

soil preparation technology have had little effect on our opinion on different backgrounds soil preparation formed on the same conditions and moisture contamination of crops.

On variants with different technology training greatest productivity of the soil it is characterized by the option "Minimal soil preparation technology" where the yield was in the varieties of peas 15,0-23,4ts / ha while the lentils 12,8-19,2ts / ha.

Keywords: lentils, peas, legumes, seeds, grade, field germination, elementary structure of harvest, seeding rate, productivity.

УДК 664

**Оспанов А.Б., Даутканова Д.Р., Карманов Д.К.,
Шалгинбаев Д.Б., Мошанов К.А.**

Евразийский технологический университет, г. Алматы

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Аннотация

Тепловая обработка применяется к зерну различных культур на этапах сушки, обеззараживания, подготовки к скармливанию и т.д. Высокая стоимость этих процессов обуславливается как стоимостью. Энергоносителей, так и энергоемкостью самих процессов. Разработка режимов обработки с применением электротехнологий в общем и электро-магнитных полей в частности может позволить снизить себестоимость указанных процессов.

Ключевые слова: микроволновое поле, термическая обработка зерна, напряженность поля.

Введение

Необходимость разработки нового оборудования для обеспечения проведения энергосберегающих процессов термической обработки сельскохозяйственных материалов, в том числе с использованием токов ВЧ и СВЧ вызывает необходимость математического моделирования распространения электромагнитной волны и теплового поля в продукте. Процессы нагрева в СВЧ параметрах описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, состоящей из уравнений Максвелла и, при отсутствии массопереноса, уравнения теплопроводности:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial \tau}, \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial \tau}, \operatorname{div} \vec{D} = 0, \operatorname{div} \vec{B} = 0,$$

$$\vec{D} = \varepsilon(\Theta) \cdot \vec{E}, \vec{B} = \mu(\Theta) \cdot \vec{H}, \vec{j} = \sigma(\Theta) \cdot \vec{E}.$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (c(\Theta) \cdot \rho(\Theta) \cdot \Theta) + (\vec{V} \cdot \nabla \Theta) = \operatorname{div} (\lambda(\Theta) \cdot \nabla \Theta) + P(\Theta, \vec{E}).$$

где \vec{E}, \vec{H} - векторы электрического и магнитного поля;

\vec{D}, \vec{B} - векторы электрической и магнитной индукции;

\vec{j} - плотность тока проводимости;

$\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon'' = \varepsilon' - i\sigma / \omega$ - абсолютная диэлектрическая проницаемость;

μ - абсолютная магнитная проницаемость;

σ - диэлектрическая проводимость;

ω - угловая частота;

ϵ, ρ, λ - теплоемкостей, плотность и теплопроводность диэлектрика;

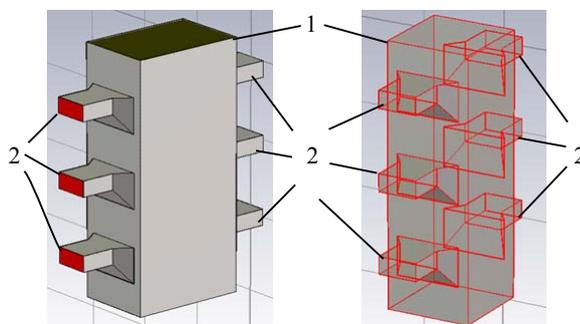
$\vec{\nabla}$ - оператор Гамильтона;

Θ - температура диэлектрика.

Для подобной работы широко применяются программные средства различных разработчиков. Одним из таких продуктов является CST Microwave Studio. Результаты, получаемые данным продуктом основаны на методе конечного интегрирования (Finite Integration Technique, FIT), который представляет собой последовательную схему дискретизации уравнений Максвелла в интегральной форме. Получаемые матричные уравнения дискретизированных полей могут быть использованы для численного моделирования на современных компьютерах. Кроме того, алгебраические свойства этой теории дискретного электромагнитного поля позволяют аналитически и алгебраически использовать законы сохранения энергии и заряда для дискретной формулировки и дают стабильный алгоритм расчета численным методом во временной области [1].

Материалы и методы

Используя данные литературных источников [2-3] в программном комплексе CST Studio была спроектирована зона СВЧ-обработки зернового материала (Рисунок 1). От источника по волноводу 1 распространяется электромагнитная волна. На выходе волновода расположен фторопластовый экран, предотвращающий попадание обрабатываемого материала 3 в волновод. По продуктопроводу 4 вертикально вниз движется зерно. В нашем случае продуктопровод полностью заполнен.

