

МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF AGRICULTURAL SCIENCES

ISSN 2224-526X

Volume 5, Number 23 (2014), 79 – 84

ENGINEERING INTERPRETATION OF THE FORMULA OF MAXWELL FOR PRACTICAL USE OF DRYING OF GRAIN

Alim Sh. Jamburshin, A. K. Atyhanov, A. Zh. Sagyndikova

Kazakh national agrarian university, Almaty, Kazakhstan

Key words: grain drying, the amount of heat, kinetics of grain drying, high- frequency currents.

Abstract. Problems of improving the efficiency of thermal technologies for grain drying, based on the expansion of integrated technological research, establishing the kinetic regularities of the drying process, development of methods for calculating the drying process.

УДК 631.362.6

ИНЖЕНЕРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФОРМУЛЫ МАКСВЕЛЛА ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУШКИ ЗЕРНА

А. Ш. Джамбуршин, А. К. Атыханов, А. Ж. Сагындикова

Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: сушка зерна, электромагнитная индукция, количество выделяемого тепла, формула Максвелла.

Аннотация. Проблемы повышения эффективности тепловых технологий сушки зерна базируется на расширении комплексных технологических исследований, установлении кинетических закономерностей процесса сушки зерна, разработке методик расчета процесса сушки зерна.

Введение. Повышение производства зерна в Казахстане невозможно без развития и совершенствования технологии хранения зерна.

Неблагоприятные природно-климатические условия, характерные для зерна в период уборки зернопроизводящих северных регионов нашей страны, зачастую обуславливают высокую влажность. Сохранность его в таких условиях в решающей мере зависит от степени совершенства технологии хранения, в которой основное место занимает сушка зерна.

Специфические свойства зерна обуславливают довольно прочную связь содержащейся в нем влаги, удаление которой связано с затратой тепла путем ее испарения. В связи с этим в практике зерносушения наибольшее применение имеют разнообразные технологии тепловой сушки. Тепловое воздействие на зерно, как продукт биологической природы, требует особого внимания к предотвращению негативных изменений состояния биохимических веществ зерна, определяющих его технологические свойства и качество в широком смысле слова. Задача заключается в обосно-

вании рациональной технологии и оптимизации режимов сушки, обеспечивающих полное сохранение качества зерна и его безопасности как сырья для производства самых массовых продуктов питания человека, так и кормов для животных.

В прошлом в течение многих лет развитие технологий зерносушения было ориентировано, прежде всего, на ускорение процесса сушки, что объективно вызывалось хроническим недостатком сушильных мощностей и скоплением больших масс свежесушенного зерна.

Несмотря на изменившиеся условия заготовок зерна, снижение темпов его поступления на элеваторы и хлебоприемные предприятия, значительная часть зерна и до сих пор просушивается при довольно жестких температурных режимах, губительно отражающихся на его качестве.

Исходя из общих целей, снижения потерь и повышения качества зерна важнейшие задачи по повышению эффективности технологий зерносушения могут быть успешно решены лишь на научной основе с расширением исследований свойств зерна как объекта сушки, установлением кинетических закономерностей процесса сушки, созданием основ управления технологическими свойствами высушиваемого зерна, с разработкой способов энерго- и ресурсосбережения.

Тепловая сушка сопряжена с интенсивным воздействием на всю биологическую систему зерна как живого организма. Направленность и глубина происходящих изменений существенно зависят от применяемой технологии сушки и может иметь либо положительные, либо отрицательные последствия.

Имеющиеся разрозненные литературные данные о кинетике сушки зерна не увязаны с происходящими изменениями его технологических свойств. В оценке эффективности технологии сушки показатель качества просушенного зерна во многих случаях не является первостепенным. Действующие температурные режимы сушки и предельные значения снижения влажности зерна за один цикл сушки жестко регламентированы вне связи с закономерностями кинетики процесса сушки. Отсутствуют количественные характеристики взаимосвязи скоростей нагрева и сушки зерна. Длительность сушки рассчитывается только исходя из заданного снижения влажности зерна без учета скорости его нагрева. Отсутствуют данные о неравномерности нагрева по толщине слоя зерна при сушке в широко применяемых сушилках шахтного типа.

В практике сельскохозяйственного производства используют разнообразные приемы для интенсификации процесса сушки зерна: использование электроактивированного воздуха, предварительный нагрев зерна, применение рециркуляционных режимов, вакуумирование зоны сушки, изменение газового состава сушильной камеры и многие другие. Среди них в последнее время все чаще используется воздействие магнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ). В нашей стране накоплен определенный опыт использования СВЧ полей при сушке зерна. В результате разработаны установки, позволяющие усовершенствовать существующие промышленные сушилки, применяемые на сельскохозяйственных предприятиях. Так же изучалось применение СВЧ полей для предпосевной обработки семян.

