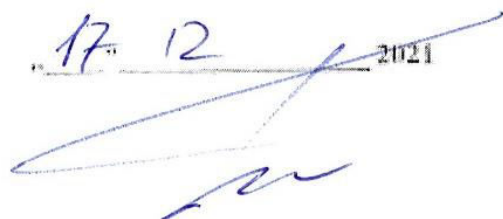


MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi
Departamentul Inginerie Mecanică

Admis la susținere
Șef departament Inginerie Mecanică:
Natalia Tislinscaia conf. univ., dr.

17. 12 2021



Analiza termodinamică a eficienței aplicatoarelor cu microunde

Teza de master

Student:

Paduret Vasiliu,
IM-201m

Conducător:

Ivanov Leonid,
Dr.s.t., conf. univ.



Chișinău, 2022

Оглавление

Введение	7
1. Общие сведения	11
1.1. Классификация и компоновка СВЧ-установок	11
1.2. Устройство и принцип действия СВЧ-печей	17
1.3. Устройство и принцип действия магнетрона	24
1.4. Понятие эксэргии	27
1.5 Микроволновая технология: новые возможности	31
1.6. Сложности внедрения микроволновых технологий	35
1.7. Обработка материалов	35
1.8. Влияние микроволн на живые организмы	37
2. Общие сведения из теории электромагнитного поля	45
2.1. Уравнения Максвелла	45
2.2. Система единиц	47
2.3. Граничные условия	47
2.4. Энергия электромагнитного поля	48
2.5. Теорема единственности	50
3. Энергодинамический анализ эффективности СВЧ аппликаторов	57
4. Литература:	61

Введение

В современном мире можно выделить 3 основные области применения СВЧ нагрева – пищевая, резинотехническая и текстильная отрасли промышленности. Важную роль играют такие характеристики, как КПД процесса, возможность автоматизации и высокое качество продукта. Имеются перспективы внедрения СВЧ-нагрева и сушки в фармацевтическую промышленность, обработку древесины и сельское хозяйство. Расширяется применение технологии быстрого нагрева в столовых, больницах, школах и т.п., массовое использование микроволновых печей в быту уже хорошо известно. Эффект микроволнового нагрева основан на поглощении электромагнитной энергии в диэлектриках. Поля СВЧ проникают на значительную глубину, которая зависит от свойств материалов. Взаимодействуя с веществом на атомном и молекулярном уровне, эти поля влияют на движение электронов, что приводит к преобразованию СВЧ-энергии в тепло.

СВЧ-энергия – очень удобный источник тепла, обладающий в ряде применений несомненными преимуществами перед другими источниками:

Не вносит загрязнений при нагреве, при его использовании отсутствуют какие-либо продукты сгорания;

Очень высокие скорости нагрева, при этом в материале не возникает разрушающих термомеханических напряжений;

Генераторное оборудование полностью электронное и работает практически безынерционно, благодаря чему уровень мощности СВЧ и момент ее подачи можно мгновенно изменять;

Сочетание СВЧ-нагрева с другими методами нагрева (паром, горячим воздухом, ИК-излучением и др.) дает возможность конструировать оборудование для выполнения различных функций, т.е. СВЧ-нагрев – позволяет создавать новые технологические процессы, увеличивать их производительность и повышать качество продукции.

Для правильной оценки применимости СВЧ-энергии в специальных процессах требуется детальное знание свойств материала на различных частотах и на всех стадиях процесса. Поглощенная мощность и глубина, на которую эта мощность проникает в материал, определяется тремя факторами:

- диэлектрической проницаемостью материала;
- частотой генерации;
- геометрией СВЧ-системы.

В настоящее время возникла необходимость создания нового поколения профессиональных кухонных СВЧ печей с большей производительностью, чем это присуще бытовым кухонным печам на частоте 2450 МГц.

Существующие в данный момент на этой частоте СВЧ печи ограничены по своим возможностям малым размером обрабатываемого продукта и малой глубиной проникновения СВЧ энергии. Такие печи пригодны в основном для одновременного разогрева и приготовления пищи одной, двух порций

Обработка сверхвысокой частотой пищевых продуктов и обработка непищевых материалов имеют ряд общих черт, в особенности, когда вопрос касается электронной части оборудования, но между ними есть и существенные различия. Во многих случаях непищевые материалы имеют фиксированные и однородные размеры; например, так обстоит дело при использовании СВЧ-нагрева для склеивания фанеры, сушки шпона или бумаги. Пищевые продукты, напротив, могут быть совершенно различными как по форме, так и по химическому составу, сравните хотя бы креветку, шейку рака и часть тушки какой-либо домашней птицы. Ввиду этого может потребоваться проведение предварительной сортировки продуктов по размерам, которая позволит уменьшить возможность недогрева или перегрева при СВЧ-обработке. Такая сортировка не должна вызвать трудностей на предприятиях пищевой промышленности, поскольку подобные операции хорошо знакомы персоналу.

Изменение размеров пищевых продуктов в процессе обработки не является чем-то необычным; так, при выпечке хлеба существенно меняется объем, а значит, и плотность продукта. Во время обработки обычно сильно меняются диэлектрические свойства материала. Например, в процессе обезвоживания изделие, являющееся вначале хорошей нагрузкой, постепенно теряет это свое качество. Чтобы компенсировать эти изменения, приходится менять входной мощности.