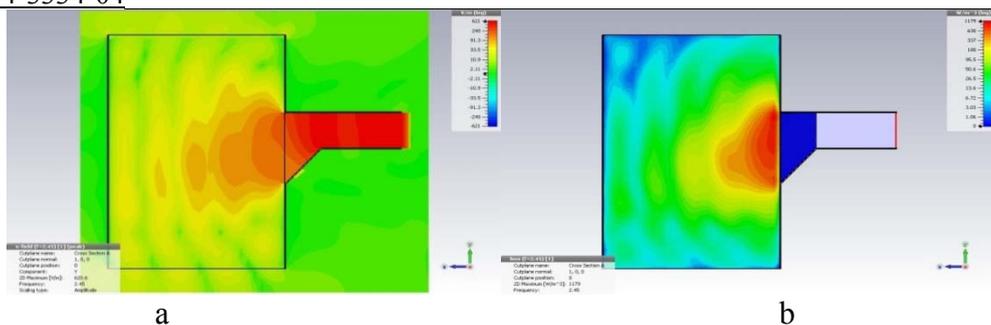


1 – продуктопровод; 2 – источники микроволнового поля с волноводами.

Рисунок 1 – Трехмерная модель зоны микроволнового воздействия

Результаты и обсуждение

Пример результатов моделирования распределения напряженности электромагнитного поля в зоне СВЧ воздействия приведена на рисунке 4. Следует отметить, что моделирование производилось при условии полного заполнения области электромагнитного воздействия обрабатываемым материалом. Видна крайняя неравномерность распределения поля по объему камеры, что необходимо учитывать при построении оборудования для микроволновой обработки материалов. Кроме графического отображения результатов моделирования были полученные численные характеристики напряженности поля, которые записывались в отдельный файл и были использованы в дальнейшей работе.



а – напряженность поля, б – мощность, поглощенная материалом.
 Рисунок 2 – Результаты моделирования для ячменя влажностью 17,6%:

На рисунке 2 приведены графики, отображающие соответствие результатов расчетных и экспериментальных данных по распространению электромагнитного поля. Кривая 1 характеризует экспоненциальный закон затухания электромагнитной волны в материале, получена из зависимости:

$$E = E_0 \cdot e^{-kx}. \quad (1)$$

где E_0 – амплитуда поля на выходе волновода; k – коэффициент затухания, обусловленный диэлектрическими свойствами; x – координата.

Кривая 2 показывает числовые значения, полученные в программном комплексе CST Studio для зоны, содержащей 1 магнетрон. Вид кривой 2 обусловлен волновым характером распределения поля. Кривая 3 отображает данные, полученные при измерении устройством, представленным на рисунке 3. Все кривые приведены в относительных единицах для того, чтобы исключить влияние КПД источника и отобразить соответствие характера полученных экспериментальных и теоретических зависимостей.

В некоторых случаях отклонения данных, полученных с помощью модели, разработанной в CST Studio и экспериментальных данных отличаются на 30%, что обусловлено, как уже говорилось, волновым распределением поля. При этом отклонения экспериментальных данных и данных, описываемых экспоненциальной зависимостью, на расстоянии равном глубине проникновения поля в зерновой слой, находятся в пределах 10%.

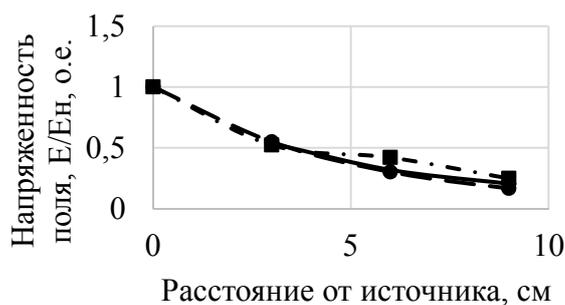


Рисунок 3 – Распределение напряженности поля в направлении от источника:

1 - экспоненциальный закон распределения (расчетный); 2 – расчетные значения по модели, разработанной в CST Studio, 3 - по экспериментальным данным.

Отклонения данных, полученных при моделировании и экспериментальным способом относительно экспоненциального закона обусловлены различными причинами, такими как учет волнового характера распространения поля, тепловыми потерями в окружающую среду при экспериментальном измерении, а также точностью воспринимающей части датчика.

В приведенных примерах зерно, заполняющее зону микроволнового воздействия, представлено в виде однородного материала, заполняющего доступный объем. Кроме этого возможно представление зерновой массы как набора зерновок, каждая из которых представлена в виде шара с различными свойствами, распределенными по объему (Рисунок 4).

