

Висновки.

Розроблена методика визначення рівноважної вологості вологого матеріалу в умовах сушіння добавок (глиноземний кек та піритні огарки) під час виробництва цементу. Як сушильний агент використано повітря при температурі 60 °С. На основі експериментальних досліджень процесу сушки визначено рівноважну вологість матеріалу залежно від відносної вологості теплового агенту. Запропоновано аналітичні залежності для оцінювання рівноважних станів висушуваних матеріалів повітря.

Література

1. Гинзбург А.С. Массообменные характеристики пищевых продуктов /А.С. Гинзбург, И.М. Савина // М. Легкая и пищевая промышленность. 1982. С.82-83.
2. Справочник химика. М. Изд.«Химия».1964.Т.3.С.333,522-523.
3. Амелин А.Г. Технология серной кислоты.2-е изд. перероб. /А.Г. Амелин// – М.: Химия, 1983. – с.15-17.
4. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов. /В.И. Муштаев, В.М. Ульянов// –М.: Химия, 1988. 322 с.

УДК 664.8.047

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ТЕРМОСИФОННО–МЕХАНИЧЕСКОМ АГРЕГАТЕ

Воскресенская Е.В. инженер

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Рассмотрен процесс сушки некоторых зерновых культур в аппарате на основе вращающегося термосифона, как один из способов комбинированной сушки, рассмотрены его недостатки и преимущества. Предложены режимы сушки в термосифонно–механическом агрегате.

Process of drying of some grain crops in the device on the basis of a rotating thermosiphon as one of ways of the combined drying, its lacks and advantages are considered is considered. Drying modes in the thermosiphon–mechanical unit are offered.

Ключевые слова: термосифонно–механический агрегат, кинетика процесса сушки.

В различных производствах широко распространены процессы тепловой сушки, при которой для удаления влаги из материала в основном применяют методы, основанные на сжигании природного топлива и продувки зерна потоком горячего воздуха с последующим выбросом тепла в атмосферу. Подобный процесс является крайне неэффективным с экономической точки зрения, т.к. большая часть тепла, полученного от сгорания органического топлива, выбрасывается в атмосферу и лишь малая доля идет непосредственно на испарение влаги и сушку зерна, что непосредственно ведет к удорожанию себестоимости зерна и другой зерновой продукции. Анализ мировой практики сушки дисперсных пищевых продуктов [3,5] показывает, что 10 % всех энергозатрат приходится на привод вентиляторов, а другие 90 % – на сушку. Тепловая энергия расходуется в среднем так: на испарение влаги затрачивается 40 %, на нагревание зерна – 10 %, на нагрев воздуха и испаренной влаги до температуры сушильного агента 20 %, и 30 % теплоты теряется в окружающую среду. Для исключения перечисленных недостатков предлагается новый метод сушки зерновых культур, основанный на кондуктивном нагреве материала в комбинации с применением механического перемешивания.

Сушка дисперсного пищевого продукта – это один из наиболее сложных процессов термообработки, поскольку в ее процессе меняется агрегатное состояние воды в объекте, изменяются свойства одного продукта, а иногда и его форма. Сушку большинства пищевых продуктов, предназначенных для питания, осуществляют предварительно нагретым воздухом. Исключение представляет сушка зерновых, при которой сушильным агентом является смесь топочных газов и воздуха. Непосредственный контакт продуктов сгорания с зерном ухудшает его качество в связи с возможным проникновением в продукт канцерогенных компонентов. А выброс топочных масс в атмосферу, которым сопровождается такой процесс, значительно ухудшает экологический фон.

Сушка является энергоемким процессом. Энергия, необходимая для превращения 1 кг воды в пар, составляет 2,7 МДж. Однако, сушильные технологии потребляют в 2,5 – 3 раза больше [5]. Меньшие затраты энергии характерны для комбикормовой и зерносушильной технологий. Но достигается это снижени-

ем экологической безопасности процесса, ведь сушильным агентом в этих технологиях является смесь топочных газов и воздуха. Для подавляющего большинства пищевых технологий удельные затраты составляют порядка 7 – 8 МДж на 1 кг испаренной влаги.