Еще более резкие изменения диэлектрических свойств наблюдаются при размораживании пищевых продуктов, при котором они переходят состояния почти полной прозрачности для энергии в состояние относительной непрозрачности. Во всех таких случаях в конструкции нагревательных установок нужно предусматривать компенсацию подобных изменений свойств. По-видимому, такую компенсацию проще всего можно осуществить в тех установках, в которых распределение энергии можно профилировать, т. е. где различные секции установки могут работать на различных уровнях мощности. Но при конструировании СВЧ-печей для групповой обработки пищевых продуктов приходится в лучшем случае избирать компромиссный вариант и

снабжать такие печи сравнительно сложными инструкциями по их использованию для размораживания, приготовления или подогрева разнообразных пищевых продуктов.

Если для ускорения процесса сублимационной сушки используется энергия СВЧ, то приходится разрешать трудности, связанные с тем, что процесс ведется при очень низком давлении. При типичном для этого процесса давлении легко возникает коронный разряд, особенно когда продукт высыхает и его свойства как СВЧ-нагрузки ухудшаются. Данный процесс имеет для пищевой промышленности очень большое значение, и поэтому значительное место в книге уделяется описанию этого процесса и вопросам борьбы с коронным разрядом.

Несколько страниц посвящено операции окончательной СВЧ-сушки ломтиков хрустящего картофеля. Этот сектор пищевой промышленности заинтересован в установке соответствующего оборудования общей действующей мощностью около 800 квт. Один из специалистов оценивает потенциальный спрос на такое оборудование мощностью 10 000 квт, но можно полагать, что и эта цифра окажется заниженной. В данной операции энергия СВЧ используется для обработки сравнительно плохой нагрузки, однако преимущества, которые получает изготовитель, настолько существенны, что операция может стать неотъемлемым элементом технологического процесса.

Кроме этого применения в настоящее время в пищевой промышленности СВЧ энергия используется только в непрерывном процессе приготовления домашней птицы в паровой среде. В этом процессе СВЧ-установка мощностью 130 квт представляет собой пример реализации многогенераторного принципа. В разделе, посвященном СВЧ-печами, данная установка сравнивается с другими, каждая из которых питается только от одного мощного генератора. Разумное использование энергии СВЧ (во многих случаях в сочетании с другими формами тепловой энергии) может оказаться выгодным в целом ряде других процессов обработки пищевых продуктов. Возможности применения энергии СВЧ в пищевой промышленности поистине неограниченны.

Неметаллические материалы полупрозрачны для СВЧ-энергии. Поля СВЧ проникают в такие материалы на значительную глубину, которая зависит от свойств. Взаимодействуя со средой на атомном уровне и молекулярном, эти поля влияют на движение электронов; ионы из-за своей большой массы не в состоянии взаимодействовать с полем СВЧ. Электроны в таких материалах движутся более или менее свободно в зависимости от значения диэлектрической проницаемости и коэф диэлектрических потерь. Движение электронов, связанное, диэлектрической проницаемостью, носит упругий характер и по

существо приводит к запасанию энергии. Если движение электронов выходит за пределы упругости, характерные для данного материала, то происходит преобразование энергии СВЧ в тепло через гистерезис. В некоторых случаях, например в растворах солей, электроны сравнительно легко разрывают свои связи с молекулами и атомами и более или менее свободно движутся в среде. Потери при этом удобнее рассматривать как результат несовершенств в механизме проводимости.

Когда число электронов, участвующих в движении, настолько велико, что индуцированные при их движении поля по своей интенсивности приближаются к возбуждающим, результирующее поле становится равным нулю и СВЧ-энергия не может проникать внутрь материала. Этот «поверхностный эффект», конечно, по-разному проявляется у разных материалов и зависит от температуры и частоты СВЧ-поля. Толщина поверхностного слоя (глубина, на которой напряженность поля составляет 37% ее значения на поверхности) при низких температурах (например, замороженные пищевые продукты) обычно довольно велика, но сравнительно мала при высоких температурах или в ионных растворах. Так, для мяса эта величина равна 5 см, а для жира 1-2 см.

Поскольку интенсивность нагрева зависит от свойств нагреваемого материала, можно создать системы с самым необычным распределением тепла. Например, в ходе разработки процесса вулканизации пенопласта, из которого делались подушки был разработан компаунд с большими потерями, который давал возможность снимать форму с детали. Компаунд наносится на форму и передает ей тепло; в результате происходит равномерная вулканизация пенопласта по всему объему, включая поверхность, находящуюся в контакте с формой. В конвейерной СВЧ-печи с несколькими генераторами каждый из них может по определенной программе включаться и выключаться в соответствии с наличием или отсутствием изделий для обработки в рабочей области рассматриваемого генератора.

Распространение энергии СВЧ происходит со скоростью света. Генераторное оборудование является полностью электронным и работает практически безынерционным.

4. Литература:

1. Новожилов Ю.В., Яппа Ю.А. – Электродинамика: наука; 1976.
2. Пютнер Г., Нагрев энергией сверхвысоких частот: энергия; 1968.
3. Архетелнккий Ю.Г., Девятник И.И., Сверхвысокоочастотные нагревательные установки для интефикации технологичесих процессов; 1983.
4. Григорьев А.Д. – Электродинамика и техника СВЧ; 1990.
5. Карлинер М.М. – Электродинамика СВЧ; 2006.
6. Титова Л.К. - Электромагнитное излучение – вред или польза; 2014.
7. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 1988. Теория линий передачи сверхвысоких частот. М.: Сов. радио, 1951.
8. Каценеленбаум Б. З. Высокоочастотная электродинамика. М.: Наука, 1966.
9. Микаэлян А. Л. Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963
10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. Альтман Дж. Устройства СВЧ. М.: Мир, 1968.