

Ентальпія плавлення змінювалася в межах від 140,7 до 174,1 кДж/кг, а ентальпія кристалізації — від 88,7 до 164,4 кДж/кг. При охолодженні для всіх сумішей ТАМ кристалізації передує невелике переохолодження.

Висновки

Результати калориметричних досліджень показали, що розглянуті теплоакумулюючі матеріали мають питомі теплоти плавлення на рівні з чистими органічними сполуками і можуть застосовуватися в системах акумулювання теплової енергії, зокрема в схемі сонячної сушарки з теплоакумулятором.

Література

1. Воскобойников В.А., Гуляев В.Н., Кац З.А., Попов О.А. Сушеные овощи и фрукты. – М.: Пищевая промышленность. – 1980. – 192 с.
2. Inci Türk Toğrul, Dursun Pehlivan. Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers // Journal of Food Engineering. – Vol. 55. – 2002. p. 209–216.
3. Корінчевська Т.В. Перспективні методи акумулювання теплової енергії // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій, Мін. Освіти і науки України. – Одеса: 2010. – Вип. 37. – С. 236 – 241.

УДК 064.723.621.783.2-523.2

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В НЕПОДВИЖНОМ СЛОЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПОДВОДАХ ЭНЕРГИИ

**Каландерьян В.А., д.т.н. проф., Бонкова И.Л., к.т.н. доц., Волгушева Н.В., к.т.н. ассистент,
Дементьева Т.Ю., аспирантка
Одесская государственная академия холода, г. Одесса**

Анализируются результаты экспериментальных исследований сушики плотного слоя зернового материала при различных способах подвода теплоты. Определено, что наиболее эффективным является одновременный МВ-конвективный подвод энергии. Проанализировано влияние скорости продуваемого воздуха и его температуры на скорость сушики. Из данных опытов получена обобщающая зависимость для расчета скорости микроволново-конвективной сушики, учитывающая влияние скорости фильтрации и температуры воздуха.

Ключевые слова: сушика, зерновые, экспериментальные данные, микроволновой нагрев, эффективность.

Современная практика создания нового оборудования, в частности, для микроволновой сушики, показывает, что без предварительного исследования кинетики процесса желаемого результата добиться невозможно. Основой для конструирования новых установок являются зависимости для расчета скорости сушики дисперсного материала, а также экспериментально определенные требования к геометрическим характеристикам слоя и режимным параметрам процесса и условиям, при которых будет целесообразно применение того или иного способа сушики.

К наиболее важным современным работам, которые относятся к области организации сушики с использованием микроволновой техники относятся [1-9]. В [6] отмечается, что микроволновые технологии относятся к разряду энергосберегающих в силу их естественной специфики, однако для создания действующего оборудования необходимо проведение комплексных исследований, целью которых является определение условий процесса, при которых будет достигаться равномерность поля внутри камеры, безопасность и безопасность работы, а также регулируемость обработки материала. Особое внимание уделяется принципам построения узлов камер микроволнового нагрева и результатам экспериментальных измерений их характеристик. В [7] приводятся данные по методам определения диэлектрических характеристик материалов, расчета теплового эффекта, а также схемные решения микроволновых сушилок. В предлагаемых устройствах сушика осуществляется в кипящем слое. Авторы [7,8] отмечают, что сушику в микроволновом поле целесообразно вести при значениях влагосодержания на уровне 20 %, что соответствует влагосодержанию зерновых культур на входе в сушильный аппарат. Несмотря на то, что существовал ряд нерешенных вопросов, связанных с особенностями процессов взаимодействия диспер-

ного материала с микроволновым полем [5,8,9], в настоящее время уже предпринимаются попытки сконструировать сушилки, использующие микроволновой нагрев [10,11,12,13]. Однако для создания и эффективного использования в промышленности подобных устройств необходимы дополнительные исследования, которые составляют предмет данной работы.