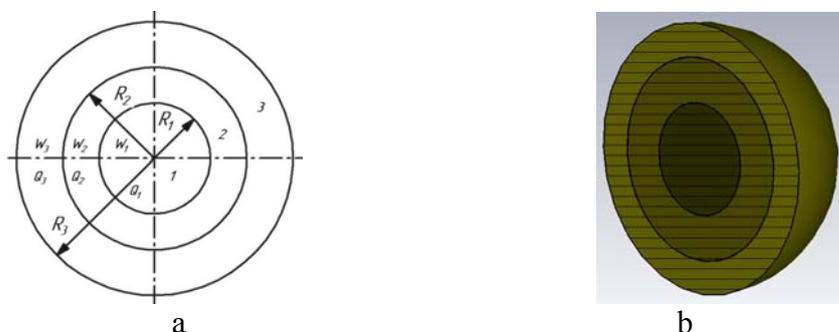
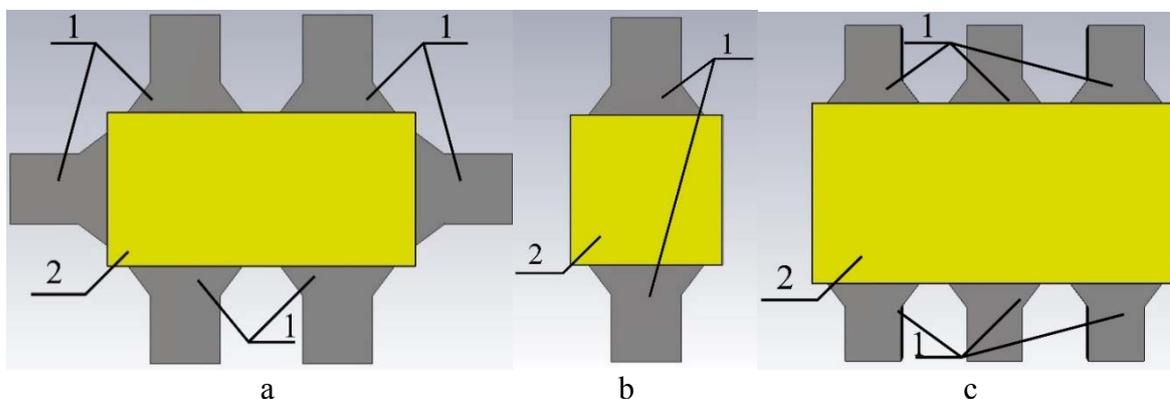


Рисунок 4 – представление зерновки и разделение его на три зоны по влажности.

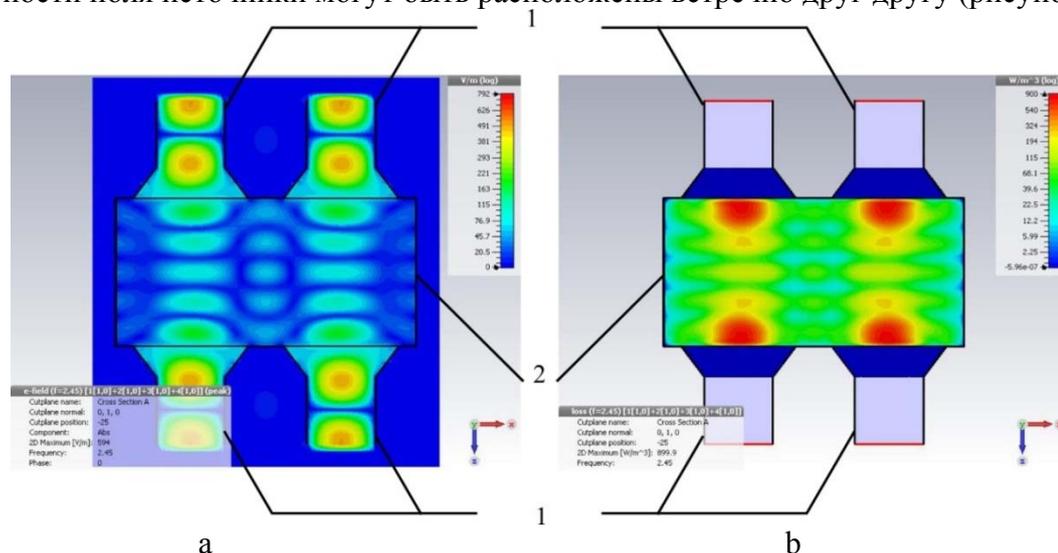
В качестве источников ЭМП в установках для обработки зерна могут быть использованы магнетроны различной мощности и частоты поля. С точки зрения выбираемой мощности можно рассматривать несколько вариантов реализации установки. В случае применения источников большой мощности (несколько десятков киловатт) подвод может быть осуществлен на встречу движению потока материала [4]. При такой реализации установки зона СВЧ воздействия представляет собой цилиндрическую камеру, в которой соосно с внешним корпусом проходит продуктопровод. Таким образом материал по мере прохождения от загрузочной доны к источнику и выгрузке подвергается нарастающему воздействию ЭМП. Такая реализация позволяет обеспечить требуемую равномерность нагрева зерна, однако, в случае высокой начальной влажности, скорость нагрева слишком велика, что приводит к повреждению оболочки и микронизации зерна.