Авторами статьи проводились эксперименты сушки зерна токами высокой частоты. При высокочастотной сушке подвод тепла осуществляется с помощью поля электрического тока сверхвысокой (2000–2500 МГц) частоты, что является следствием теории Максвелла, которая гласит, что «чем выше частота электромагнитной индукции, тем больше тепла передается нагреваемому телу». Следовательно, намного эффективнее использовать токи сверхвысокой частоты (СВЧ). Влажные материалы растительного происхождения являются диэлектриками, обладают свойствами полупроводников. В их состав входят ионы электролитов, электроны, молекулы полярных и неполярных диэлектриков, обладающие дипольными моментами. В электромагнитном поле диполи располагаются осью вдоль поля. Попадая в переменное электромагнитное поле, они совершают колебательные движения, стремясь следовать за полями.

При сушке материал помещается между обкладками конденсатора, к которым подается ток высокой или сверхвысокой частоты, показано на рисунке 1. Обкладки имеют противоположные заряды, поэтому ионы и электроны перемещаются внутри материала к той или иной обкладке. При смене заряда на обкладках они перемещаются в противоположных направлениях, в результате возникает трение с выделением теплоты. Диполи в переменном электрическом поле будут колебаться то в одну, то в другую сторону, в результате также возникает трение с выделением тепла. Энергия электромагнитных волн, затрачиваемая на преодоление этих трений, будет превращаться в тепло.

Для измерения основного параметра среды, на которую воздействует электромагнитное поле, является диэлектрической постоянной. Для замера диэлектрической постоянной зерна соломы и колосьев при различной влажности был создан прибор на кафедре Аграрная техника и технология в Казахском национальном аграрном университете (КазНАУ). Прибор представляет собой конденсатор с пластинами 200x200 мм и зазором между ними 5 мм. Начальная емкость конденсатора составляет 18,185 пф, замер изменений емкости производится мостом E12A-1A с точностью до 0,001 пф, формула (1).

$$\varepsilon_1 = \frac{C_1}{C_2}, \quad (1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость материала (зерна); C_1 – емкость конденсатора при засыпке зерна; C_2 – емкость конденсатора воздуха.

По исследования С.С.Суворова температура также непосредственно влияет на электрофизические свойства зерна, что связано с изменением состояния воды, поглощенной зерном. Было установлено, что электрическое сопротивление зернового слоя при повышении температуры снижается, причем тем заметнее, чем ниже влажность зерна, что объясняется снижением электропроводимости зерна, при испарении влаги из него.

Соответственно с повышением температуры значения диэлектрической проницаемости возрастают, причем тем быстрее, чем больше влагосодержание зерна.

В электрическом поле высокой и сверхвысокой частоты нагрев частиц растительного материала происходит за доли секунды. Под действием переменного электрического поля высокой частоты происходит регулируемый нагрев материала. Из-за испарения влаги, тепло- и массообмена с окружающей средой поверхностные слои обезвоживаются и теряют тепло. Поэтому температура и влажность материала внутри выше, чем снаружи. Возникают градиенты температуры и влагосодержания, за счет которых влага изнутри перемещается к поверхности. При этом, в отличие от конвективной сушки, направление обоих градиентов совпадает, что интенсифицирует процесс сушки.

При этом способе сушки испарение происходит по всему объему. Изменяя напряженность поля, можно регулировать температуру материала при сушке.

Количество выделяемого тепла (Q), определяется по формуле Максвелла, имеется в виду, что сушка зерна зависит от напряженности, диэлектрических свойств среды, от частоты генератора и от влажности зерна, определяется формуле (2):

$$Q = 0,555E^2\omega k t g\delta, \quad (2)$$

где E – электромагнитная напряженность В/м; ω – задаваемая частота генератора СВЧ, Г Гц; k – относительная диэлектрическая проницаемость материала, зависит от диэлектрических свойств среды, от частоты генератора, от влажности зерна; $t g\delta$ – угол диэлектрических потерь, характеризуемый средой и частотой генерации СВЧ (он дополняет до 90° угол сдвига фаз между током и напряжением в конденсаторе, между обкладками которого помещен материал).

