

сельскому хозяйству, принадлежат: пересмотр, усовершенствование структуры и специализации сельского хозяйства; оптимизация структуры сельскохозяйственных угодий; уменьшение посевных площадей грунто-истощающих культур в структуре посевов; улучшение методов обработки почвы. Для предотвращения возможных угроз целесообразным является перевод эродированных, чрезмерно загрязненных сельскохозяйственных угодий, особенно пашни, в другие категории земель.

Список использованной литературы

1. Болтянский О.В. Экологические и социальные выгоды органического сельскохозяйственного производства. / О.В. Болтянский, Е.И. Подашевская // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК: материалы Межд. научно-практической конференции. – Минск: БГАТУ, 2021. – С. 56-61.
2. Serebryakova N. Areas of energy conservation in animal feed production of Ukraine. / N. Serebryakova // Сб. научн. ст. Межд. научно-практ. конф. (Минск, 26–27 ноября 2020 года). – Минск: БГАТУ, 2020. – С. 276-278.
3. Непарко Т.А. К проблеме использования технических средств в системе точного земледелия / Т.А. Непарко, В. Жаврид // Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК: сборник научных статей II Международной научно-практической конференции. – Минск: БГАТУ, 2022. – С. 169-632.
4. Voltyanska N.I. Екологічна безпека виробництва і витрати матеріальних і енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції. / N.I. Voltyanska, O.V. Voltyansky // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – Київ: НУБіП, 2015. – № 212-1. – С. 275-283.

УДК 004.4

В.В. Матвеенко, канд. физ.-мат. наук, доцент,

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск,

И.П. Матвеенко, канд. техн. наук, доцент,

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СВЧ-СУШКИ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: СВЧ-сушка, электродинамические процессы, электромагнитные волны, моделирование, оптимизация.

Key words: microwave drying, electrodynamic processes, electromagnetic waves, modeling, optimization.

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы математического моделирования и оптимизации параметров электромагнитного поля для обеспечения равномерного распределения его по интенсивности в камере определенной конструкции.

Abstract: the article deals with the issues of mathematical modeling and optimization of the parameters of the electromagnetic field to ensure its uniform distribution by intensity in a chamber of a certain design.

Использование энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ) позволяет интенсифицировать процессы сушки различных материалов. Это связано с тем, что СВЧ-энергию можно подвести непосредственно внутрь высушиваемого материала. При этом создаваемый градиент давления пара внутри материала резко ускоряет процесс сушки за счет выдавливания влаги из внутренних областей материала на его поверхность к границе, где наиболее эффективны конвективные процессы сушки.

Использование СВЧ-поля позволяет, по сравнению с классическими вариантами, увеличить производительность сушки (зерна, древесины и т.д.), получить более равномерную просушку по всей толщине слоя, а также уменьшить энергозатраты.

Но чтобы усилить все эти преимущества, необходимо получить оптимальные параметры электромагнитного поля для создания равномерной интенсивности в камере определенной конструкции.

Проблема в том, что сложная форма камер и расположение материала, который подвергается сушке в них, не позволяет найти точное распределение СВЧ-полей внутри нагреваемого материала с заданной интенсивностью.

Для решения этой задачи воспользуемся эллиптическим уравнением в частных производных для магнитного потенциала Герца Π_z^m .

При этом необходимо учитывать сложные граничные условия по всей контуре конструкции. Для этого сначала надо установить связь между электромагнитными волнами и потенциалом Герца [1]:

$$\vec{H} = -\epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{\Pi}^m}{\partial t^2} + grad \operatorname{div} \vec{\Pi}^m$$

Граничные условия для магнитного потенциала Герца находим из граничных условий для нормальной составляющей H волны на идеально проводящей поверхности: $H_{a_1}|_{\varrho_1} = 0$, $H_{a_2}|_{\varrho_2} = 0$, $H_z|_{\varrho_3} = 0$

$$\text{Для составляющей } H_z \text{ имеем } H_z|_{\varrho_3} = \left(k^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \vec{\Pi}^m = 0.$$

Откуда ввиду того, что $\left(k^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \neq 0$ получаем граничные условия Дирихле для заданной поверхности: $\Pi_z^m|_{\varrho_3} = 0$

(1)

Для составляющих $H_{q_1}|_{Q_1}, H_{q_2}|_{Q_2}$ можно записать

$$H_{q_1}|_{Q_1} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{h_1} \frac{\partial \Pi_z^m}{\partial q_1} \right) = 0, H_{q_2}|_{Q_2} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{h_2} \frac{\partial \Pi_z^m}{\partial q_2} \right) = 0$$

Из этих условий при $\frac{\partial}{\partial z} \neq 0$ следует

$$\frac{1}{h_{1,2}} \frac{\partial \Pi_z^m}{\partial q_{1,2}} \Big|_{Q_{1,2}} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial \Pi_z^m}{\partial n} \Big|_{S_{\text{бок}}} = 0 \quad (2)$$

Получаем граничные условия для боковой поверхности, соответствующие граничным условиям Неймана.

Граничные условия (1), (2) вместе с уравнениями $\nabla^2 \Pi^m - \varepsilon_a \mu_a \frac{\partial^2 \Pi^m}{\partial t^2} = -J_{cm}$, формулируют краевую задачу для определения электромагнитного поля в волноводах и резонаторах.

Используя указанное выше и перейдя к комплексному виду, получим решение эллиптического уравнения с частными производными $\nabla^2 \Pi^m - \varepsilon_a \mu_a \omega^2 \Pi^m = -J_{cm}$, на частоте $\omega = \sqrt{6,3375}$ для волны H_{10} с граничными условиями $\Pi_z^m = 0$ на входе и выходе сигнала и граничными условиями для боковых стенок $\frac{1}{h_{1,2}} \frac{\partial \Pi_z^m}{\partial q_{1,2}} \Big|_{Q_{1,2}} = 0$.

Исследования проводились путем математического моделирования с использованием пакета PDE Modeler (рис.1).

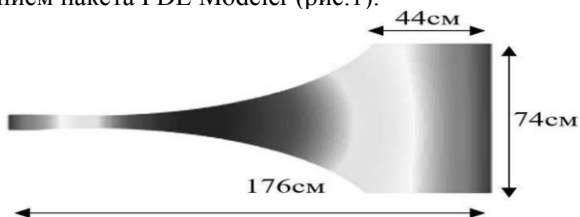


Рисунок 1. Распределение интенсивности СВЧ-поля в сушильной камере

В результате исследования различных форм конструкций камер получено равномерное распределение электромагнитного поля по интенсивности в камере, что повышает качество сушки материалов.

Список использованной литературы

1. Кураев, А.А. Мощные электронные приборы СВЧ и КВЧ со специальными видами взаимодействия / А.А.Кураев, В.В.Матвеевко. – Минск: Бестпринт, 2022. – 216с.