Эффективным путем комплексного решения проблем энергетики и экологии при термообработке дисперсных зерновых продуктов является использование в технологиях тепловых труб (ТТ) и термосифонов (ТС). В ТТ и ТС реализуется замкнутый испарительно–конденсационный цикл, который позволяет передавать большие тепловые потоки при малом перепаде температур на значительные расстояния. Кроме того, они еще обладают рядом теплотехнических, технологических и эксплуатационных достоинств. Для организации процесса сушки не требуется сжигания органического топлива, а вся полезная работа производится за счет электроэнергии.

Для решения этих вопросов были проведены экспериментальные исследования. Применение термосифонно–механического агрегата даст возможность решить поставленные задачи.

Термосифонно–механический агрегат (ТМА) состоит из корпуса, конденсатора, парогенератора, электропривода. Вращающийся термосифон представляет собой герметично закрытую полость, частично заполненную теплоносителем. При подводе теплоты к испарителю теплоноситель начинает кипеть, образующийся пар направляется в конденсатор, где конденсируется на стенках, отдавая теплоту фазового перехода охлаждающей среде. Пар перемещается за счет разности давления в испарителе и конденсаторе в результате уменьшения объема при конденсации пара. Конденсат под действием гравитационных сил движется обратно в испаритель. Таким образом, во вращающемся термосифоне реализуется замкнутый цикл. Продукт поступает в корпус сверху на нагретую поверхность конденсатора. Происходит нагрев продукта, одновременно сушка и его перемешивание, что предотвращает перегрев некоторых застойных зон, после чего высушенный продукт выгружается.

Проведен ряд опытов с вареным горохом, который используется в пищевом концентратной промышленности. Была исследована кинетика процесса (термограммы процесса и кривые сушки варено–плющеного гороха показаны на рис. 1 и 2) и рассчитаны удельные энергозатраты, затрачиваемые на испарение 1 кг влаги из продукта. Удельные энергозатраты составляют 3,1 МДж/кг, что гораздо ниже подобных показателей по другим типам сушильных аппаратов. Предложенная замена в действующей технологической линии по производству варено–плющеного гороха существующих на Одесском пищевом концентратном комбинате ленточных сушилок на ТМА показала энергетическую целесообразность его внедрения (снижение расчетных энергозатрат с 4,6 МДж на 1 кг производимого продукта).

Экспериментальная часть исследований была дополнена и другими культурами – зерном пшеницы и амаранта.

Скорость протекания процесса сушки, степень её завершенности зависит от способа подвода теплоты к материалу и от режима сушки. На рисунках 3 и 4 показаны зависимости кинетики сушки этих культур от давления (2, 1,75 и 1,5 атмосферы), которое создаётся внутри термосифона, являющегося греющей поверхностью ТМА. Увеличивая частоту оборотов термосифона до 40 об/мин достигали интенсификации процесса, так как продолжительность сушки снижалась до сорока минут, что показано на кривой сушки зёрен амаранта на рис. 5.

