.



141190, Московская область, город Фрязино, улица Октябрьская, 7

Тел. (495) 465- 86- 20, (985) 410- 34- 79

E-mail: info@istok.ru