УДК 315.322.365

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЧ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ТОВАРНОГО ЗЕРНА

Четвериков Е.А, канд. техн. наук, доцент, (e-mail): primenenie@mail.ru,
Кузин Д. В, магистер, primenenie@mail.ru
ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет

АННОТАЦИЯ. Приводятся результаты экспериментального исследования, направленного на повышение эффективности процесса измерения влажности сыпучих материалов – в частности зерна – за счет использование в процессе энергии микроволнового поля.

Ключевые слова: СВЧ сушка, СВЧ влагометрия, зерновая продукция, микроволновое поле

При реализации единственного ГОСТированного термогравиметрического метода промышленной влагометрии зерновых продуктов [1, 2], в основе которого лежит достижение продуктом "нулевой" влажности за счет сушки его конвективным тепловым воздействием, на определение влажности партии зерна уходит 2-3 часа.

В этой связи целесообразной представляется попытка использования предложенного и исследованного [3,4] метода интенсификации конвективной тепловой сушки с помощью низкоинтенсивного электромагнитного СВЧ поля. Использование такого подхода должно предположительно сократить время достижения продуктом "нулевой" влажности до 20-30 минут и одновременно снизить энергоемкость процесса сушки в 4 – 7 раз.

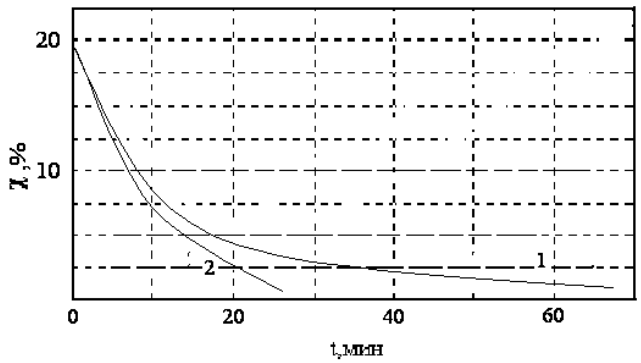

Рис.1. Зависимость снижения влажности продукта от времени сушки.

Типичный характер процесса снижения влажности пробы в процессе ее конвективной сушки представлен кривой, ассимптотически стремящейся к нулевой влажности - кривая 1 на рис.1. Можно предположить, что инжекция в объект сушки микроволновой энергии, обеспечивающей практически постоянную скорость сушки до самых малых влажностей, трансформирует кривую 1 в кри-

вую 2, что и обеспечит получение эффекта существенного снижения энергоемкости и времени процесса сушки.

Приближенный анализ возможности снижения энергоемкости и времени сушки проводился на основе математической модели [3], в которой учет влияния излучения СВЧ в подвергаемые процессу конвективного воздействия зёрна проводился за счет введения температурной добавки во внутренние области объекта сушки. Теоретически расчитанные в работе [3] результаты были подтверждены экспериментально [4], что позволяет с учетом введенных в этой работе эмпирических поправочных коэффициетов считать математическую модель адекватной и позволяет применять ее для расчетов в других задачах:

$$\left|\frac{dm}{dt}\right| = 1.29 * 10^{-4} l^{3/4} n^{3/4} V_B^{1/2} \rho^{1/2} \mu^{-1/2} \left(\frac{\tilde{T}_n}{273.15}\right)^{1.89} \left(10^{\frac{6.9T_0}{230+T_0}} - 1.78\right), \quad (1)$$

где $\tilde{T}_n$ - средняя температура потока зерна[^{0}C]; T_0 -температура воздуха [^{0}C];

ρ - плотность воздуха [кг/м^3]; Vв - скорость потока воздуха [м/с];

μ- динамическая вязкость воздуха [м^2/с]; l, n - характерные размеры материала [м].

Как правило, зависимость снижения массы мелкодисперсных диэлектрических объектов, в том числе зерна, от времени при конвекционном тепловом воздействии имеет вид представленный кривыми 1 на рис. 2 а,б,в. Хорошо видно, что начиная с влажности продукта приблизительно 15 % скорость выхода влаги из продукта резко снижается, что связано со значительным высыханием поверхностных слоев продукта, что препятствует проникновению теплого воздуха во внутренние слои продукта и одновременно приводит к росту градиента температуры, направленного навстречу градиенту влажности. Причем основная часть времени конвекционного обезвоживания приходится на интервал малых влажностей (15-0%).

