

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ АМАРАНТА

Зыков А.В., канд. техн. наук, доцент, Воскресенская Е.В., инженер
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Анализируются результаты экспериментального и теоретического моделирования сушки зерна амаранта в аппарате на основе вращающегося термосифона.

The results of experimental and theoretical modeling of drying grain ama-welt in the apparatus on a rotating thermosyphon.

Ключевые слова: моделирование, сушка, амарант.

Известно, что процессы сушки и тепловой обработки являются весьма энергоёмкими. В большинстве случаев организацию этих процессов нельзя признать оптимальной с энергетической точки зрения, достаточно научно обоснованной и максимально соответствующей кинетическим, гидродинамическим и термодинамическим закономерностям процессов. На зерноперерабатывающих предприятиях велика доля физически и морально устаревшей малопроизводительной сушильной техники, что приводит не только к перерасходу топливно-энергетических ресурсов, но и отражается на качестве выпускаемой продукции.

Одним из возможных путей повышения эффективности организации сушильных процессов является совершенствование методов подвода теплоносителя. Совершенствование способов подвода тепла непосредственно связано с интенсификацией теплообмена и снижением удельных расходов тепла.

Значительные возможности экономии ресурсов создаются при автоматизации технологических процессов сушки зерновых культур. Однако этот перспективный путь оптимизации управления процессами сушки в перерабатывающих отраслях АПК еще не нашел достойного места в решении актуальных задач энергосбережения. Недостаточно хорошо организованная послеуборочная обработка зерна приводит к потерям урожая до 2...3%. Это в свою очередь отражается на заготовке пшеницы высокого качества, пригодной для получения хлебопекарной муки. Значительное количество выпущенной муки характеризуется пониженными свойствами: пониженным количеством и качеством клейковины, повышенной ферментативной активностью, обусловленной наличием в помольных смесях проросшего, поврежденного клопом-черепашкой, морозобойного зерна и др.

В современных условиях возрастающего потребления энергии, с одной стороны, и дефицита энергетических ресурсов, с другой, все более остро ставятся вопросы рационального использования энергии, утилизации и рекуперации теплоты во всех процессах пищевой технологии. Это относится и к сушке зерна, которая неизбежно сопровождается неполным использованием энергии теплоносителя, что связано с условиями гигротермического равновесия между высушиваемым материалом и сушильной средой.

В технике сушки широкое применение находят тепловые трубы и термосифоны, которые позволяют довести зерносушильные установки до высокого энергетического совершенства в отношении использования, утилизации и рекуперации теплоты отработанного сушильного агента. При этом значительно снижаются затраты энергии (до 30%), а осуществление «мягких» режимов сушки позволяет получить высушенное зерно высокого качества.

Современный уровень развития вычислительной техники, а также достижения в области теории тепло- и массопереноса при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов позволяют исследовать процесс сушки зерна при наиболее рациональных с энергетической точки зрения схемах подключения вращающегося термомеханического агрегата (ТМА). В этой связи актуальной задачей является разработка математической модели сушильной технологической системы для моделирования одновременно протекающих тепло-массообменных процессов: сушки зерна, регенерации рабочих поверхностей теплообменных устройств, процесса теплообмена между теплоносителями разного температурного потенциала. Возможно, это направление позволит создать новые технологии энергосбережения и способы сушки зерна в новых, разработанных на основе тепловых труб и термосифонов, зерносушилках.

На сегодняшний день достаточно четко обозначены принципы энергосбережения в процессах сушки, к основным из которых относятся максимальное использование теплоты отработанного сушильного агента за счет его рециркуляции [3]; применение тепловых труб и термосифонов для осуществления низкотемпературной и низкотратной сушки [4,5]; использование вторичных энергоресурсов; математическое моделирование, обеспечивающее максимальную степень кинетического, гидродинамического и термодинамического соответствия; оптимизация и управление процессами сушки и тепловой обработки, предотвращающие потери тепла и электроэнергии.