Диэлектрическая проницаемость определяет способность перехода энергии электромагнитных волн в теплоту, способность материала реагировать на внешнее электромагнитное поле и зависит от физико-химических свойств, температуры и влагосодержания материала, от частоты и напряженности электрического поля. Изменение диэлектрической проницаемости приводит к изменению режима работы сушильных установок. Диэлектрическая проницаемость сухих материалов значительно меньше, чем воды. Чем меньше значение диэлектрической проницаемости, тем на большую глубину материала проникают электромагнитные колебания тока сверхвысокой частоты.

Методы, материалы исследований и их обсуждения. На основании данных положений был поставлен и проведен эксперимент по использованию изменения частоты для сушки зерна. Целью эксперимента было получение кривых сушки зерна при изменяющихся независимых факторах. В качестве независимых факторов приняты начальная влажность зерна ($W, \%$), диэлектрическая проницаемость зерна, частота генератора ($\omega, \text{Гц}$), коэффициент потерь.

В дальнейшем, несмотря на достаточно высокое начальное влагосодержание зерна, сушка протекает на всем протяжении процесса с убывающей скоростью испарения влаги, с непрерывно возрастающей температурой зерна, что находит отражение в характере полученных кривых сушки,

в результате проведения эксперимента получена зависимость между коэффициентом потерь при различных частотах, обработанных с помощью программы Excel рисунок 1.

Анализируя полученную зависимость коэффициента потерь при воздействии на влажное зерно (12%), СВЧ излучателем при его различных частотах, в первую очередь следует отметить, что высокий коэффициент конкордации 0,986, что говорит о строгой функциональной зависимости

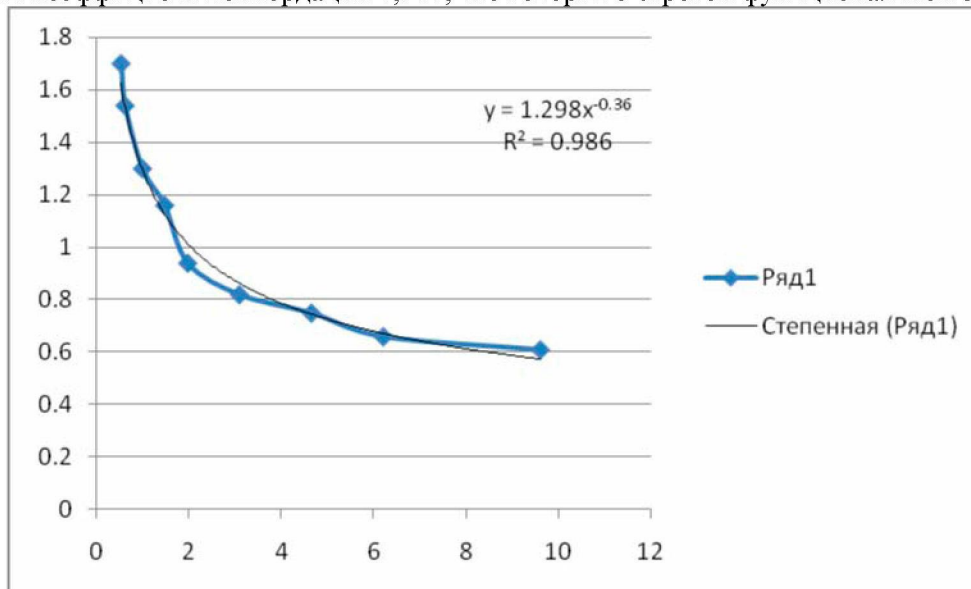


Рисунок 1 – Зависимость между коэффициентом потерь при различных частотах

между частотой и энергией затрачиваемой на нагрев влаги в зерне. Исследуя полученную зависимость, мы наблюдаем, что в диапазоне от 0 до 120 МГц эта кривая носит монотонно убывающий характер, а затем асимптотирует на уровне 0,6. Здесь мы получили очень важный вывод, что при дальнейшем увеличении частоты коэффициент потерь не изменится, следовательно, учитывая, что наше устройство работает в ГГц диапазоне коэффициент потерь будет постоянным, т.е. равным 0,6. Поэтому при изучении влияния влажности зерна на коэффициент потерь мы можем с уверенностью считать, что частота не влияет на точность измерений.

Следующий эксперимент был проведен при изменении коэффициента потерь от влажности, данные обработанных с помощью программы Excel, в результате проведения эксперимента получена кривая сушки зерна, приведена на рисунке 2.