Другим вариантом применяемых источников могут выступать магнетроны мощностью $0,5 \div 3$ кВт с частотой поля 915 МГц либо 2,45 ГГц [1-5]. Такие источники более доступны по цене, менее требовательны с точки зрения эксплуатации. Зачастую не требуют водяного охлаждения. В данном случае подвод СВЧ энергии к продуктопроводу может осуществляться либо над конвейерной линией, по которому движется зерно, либо, в случае вертикального движения материала в плотном слое, через волноводы, встроенные в боковые стенки [5]. Так на рисунке 5 представлен вид сверху зон СВЧ воздействия с изображением волноводов по которым осуществляется подвод мощности ЭМП.



1 – источники микроволнового поля; 2 – продуктопровод.
Рисунок 5 – Зона микроволновой обработки (вид сверху)

Ограничивающим фактором в при таком варианте реализации выступает глубина проникновения электромагнитной волны в материал. При этом глубиной проникновения считается толщина слоя, на которой поле ослабевает в e раз. Для обеспечения равномерности поля источники могут быть расположены встречно друг другу (рисунок 6).



1 – источники микроволнового поля с волноводами, 2 – зона СВЧ обработки (продуктопровод)

Рисунок 6 – Распределение энергии электромагнитной волны в слое диэлектрика с высокой коэффициентом диэлектрических потерь:

а – напряженность поля; б – удельная мощность.

В данном случае глубина проникновения влияет на равномерность распространения СВЧ поля и, как следствие, выделяемую энергию в определенных слоях материала энергию.

Выводы

В соответствии с вышеуказанным, можно сделать вывод о том, что для разработки оборудования электрофизической сушки и обеззараживания зерновых продуктов необходимо ориентироваться на равномерность нагрева обрабатываемого материала можно обеспечить за счет равномерности распределения электромагнитного поля, которую, в свою очередь можно обеспечить формой волновода, формой камеры СВЧ-обработки и схемой расположения источников.

Литература

1. Goronovskij I.T. Kratkij spravochnik po himii [Short Guide to Chemistry– Kiev.: Naukova dumka, 1987. – 837 p.
2. Vankatesh M.S. An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-food Materials. Biosystems Engineering (2004) 88(1), 1–18 doi: 10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007.
3. Baptista F. Energy Efficiency in Agriculture // F. Baptista, L.L. Silva, C. de Visser/ 5th International Congress on Energy and Environment Engineering and Management. Lisbon, Portugal 2013.

4. *Yunyang Wang* Review of dielectric drying of foods and agricultural products / Yunyang Wang, Yuanrui Li, Shaojin Wang, Li Zhang, Mengxiang Gao, Juming Tang. Int J Agric & Biol Eng. – Access: <http://www.ijabe.org> Vol. 4 No.1.

5. *Baptista F.* Energy Efficiency in Agriculture // F. Baptista, L.L. Silva, C. de Visser/ 5th International Congress on Energy and Environment Engineering and Management. Lisbon, Portugal 2013.

**Оспанов А.Б., Даутканова Д.Р., Карманов Д.К.,
Шалгинбаев Д.Б., Мошанов К.А.**

**АСТЫҚ DAҚЫЛДАРЫН ЖЫЛУМЕН ӨНДЕУ ҮРДІСТЕРІ КЕЗІНДЕ
МИКРОТОЛҚЫНДЫ СӘУЛЕНІ МОДЕЛДЕУ**

Аңдатпа

Мақалада максималды өнімділік, ең төменгі энергия тұтыну критерий бойынша астықты кептіру кезінде оптималды басқару жүйесі бар АЖЖ конвективті кептіру және залалсыздандыруға арналған қондырғыларды жасау үшін әмбебап АЖЖ конвективті модульді әзірлеу.

Кілт сөздер: микротолқынды өріс, АЖЖ-қыздыру, жылу және ылғал аудару, динамикалық қасиеттері, математикалық модель, имитациялық модель, шеттік тапсырма, кептіру, залалсыздандыру.

**Ospanov A., Dautkanova D., Karmanov D.,
Shalginbayev D., Moshanov K.**

**MODELING OF PROCESSES OF RADIATION MICROWAVE HEAT TREATMENT
OF GRAIN CROPS IN**

Annotation

In the article, maximum performance, optimal by the criterion of minimum energy consumption when drying grain drying is convection and convection module CAD to create a universal management system, the development of recycling facilities.

Keywords: field, microwave, microwave heating, moisture, and heat transfer, dynamic characteristics, mathematical model, simulation model, setting boundary, drying, sterilization.