Несмотря на сформировавшиеся принципы энергосбережения в процессах сушки, нет однозначного решения их реализации. Поэтому решение задач энергосбережения при конкретном способе энергоподвода требует индивидуального подхода с учетом специфики каждого вида продукта.

В данной статье анализируются результаты экспериментального и теоретического моделирования сушки зерна амаранта в аппарате на основе вращающегося термосифона.

Амарант - мелкосеменная культура (масса 1000 семян-0,4-0,55г), размер целой зерновки не превышает в диаметре 0,6-0,8 мм. В условиях юга Украины амарант следует рассматривать не только как источник питательной вегетативной массы, но и как перспективную зернофуражную культуру. По данным науки отдельные сорта амаранта способны обеспечивать урожайность 25-60 ц зерна с гектара. Питательные свойства амаранта трудно переоценить. Для сравнения: показатель питательной ценности белка амаранта равен 75 единицам, а молока только 72 единицам. Корни, стебли, листья, цветы и семена, в той или иной степени, являются источником масла, крахмала, витаминов, пектина, каротина, протеина, микроэлементов, минеральных солей, сахара. Это целая кладовая уникального белка высшего качества, содержащего лизин - ценнейшей и незаменимой для человеческого организма аминокислоты, которой в белке 6-9%, что значительно больше чем в белке кукурузы, пшеницы, риса. В Японии питательность зелени амаранта сравнивают с мясом кальмара. Молодые листья амаранта по вкусу схожи со шпинатом. Их употребляют в свежем, сушеном и консервированном виде. Используют в салатах, супах, мясных и рыбных блюдах, в приготовлении соусов, запеканок, в качестве начинок для пирогов, заваривают чай и добавляют в компоты, получают целебный сок и готовят из него сиропы. Заготавливают зелень амаранта впрок сушкой и замораживанием. Семена, в первую очередь, являются источником чудесного по своим свойствам масла, более ценного, чем облепиховое. Их можно употреблять обжаренными. При нагревании зерна растрескиваются и приобретают приятный ореховый вкус. Обжаренными и сырыми их добавляют в запеканки, оладьи, пудинги, торты, сдобу. Мука и крупы из семян амаранта используются в качестве ценнейших пищевых (до 20%) добавок в производстве диетических продуктов питания: каш, хлебобулочных, макаронных, кондитерских изделий, детского питания. При добавлении ее в пшеничную муку (10%), выпеченные хлеб и сдоба приобретают целебные свойства и долго не черствеют. Уже сейчас в разных странах мира производят более тридцати видов пищевых "амарантосодержащих" продуктов: вермишель, макароны, соусы, чипсы, бисквиты, кексы, вафли, печенье, безалкогольные напитки и пиво.

Для дальнейшей обработки и хранения свежесобраный урожай семян амаранта необходимо просушить. В промышленных масштабах эта технологическая линия ещё не отработана, и сушар амарант различными способами, в том числе и в сушилках с параллельными потоками [6]. Процесс сушки зерен амаранта, исследуемый в данной работе, проходил в установке, роторная конструкция и принцип действия которого приведена в статьях [4,5].

Массоотдача слоя амаранта в установке описывается уравнением:

$$\frac{dW}{dt} = \beta \cdot F (p_{пов} - p_a) \quad (1)$$

где dW — изменение массы влаги в зерновке амаранта во времени;

dt — изменение времени;

β — коэффициент массобмена;

F — площадь поверхности зерновки;

$p_{пов}$ — давление пара над поверхностью зерновки;

p_a — парциальное давление водяного пара в воздухе.