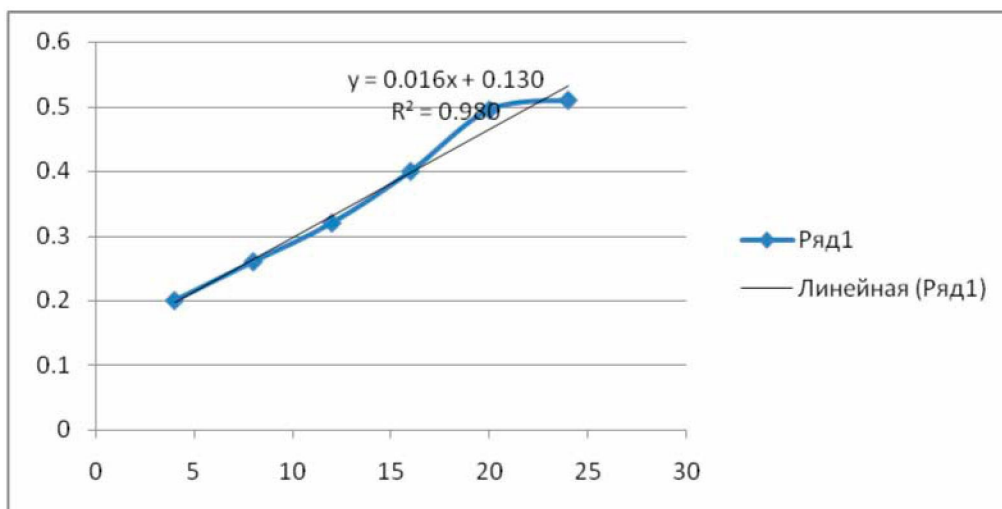


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента потерь от влажности зерна

Проводя опыт по изменению коэффициента потерь от влажности зерна в реальном диапазоне от 5 до 25%, мы видим, что эта зависимость носит сугубо линейный характер с коэффициентом корреляции 0,98, что говорит о строгой функциональной зависимости. Эта функция аппроксимируется линейным уравнением (3)

$$k \cdot \text{tg} \sigma = 0,016W + 0,13, \quad (3)$$

отсюда мы получили второй вывод, что количество тепла получаемое влагой внутри зерновки, возрастает с увеличением его влажности. Это говорит о высоком коэффициенте полезного действия электромагнитного принципа нагрева влажного зерна, в первую очередь из-за того, что нагревается несвязанная собственно влага в зерне, а не сама фактура зерно. Если рассмотреть другие любые принципы сушки, то большая часть тратится на нагрев посторонних тел включения самого зерна, что из биологических соображений совершенно не желательно.

В результате, подставляя в формулу Максвелла аппроксимированную зависимость коэффициента потерь через влажность, мы получим инженерную интерпретацию уравнения Максвелла, формула (4).

$$Q = 0,555E^2 \omega (0,13 + 0,016W), \quad (4)$$

где E^2 – электромагнитная напряженность; ω – задаваемая частота генератора СВЧ; W – влажность зерна.

По результатам полученных зависимостей, количество теплоты, выделяемой из 1 м³ материала (Q), можно определить по формуле 5.

Отсюда следует третий вывод, что нами впервые получена прикладная в инженерном смысле, формула Максвелла, пригодная для расчета тепла полученного влагой зерна в зависимости от 3 параметров:

- Электромагнитная напряженность;
- Частота излучения;
- Собственная влажность зерна.

Выводы:

1. При дальнейшем увеличении частоты коэффициент потерь не изменится, следовательно, учитывая, что наше устройство работает в ГГц диапазоне коэффициент потерь будет постоянным, т.е. равным 0,6. Поэтому при изучении влияния влажности зерна на коэффициент потерь мы можем с уверенностью считать, что частота не влияет на точность измерений.

2. Количество тепла получаемое влагой внутри зерновки возрастает с увеличением его влажности.

3. Впервые получена прикладная в инженерном смысле, формула Максвелла пригодная для расчета тепла полученного влагой зерна.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лыков А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1954. – 357 с.
- [2] Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. – Гос. энергоиздат, 1956. – 452 с.
- [3] Трисвятский Л.А. Хранение зерна. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1975. – 400 с.
- [4] Курушин А.А., Пластик А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. – М.: Изд-во МЭИ, 2010. – 160 с.
- [5] Будников Д.А. Интенсификация сушки зерна активным вентилированием с использованием электромагнитного поля СВЧ: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Зеленоград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. – 16 с.
- [6] 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 Open Access at <http://www.ijabe.org> Vol. 4. N 1.
- [7] Ragha L., Mishra S., Ramachandran V., Bhatia M.S. Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. – 2011. – Vol. 3, N 5. – P. 165-171.
- [8] Metaxas A.C., Meredith R.J. Industrial Microwave Heating, Peter Peregrinus LTD., IEE, London, UK, 1983.
- [9] Barroso J.J., de Paula A.L. Retrieval of permittivity and permeability of homogeneous materials from scattering parameters // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 2010. – Vol. 24, N 11-12. – P. 1563-1574.
- [10] Cheng H.P., Dai J., Nemes S., Vijaya Raghavan G.S. Comparison of conventional extraction under reflux conditions and microwave assisted extraction of oil from popcorn // Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy. – 2007. – Vol. 41, N 1. – P. 36-44 2007.
- [11] Han F. The effect of microwave treatment on germination, vigour and health of china aster (*Callistephus chinensis*) seeds // Journal of Agricultural Science. – 2010. – Vol. 2, N 4. – P. 201-210, 2010.