Целью работы явилось изучение процесса сушки при различных способах подвода теплоты, которые используют микроволновой способ подвода энергии, для сушки дисперсных материалов, в частности, зерновой продукции. Наибольшее внимание уделено исследованию кинетики сушки зерна овса и гречихи для получения основных характеристик процесса в зависимости от мощности магнетрона, продолжительности процесса, особенностей подвода энергии. Исследования направлены на поиск рационального способа теплоподвода при сушке зерновых культур в плотном слое. Непрерывный МВ подвод приводит к быстрому разогреву материала и развитию недопустимо высоких температур, при испарении влаги происходит охлаждение материала. При микроволновом подводе испарение вследствие большого диффузационного сопротивления влагопереноса в зерновке проходит менее интенсивно, чем нагрев – удаление с испарившейся влагой теплоты недостаточно ограничивает рост температуры. При пульсирующем МВ нареве в период паузы влага испаряется, температура несколько снижается, поэтому можно вести процесс сушки в щадящем для зерна режиме. При этом режим пульсирующего МВ нагрева можно осуществить, периодически включая и выключая магнетрон при постоянной мощности, материал будет «отлеживаться» во время паузы. Эти результаты целесообразно сопоставить с циклическим МВ-конвективным режимом, когда в период паузы слой продувается. Задачами являлось установление для конкретных материалов, какой способ подвода энергии (микроволновой, микроволново-конвективный, конвективный) и какие режимные параметры обеспечивают высокую интенсивность процесса сушки и необходимое качество готового продукта при минимальных энергозатратах. Для решения этих задач при каждом способе проводили эксперименты при различных режимах. При обработке опытных данных определяли закономерность изменения скорости сушки, затраты энергии на 1 кг испаренной влаги.

Обработка результатов всех экспериментов, в безразмерных координатах $\frac{u}{u_0} = f\left(\frac{N\tau}{u_0}\right)$, представле-

на на рис.1. Видно, что все точки укладываются на одну линию, т.е. независимо от способа и режима подвода энергии, безразмерное влагосодержание однозначно определяется комплексом $\frac{N\tau}{u_0}$. Пунктирной линией представлена зависимость, полученная ранее [14]. Можно отметить вполне приемлемую корреляцию между этими зависимостями. Однако погрешность экспериментов в данной работе была существенно меньше, что позволяет считать полученную зависимость более точной.

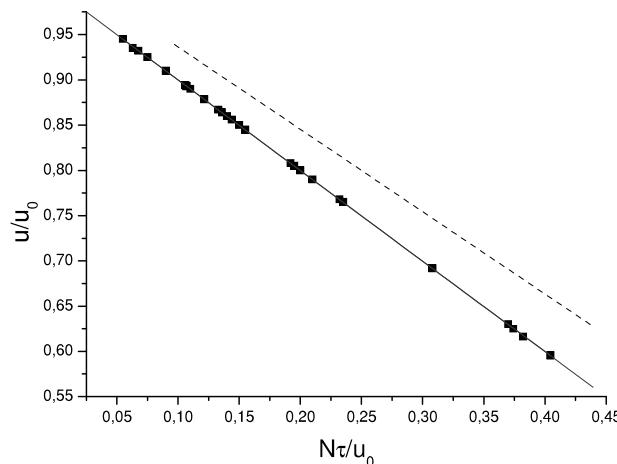


Рис. 1 – Обобщающая зависимость безразмерного влагосодержания от комплекса $\frac{N\tau}{u_0}$ для всех способах подвода теплоты.

Линейная зависимость может быть представлена формулой (1):

$$\frac{u}{u_0} = \frac{N\tau}{u_0} - 1 \quad (1)$$

Сравнение сушки при микроволновом и при микроволново-конвективном подводе показывает, что увеличение скорости продуваемого воздуха и его температуры способствует увеличению скорости сушки. Этот результат отражается зависимостью (2), которая обобщает соответствующие экспериментальные данные:

$$\frac{N_{MB-K}}{N_{MB}} = 1 + 0,0003937 Re^{0,799} \left(\frac{t_g}{t_{o.c.}} \right)^{1,037} \quad (2)$$

Здесь где N_{MB-K} – скорость сушки при микроволново-конвективном подводе энергии, N_{MB} - при микроволновом подводе, t_g – температура воздуха, продуваемого сквозь слой материала, $t_{o.c.}$ – температура окружающей среды.

Формула справедлива с погрешностью 5,7 % при числах Рейнольдса до $Re = 4500$ и температурах продуваемого воздуха в пределах $t_g = 19 \div 70$ °C.

В табл. 1 приведены данные по сушке при режимах, обеспечивающих наиболее благоприятные характеристики процесса. Для обеспечения эффективности сопоставления все исследования проводились в идентичных условиях: на одной и той же установке, с одной и той же зерновой культурой (овес), с начальным влагосодержанием 0,2 кг/кг, с образцами одинаковых размеров (сечение слоя 50x50 мм, высота слоя 57мм) и массой 100 г.