Или используя активность воды a_w и давление водяного пара над свободной поверхностью p_{II}

$$\frac{dW}{dt} = \beta \cdot F (a_w \cdot p_{II} - p_a) \quad (2)$$

Разделив полученное уравнение на $G_{общ}$ и учитывая, что $G_{общ} = \rho_o \cdot (F/S_{уд})$ получим

$$\frac{d\omega}{dt} = \beta \cdot \rho \cdot S_{уд} \cdot (a_w \cdot p_{II} - p_a) \quad (3)$$

где ω — влажность материала

ρ — плотность зерна амаранта

$S_{уд}$ — удельная поверхность зерна

Коэффициент активности воды для амаранта можно определить по кривым десорбции, приведенным в статье [6].

Кривая сорбции описывается уравнением

$$\varphi_1 := e^{\frac{-(A)}{R \cdot T_1} \cdot e^{-B \cdot U_1}} \quad (4)$$

где $B=25$, а

$$A := 219.17e^{0.0121 \cdot T_1}$$

Коэффициент влагопереноса можно определить по критериальному уравнению

$$Sh = A \cdot Re_B^n \cdot (1 + Pe_m)^m \cdot (\gamma / \gamma_0)^k \quad (5)$$

где A — константа, определяемая экспериментально;

n, m, k — показатели степени, определяемые экспериментально;

Re_B — число Рейнольдса;

Pe_m — массообменное число Пекле;

γ, γ_0 — рабочий и базовый угол наклона вращающегося термосифона.

Учитывая, что вынужденное движение воздуха создается только вращением агрегата, уравнение (5) может быть упрощено и представлено в виде:

$$Sh = A_0 + A_1 \cdot Pe_m^m \cdot (\gamma / \gamma_0)^k \quad (6)$$

для чего были проведены экспериментальные исследования сушки зерен амаранта в термомеханическом агрегате при различных режимных параметрах (число оборотов термосифона и угол наклона). В результате анализа кривых сушки (рис. 1)

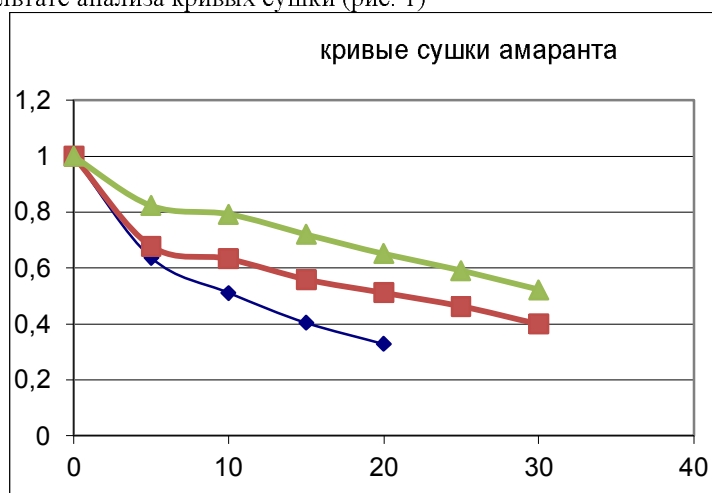


Рис. 1 – Кривые сушки амаранта в термомеханическом агрегате

В результате обработки экспериментальных данных были получены коэффициенты критериального уравнения

$$Sh = 4 \cdot 10^{-9} + 6 \cdot 10^{-7} \cdot Pe_d^{0.9} \cdot \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} \right)^2 \quad (7)$$

Полученное уравнение позволяет рассчитывать кинетику сушки амаранта в термомеханическом агрегате с ВТС при скоростях вращения ТС до 40 об/мин и углах наклона до 45° .