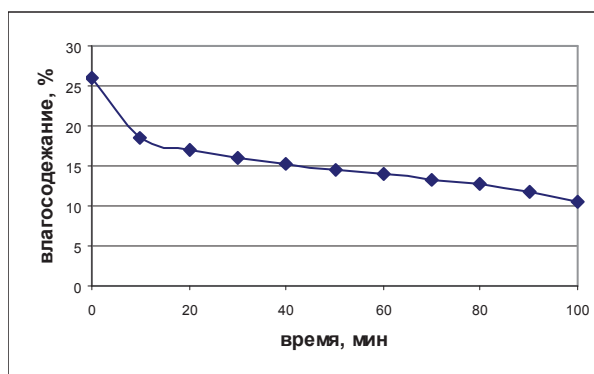


Рис. 1 – Кривая процесса сушки гороха в ТМА

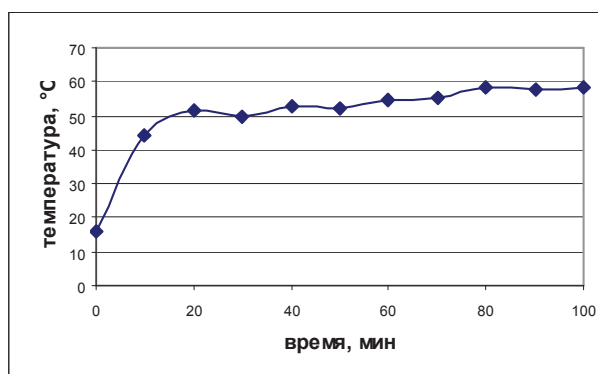


Рис. 2 – Термограмма сушки гороха в ТМА

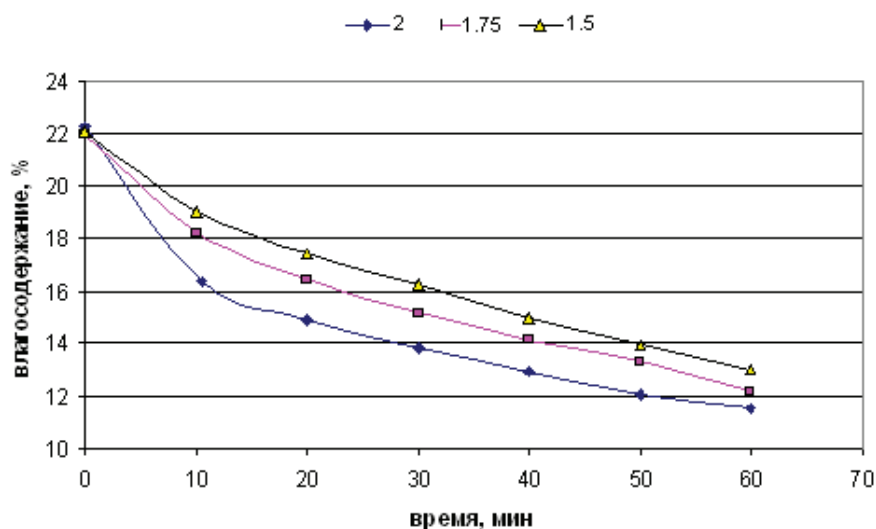


Рис. 3 – Кривые процесса сушки пшеницы в ТМА

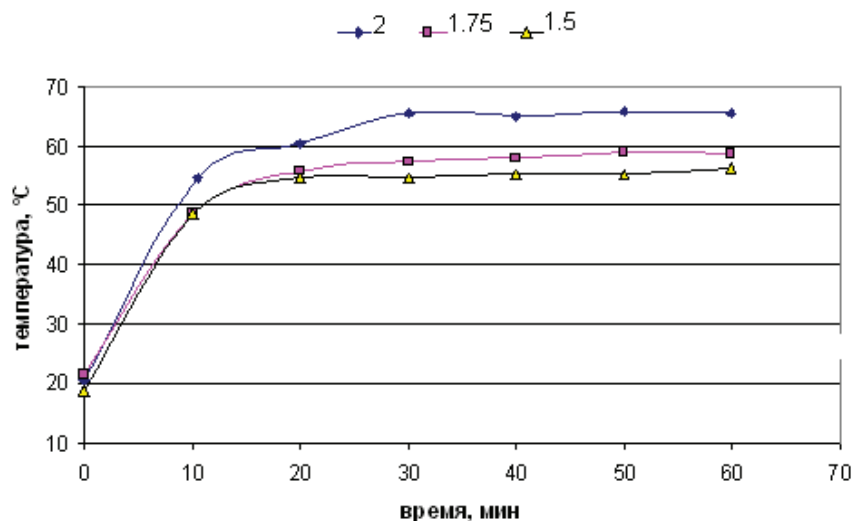


Рис. 4 – Термограммы сушки пшеницы в ТМА

Расчет продолжительности процесса сушки дисперсных материалов [9] выглядит так:

$$\frac{m}{V_n} \frac{dU}{d\tau} + k(U_0 - U)(U - U_p) = 0 \quad (1)$$

где m — масса дисперсного материала;

V_n — объем внутрипорового пространства;

U_0, U, U_p — начальное, текущее и равновесное влагосодержание;

k — коэффициент скорости сушки.