Таблица 1 – Характеристики процессов сушки при разных способах подвода энергии

Режим	Вид и режим подвода энергии	Скорость сушки, с^{-1}	Конечная температура, °C	Удельные затраты энергии, МДж/кг	Коэффициент использования энергии, $\frac{Q_{нол}}{Q_{затр}}$
I	МВ непрерывный $\tau_{\Sigma} = 30$ с, $N_c = 600$ Вт	$4,5 \cdot 10^{-4}$	81,7	15,79	0,906
II	МВ-пульсирующий $\tau_{\Sigma} = 120$ с, $\tau_{MB} = \tau_n = 20$, $n = 3$ $N_c = 600$ Вт.	$4,4 \cdot 10^{-4}$	80,3	8,13	0,613
III	МВ-конвективный, циклический $\tau_{\Sigma} = 130$ с, $\tau_{MB} = \tau_k = 10$ с, $\tau_{\Sigma k} = 60$ с, $\tau_{\Sigma MB} = 70$ с, $n = 6,5$, $t_g = 20$ °C, $w_g = 1$ м/с.	$4,3 \cdot 10^{-4}$	80,5	9,07	0,56
IV	МВ-конвективный, одновременный $\tau_{\Sigma} = 60$ с, $t_g = 19$ °C, $w_g = 0,9$ м/с	$12,7 \cdot 10^{-4}$	71	5,65	0,73
V	Конвективный $\tau_{\Sigma} = 180$ с, $w_g = 1,5$ м/с, $t_g = 120$ °C	$4,1 \cdot 10^{-4}$	77	34,82	0,128

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы относительно целесообразности выбора способа сушки:

1. Оптимальным является одновременный МВ-конвективный способ подвода энергии, при котором достигаются максимальная скорость сушки, минимальные удельные затраты энергии и температура материала не превышает допустимую.

2. Характеристики режима при циклическим МВ-конвективном подводе соответствуют характеристикам режима при пульсирующем МВ-подводе, однако установка усложняется из-за необходимости организации продувки.

3. Непрерывный МВ подвод обеспечивает такую же скорость сушки, как и пульсирующий, но при более высоких удельных затратах.

4. При конвективном подводе достигается примерно такая же скорость сушки, как и при микроволново-конвективном, но энергозатраты значительно выше.

5. Наиболее полно энергия используется при микроволновом и одновременном микроволново-конвективном подводе энергии.

Продувка через слой сушильного агента одновременно с объемным МВ нагревом интенсифицирует межкомпонентный тепло- и массообмен, ускоряет испарение влаги, перемещающейся в результате термодиффузии из объема зерен к их поверхности. В результате существенно (почти втрое) возрастает скорость сушки, снижается продолжительность процесса и удельные энергозатраты (примерно на 40 %). В таком случае усложнение установки за счет системы транспорта и подогрева воздуха вполне оправдано.

В наших предыдущих работах [2, 14, 15] показано, что продувка интенсифицирует и кондуктивную сушку дисперсных материалов, но менее существенно. Для уменьшения затрат энергии необходимо обеспечить утилизацию теплоты отработанного воздуха. Это предусмотрено в предложенных нами установках для микроволново-конвективной сушки дисперсного материала в движущемся портном слое [16].

Таким образом, наиболее эффективным являются одновременный МВ-конвективный подвод энергии.

Сопоставление различных способов подвода энергии, проведенное на основании комплексных экспериментальных исследований, выполнено впервые. В литературе подобные данные отсутствуют.

При проектировании сушильных установок выбор рационального способа и режима подвода энергии должен быть сделан на основании вариантов тепловых, аэродинамических и технико-экономических расчетов.

Литература

1. Ауэрман Л. Я., Губиев Ю. К., Прудзэ Э. Г. СВЧ-конвективная сушка зерна пшеницы // Известия вузов, Пищевая технология.- №3.- 1984.- С. 54- 57.
2. Волгушева Н.В. Кінетика сушіння щільного шару дисперсного матеріалу (на прикладі гречки) при різних способах підведення теплоти // Автореферат канд. дисс Одеса: – 2005. – 12с.
3. Калинин Л. Г., Сердюк Л. В., Овсянникова Л. К., Орлова С. С. Эффективность использования микроволновой энергии для сушки семенного зерна // Хранение и переработка зерна. – 1999. – №2. – С. 9 – 10.
4. Юсупова Г. Г. Влияние электромагнитного поля СВЧ на микроскопические грибы и их метаболиты // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – №12. – С. 67- 69.
5. Mujumdar A. S., Kudra T. Progress in drying technologies. – 2001. – V. 7. – 459 p.
6. Advances in Agricultural Science and Technology. Vol. 1. Advances in Bioprocessing Engineering/ New Jersey, London, Singapore, Hong Kong: Eds Xiusheng Harrison Yang, Juming Tang. World Scientific, – 2002.
7. Horsten D. V., Saghir S. Herstellung qualitativ hochwertiger Trockenprodukte: Kombination von Mikrowellen und Warmluft // Landtechnik. – 1999. – B. 54. – S. 282-283
8. Демьянчук Б.А. Принципы и применения микроволнового нагрева. – Одесса, Черноморье: – 2004.
9. Gunasekaran S. Grain drying using continuous and pulsed microwave energy // Drying Technology. – 1990. – 8(5). - P. 1039-1047.
10. Буртовой Д. П. Установка и способ микроволновой обработки зерна // Хранение и переработка зерна. – 2000. - №1. – С.15- 17
11. Дубовой Д. А. Испытание экспериментальной установки для сушки семян масличных культур с использованием СВЧ нагрева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – №5. – С. 62- 63.
12. Дубовой Д.А. Влияние различных факторов на процесс сушки семян подсолнечника в сушильной установке с использованием СВЧ нагрева // Хранение и переработка сельхоз сырья. – 2001. - №6. – С. 10-11
13. Установка для сушки сыпучих материалов и вертикальная сушильная камера. Патент РФ RU 2-267 067(13) C2.
14. Календерьян В.А., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В. Кінетика кондуктивної і кондуктивно-конвективної сушки гречихи // Наукові праці ОНАХТ. Одеса. – 2006. – № 29, т.2. – с. 17-20.