Литература

1. Рудобагша С.П. Математическое моделирование процесса сушки дисперсных материалов // Известия Академии наук. – Энергетика. – 2000. – №4. – С. 98–109

2. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н. Кинетика и динамика тепломассопереноса при сушке слоя диспергированного коллоидного капиллярно-пористого материала // Наукові праці ОНАХТ. –Одеса. –2006. –Вип. 28. – Т.2. – С.140–146
3. Бурдо О.Г., Мілінчук С.І., Зиков О.В. Нові теплотехнології зерносушіння. // Наук.-вироб. журнал – Випуск 3 - Одеса: Одеська національна академія харчових технологій-2006.-С.16-21
4. Безбах И.В., Бурдо О.Г. Термомеханический агрегат для дисперсных продуктов // Наукові праці ОНАХТ. –Одеса. –1999. –Вип. 21. – С.234–237
5. Воскресенська О.В. “Кінетика процесу сушіння зернових культур в термосифонно – механічному агрегаті”, –Одеса, –Наукові праці ОНАХТ, –вип.36, –том 1, –2009р., –79–82 с.
6. Антипов С.Т. Исследование и анализ гигроскопических свойств семян амаранта // С.Т. Антипов, А.В. Журавлев, И.М. Черноусов, Е.С. Буни. – сборник статей «Вопросы современной науки и техники». – университет им. В.И. Вернадского. – Воронеж. –№4(14). –2008. –Том

УДК 66.047

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ КРАПЕЛЬ БІЛКОВО-МІНЕРАЛЬНОГО ЕКСТРАКТУ

Шаркова Н.О. пров. наук. співр., к.т.н., Жукотський Е.К. ст. наук. співр., Авдєєва Л.Ю. ст. наук. співр., к.т.н., Турчина Т.Я. к.т.н, Козак М.М. мол. наук. співр., Костянець Л.О. пров. інж., Ткаченко О.В. пров. інж.
Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, м. Київ

Досліджено вплив температурних режимів на кінетику та інтенсивність сушіння крапель екстракту.

Influence of temperature conditionals on kinetics and intensity drying of the extract droplets were investigated.

Ключові слова: кінетика сушіння, температура теплоносія, білково-мінеральний екстракт, час сушіння.

Виробництво білково-мінеральних продуктів з природної сировини є актуальним для України у зв'язку з ростом захворювань опорно-рухового апарату. В Інституті технічної теплофізики НАН України розроблено оригінальну технологію отримання природного білково-мінерального концентрату з вторинної сировини птаховиробництва, який містить до 75 % білка та 10 % мінеральних речовин, з яких 50-60 % складає кальцій у цитратній біологічно активній формі [1, 2]. Такі високовологі продукти швидко псуються та втрачають свої первинні якості, а порошкова форма є більш зручнішою для зберігання, транспортування, дозування та швидкого відновлення. Тому доцільно білково-мінеральний продукт отримувати у формі сухого концентрату методом розпилювального сушіння.

Мета роботи. Для визначення раціональних параметрів процесу сушіння продукту в умовах розпилювальної сушарки дослідити кінетику сушіння крапель білково-мінерального екстракту з вмістом сухих речовин 10 % у різних температурних режимах.

Дослідження проводились в системі «крапля-парагазове середовище» на експериментальному стенді в потоці теплоносія [3], швидкість якого складала 0,5 м/с, що відповідає середній швидкості двофазного потоку – теплоносія та диспергованого продукту у факелі розпилю в розпилювальних сушарках. Краплі екстракту розміром ~ 1,5 мм висувувались при температурах теплоносія: 140, 160 та 180 °С.

На рис. 1 представлено термограми сушіння крапель білково-мінерального екстракту. Аналіз термограм показує, що підвищення температурних режимів сушіння впливає на характер кінетичних кривих та тривалість окремих їх стадій. Сам процес сушіння складається з періоду постійної швидкості сушіння до відмітки на термограмі кр. 1, при якому відбувається випаровування вологи з вільної по-верхні при температурі, близькій до температури «мокрого» термометру (табл. 1), та періоду падаючої швидкості сушіння, який у свою чергу складається з трьох стадій: кірко-утворення – поміж відміт-ками на термограмі кр. 1 та кр. 2; кипіння – поміж кр. 2 – кр. 3 та заключної стадії досушування – від кр. 3... і до повного висушування.