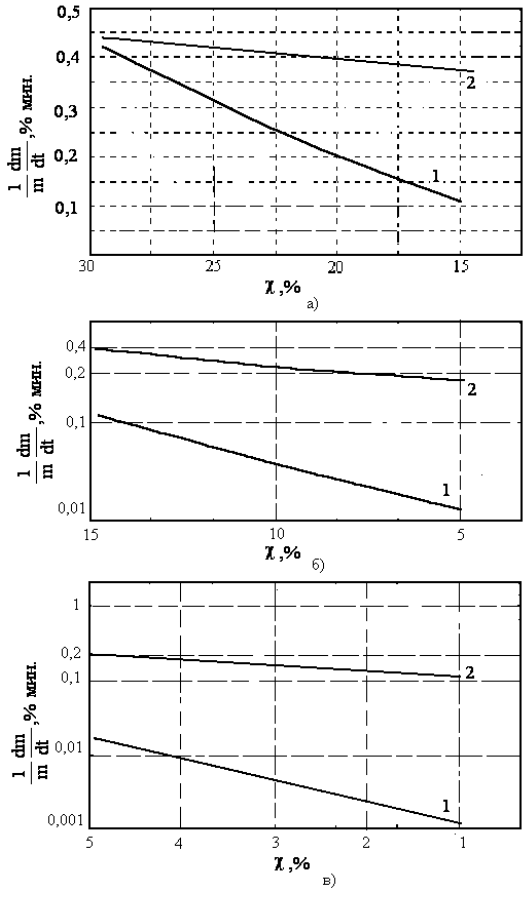

Рис.2.Зависимость скорости сушки от влажности продукта.

Результаты предварительного расчета, проведенного по аналогии с [4,5] для уровня инжектируемой в объект обезвоживания СВЧ мощности 4% от мощности теплового конвективного потока, показывают (кривые 2 рис.2), что в результате инжекции СВЧ энергии значительно вырастает скорость процессса на последних, наименее интенсивно протекающих стадиях сушки. Степень этого влияния все более возрастает по мере снижения влажности объекта; это, в свою очередь,

приводит к существенному снижению времени полного обезвоживания продукта.

Для технической реализации полученного эффекта важен правильный выбор уровня мощности инжектируемого в объект потока микроволновой энергии. Расчет, проведенный для уровней мощности СВЧ соответственно 1, 2, 3, 4 и 5% от конвективной, показал, что наибольший эффект наблюдается при увеличении уровня мощности инжектируемого СВЧ сигнала примерно до 2%.

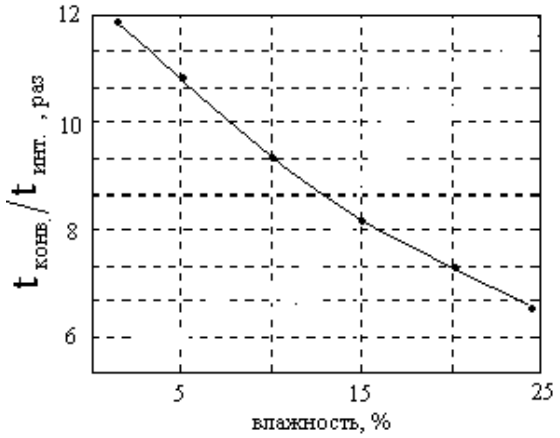

Рис.3 Зависимость отношения времени конвективной сушки к времени комбиннированной сушки от влажности продукта.

Дальнейшее увеличение мощности электромагнитного сигнала СВЧ дает сравнительно слабое снижение времени протекания и энергоемкости процесса сушки. Для наглядности на рис. 3 представлены интегральные результаты уменьшения общего времени обезвоживания под воздействием СВЧ энергии в зависимости от влажности продукта.

Следует отметить, что поскольку затрачиваемая на процесс обезвоживания энергия пропорциональна общему времени его протекания), можно считать,

$$\frac{R_{\Sigma}}{R_{конв}} = \frac{t_{\Sigma}}{t_{конв}} \qquad (2)$$

что значительное сокращение времени обезвоживания, особенно в диапазоне малых влажностей, приводит к аналогичному уменьшению общей энергоемкости процесса обезвоживания, как следует из формулы 2.

Литература

1. Усанов К.М., Четвериков Е.А., Моисеев А.П., Каргин В.А. Оценка целесообразности сушки обмотки линейного электромагнитного двигателя полем СВЧ.// Аграрный научный журнал, Саратов, №9, 2015 – с.60-62.

2. Четвериков Е.А., Моисеев А.П., Каргин В.А. Совершенствование установки сушки расторопши за счет автоматизации процесса измерения влажности.// Аграрный научный журнал, Саратов, №7, 2015 - с.52-55.
3. Четвериков Е.А., Асеев К.В. Электродинамические и тепловые свойства СВЧ нагревательных установок стационарного типа при различных способах возбуждения электромагнитного поля в рабочей камере.// Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы VII Международной научно-практической конференции – Саратов: Издательство «Буква», 2016. – с. 242-244
4. Четвериков Е.А., Моисеев А.П., Лягина Л.А. Совершенствование способов возбуждения электромагнитного поля СВЧ-диапазона в установках сушки сельскохозяйственной продукции стационарного типа// Аграрный научный журнал, Саратов, №6, 2016 – с.70-72.
5. Четвериков Е.А., Моисеев А.П., Лягина Л.А. Микроволновое и инфракрасное излучение в технологиях сушки продукции растительного происхождения.// Монография, Саратов, 2016.