[12] Molnar C.O. Numerical modeling of electromagnetic phenomena in electro thermal microwave installations. – Ph.D. Thesis, University of Oradea Publishing house, 2006.

[13] Soproni V.D., Hathazi F.I., Arion M.N., Molnar C.O., Bandici L. Aspects regarding the adapting and optimization of mixed drying systems microwave-hot air for the processing of agricultural seeds. – PIERS Proceedings, 210-213. Beijing, China, 2009.

REFERENCES

- [1] Lykov A.V. Teorija perenosa jenerгии i veshhestva. A.V. Lykov, Ju.A. Mihajlov. Minsk: Izd-vo Akad. nauk BSSR, 1954. 357 s.
- [2] Lykov A.V. Teplo- i massoobmen v processah sushki. Gos. jenergoizdat, 1956. 452 s.
- [3] Trisvjatskij L.A. Hranenie zerna. Izd. 4-e, pererab. i dop. M.: Kolos, 1975. 400 s.
- [4] Kurushin A.A., Plastikov A.N. Proektirovanie SVCh ustrojstv v srede CST Microwave Studio. M.: Izd-vo MJeI, 2010. 160 s.
- [5] Budnikov D.A. Intensifikacija sushki zerna aktivnym ventilirovanem s ispol'zovanem jelektromagnitnogo polja SVCh: Avtoref. dis. ... kand. teh. nauk. Zernograd: FGOU VPO AChGAA, 2007. 16 s.
- [6] 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 Open Access at <http://www.ijabe.org> Vol. 4, N 1.
- [7] Ragha L., Mishra S., Ramachandran V., Bhatia M.S. Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. 2011. Vol. 3, N 5. R. 165-171.
- [8] Metaxas A.C., Meredith R.J. Industrial Microwave Heating, Peter Peregrinus LTD., IEE, London, UK, 1983.
- [9] Barroso J.J., de Paula A.L. Retrieval of permittivity and permeability of homogeneous materials from scattering parameters. Journal of Electromagnetic Waves and Applications. 2010. Vol. 24, N 11-12. R. 1563-1574.
- [10] Cheng H.P., Dai J., Nemes S., Vijaya Raghavan G.S. Comparison of conventional extraction under reflux conditions and microwave assisted extraction of oil from popcorn. Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy. 2007. Vol. 41, N 1. R. 36-44 2007.
- [11] Han F. The effect of microwave treatment on germination, vigour and health of china aster (*Callistephus chinensis*) seeds. Journal of Agricultural Science. 2010. Vol. 2, N 4. R. 201-210, 2010.
- [12] Molnar C.O. Numerical modeling of electromagnetic phenomena in electro thermal microwave installations. – Ph.D. Thesis, University of Oradea Publishing house, 2006.
- [13] Soproni V.D., Hathazi F.I., Arion M.N., Molnar C.O., Bandici L. Aspects regarding the adapting and optimization of mixed drying systems microwave-hot air for the processing of agricultural seeds. PIERS Proceedings, 210-213. Beijing, China, 2009.

ДӘНДІ КЕПТІРУГЕ ПАЙДАЛАНАТЫН ТӘЖІРИБЕҮШІН МАКСВЕЛЛ ФОРМУЛАСЫНЫҢ ИНЖЕНЕРЛІК ИНТЕРПРЕТАЦИЯСЫ

А. Ш. Джамбуршин, А. К. Атыханов, А. Ж. Сағындықова

Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: дәнді кептіру, берілген жылудың мөлшері, дән кептіру кинетикасы, жоғарғы жиілікті тоқтар.

Аннотация. Дәнді кептірудің жылу технологиясының тиімділігінің жоғары мәселелері технологиялық кешенді зерттеудің ұлғаюына, кептіру үрдістерінің кинетикалық заңдылықтарының орнатылуына, кептіру үрдісінің есептеу әдісін өңдеуге негізделді.

Поступила 15.09.2014