После разделения переменных и интегрирования решение уравнения (1) можно выразить через формулу времени сушки:

$$\tau = \frac{\rho_n}{(1 - \varepsilon) \cdot \Pi \cdot K \cdot (U_0 - U_p)} \cdot \ln \frac{(U_0 - U)(U_{p1} - U_{p2})}{(U_0 - U_p)(U_0 - U_{p1})} \quad (2)$$

где $\rho_n = \frac{m}{V_m}$ — насыпная плотность; V_m — объем дисперсного продукта; $\Pi = \frac{\rho_k}{\rho_u}$ — пористость;

ρ_k и ρ_u — кажущаяся и истинная плотность дисперсного материала;

ε — порозность слоя, которая связана с пористостью равенством $V_n = V_m(1 - \varepsilon)\Pi$;

U_{p1} и U_{p2} — начальное равновесное влагосодержание материала и на стадии прогрева.

Формула (2) удобна для обработки экспериментальных данных, так как угол наклона кинетических кривых к оси абсцисс определяет константу скорости сушки K . Время сушки равно среднему значению временных критериев тепловой обработки отдельных частиц материала. Продукт является в большей или меньшей степени неоднородным по конечному влагосодержанию. В непрерывно действующем термосифонно-механическом агрегате с вращающейся теплоотдающей поверхностью производится более тщательная обработка материала в целом и дисперсных частиц, что помогает снизить временной показатель и повысить однородность продукта по влагосодержанию на выходе.

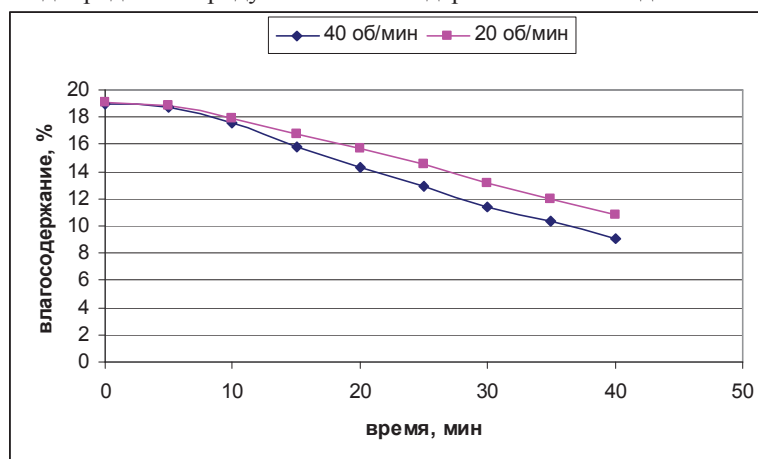


Рис. 5 – Зависимость продолжительности сушки амаранта от частоты оборотов термосифона в ТМА

Произведённые экспериментальные и расчетные исследования подтверждают перспективность промышленного использования термосифонно-механического агрегата при дополнительном проведении выбора режимов сушки различных зерновых культур в ТМА.

Литература

1. Рудобашта С.П. Фундаментальные исследования тепломассообмена при сушке // Материалы международной конференции СЭТТ-2005. – Московский государственный агроинженерный университет им. В.П.Горячкина. – Россия.
2. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками // Польша. – Пер. с польск. под ред. Щупляка И.А. – Л. – «Химия». – 1975. – 384 с.
3. Никитенко Н.И. Теория тепломассопереноса. – Киев: Наукова думка. – 1983. – 352 с.
4. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н. Кинетика и динамика тепломассопереноса при сушке слоя диспергированного коллоидного капиллярно-пористого материала // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: 2006. – Вип. 28. – Т. 2. – С. 140–146.
5. Бурдо О.Г., Воскресенська О.В., Донкоглов В.І. Тенденції розвитку зерносушильної техніки // Зернові продукти і комбікорми. – 2006. – № 2. – С. 48 – 53.
6. Безбах И.В., Бурдо О.Г. Термомеханический агрегат для дисперсных продуктов // Наукові праці ОДАХТ. – 1999. Вип. 21. – С. 234–237.
7. Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. Зерносушение и зерносушилки. – М.: Колос. – 1982.
8. Кришер О. Научные основы техники сушки // Пер. с нем. под ред. А.С. Гинзбурга. – М. – Издательство иностранной литературы. – 1961. – 539 с.