15. Календерьян В.А., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В., Шатравка О.В. Установка для мікрохвильово-конвективного сушіння дисперсних матеріалів у щільному рухомому шарі. Патент на корисну модель і 2008 09907 № 38205 29.07.2008 – 25.12.2008. – Бюл. № 24.
16. Календерьян В.А., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В. Мікрохвильова сушильна установка. UA 42526 Патент на корисну модель № 42526 10.07. –2009.

УДК:66.011:(549.514.5+536.662)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ОТХОДОВ РИСОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гура Д.В., аспирант, Сорока П.И., д-р техн. наук, профессор,
ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»,
г. Днепропетровск

Разработана математическая модель процесса получения аморфного диоксида кремния и тепловой энергии из РШ. Составлено 10 дифференциальных уравнений и 5 уравнений материального баланса.

There has been developed the mathematical model of the process for obtaining amorphous silicon dioxide and thermal energy from rice husk. 10 differential and 5 algebraic equation of material balance was drawing up.

Ключевые слова: Математическая модель, отходы, рисовая шелуха, тепловая энергия, диоксид кремния.

Потребность в кремнии и его соединениях выдвигает проблему использования в производстве доступных, легко перерабатываемых видов сырьевых материалов и, соответственно, разработки современных рентабельных технологий, которые основаны на этом сырье.

Существующие на сегодняшний день способы получения аморфного диоксида кремния из его минеральных форм являются энергоемкими и достаточно дорогостоящими.

Перспективным сырьевым источником для получения аморфного диоксида кремния и тепловой энергии могут служить многотоннажные отходы рисового производства – рисовая шелуха (РШ) – которая в данное время не нашла широкого практического применения.

РШ состоит из органической составляющей (78–82 % – лигнин, целлюлоза, пентозаны, аминокислоты) и минеральной части (18–22 %), состоящей на 93–97 % из аморфного диоксида кремния. Утилизация этого отхода представляет собой важную как экологическую так и техническую задачу. Подвергнутая физико-химической переработке РШ может служить ценнейшим сырьем для получения аморфного диоксида кремния, особо чистого или технической квалификации с одновременным получением тепловой энергии.

Ранее было определено, что при горении частиц РШ в адиабатных условиях вся теплота, выделенная в процессе горения РШ передается газам, которые нагреваются, при установленном расходе воздуха, от начальной до высшей, для данного горючего материала, температуры и в процессе получения аморфного SiO_2 из РШ образуется избыточное количество тепловой энергии в количестве 6,6 МДж/кг сырья, которую в дальнейшем можно использовать на различные производственные нужды. [1]

Достижение наиболее полной степени превращения исходного кремниесодержащего материала (РШ) в целевой продукт (аморфный диоксид кремния) зависит от теплофизических свойств теплоносителя и исходной РШ, их соотношения, направления движения массовых потоков теплоносителя и сырья, организации процесса смешения частиц сырья и теплоносителя, а также от ряда других параметров.

Многообразие факторов влияющих на процесс взаимодействия теплоносителя и дисперсных частиц, затрудняет разработку точной математической модели процесса переработки РШ. Однако при определенной идеализации процессов, происходящих в реакторе, можно разработать математическую модель процесса, и исследуя ее на ЭВМ, выявить влияние отдельных технологических и конструктивных параметров на процесс.

При создании математической модели были приняты следующие допущения: частицы шарообразны, объем их пренебрежимо мал по сравнению с объемом газовой фазы; газ подчиняется законам идеального газа; теплообмен между дисперсными частицами и теплоносителем идет в адиабатических условиях. [2]