

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ СЫРЬЯ

Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Борщ А.А.

Одесская национальная академия пищевых технологий, г.Одесса, Украина

Рассмотрены схемы и механизмы переноса влаги при обезвоживании капиллярно-пористых тел. Для разных форм связи влаги анализируются механический, термический и диффузионный механизмы, определены движущие силы и коэффициенты скорости процессов. Показана перспективность обезвоживания в электромагнитном поле микроволнового диапазона частот. Предложен новый обобщенный комплекс, который учитывает специфику микро- и нанокинетики переноса влаги в продуктах. Дается пояснение механизмов процессов бародиффузионного влагопереноса в продукте. Представлены результаты испытаний ленточной сушилки с микроволновыми и инфракрасными генераторами энергии.

Moisture transfer schemes and mechanisms of capillary-porous materials dehydration are considered. Mechanical, thermal and diffusive mechanisms for different moisture linkage forms are analyzed, driving forces and velocity coefficients of processes are estimated. Perspectivity of dehydration in microwave frequencies range field is shown. A new generalized complex that takes into account a specificity of micro- and nanokinetics of moisture transfer in products is proposed. The explanation of barodiffusive moisture transfer process mechanism in a product is given. The tests results of the band drier with microwave and infrared energy generators are presented.

Ключевые слова: влагоперенос, диффузионный механизм, бародиффузия

Введение. Традиционные подходы [1, 2] в технологиях сушки столкнулись с непреодолимым противоречием. С одной стороны, для интенсификации процессов тепломассопереноса требуется увеличивать скорость (т.е. расход) сушильного агента. С другой стороны, чем больше расход теплоносителя, тем больше теряется тепловой энергии с выбросами установки. Представляется, что выход для решения обозначенного противоречия связан с изменением принципов подвода энергии к зерну. Новая техническая идея, которая защищается в этой работе, основывается на 2 положениях [2, 3]. Во-первых, следует снять с воздуха задачи теплоносителя, а оставить только задачи диффузионной среды, среды, которая обеспечивает эффективный «прием» влаги из продукта. Во-вторых, организовать объемный подвод энергии к продукту. Реализация первого положения позволит существенно сократить потери теплоты с отработавшим воздухом, а второго – серьезно сократить время процесса.

Механизмы переноса влаги из капиллярнопористых тел. Согласно общепринятой классификации П.А. Рабиндера существует 3 формы физической связи влаги с материалом. Представляется, что разные по физической сути виды связи требуют и разные механизмы их разрыва. Причем, это не обязательно должны быть только диффузионные процессы. Все определяют движущие силы, которые могут иметь разнообразную природу. В настоящее время созданы новые, перспективные виды оборудования, эффективность работы которых сложно объяснить с позиций современной теории сушки. Из этого следует:

- техника обезвоживания развивается стремительней, чем теоретические обоснования новых принципов удаления влаги;
- процессы удаления влаги из материала часто не соответствуют понятию «сушка», движущие силы этих процессов не отвечают диффузионным принципам;
- часто, обезвоживание – это комплекс комбинированных, сопряжено протекающих процессов, что требует корректного учета действительных механизмов переноса влаги.

Исходя из этого, анализируются возможные схемы переноса влаги (табл. 1). Представляется, что возникающие при описании процесса сушки проблемы объясняются тем, что авторы, сторонники феноменологического подхода, рассматривают сушку как некий один процесс с постоянными коэффициентами переноса и формируют модели из этих предположений.

В данной работе выдвигается гипотеза, что сушка – это результат действия, на принципе суперпозиции, по меньшей мере, трех процессов: перенос влаги с поверхности твердого тела, перенос влаги в стесненных условиях капилляров и десорбция влаги. Каждый из этих процессов характеризуется своим значением движущей силы и кинетическим коэффициентом скорости процесса. Для разных процессов эти параметры могут существенно отличаться. Каждый из трех процессов подчиняется своим законам переноса, и реализуются за счет разных механизмов (табл. 1).

Таблица 1 – Схемы и механизмы переноса влаги из капиллярнопористых тел

Форма связи влаги	Механизм удаления влаги	Процесс	Движущая сила процесса	Коэффициент скорости процесса
Поверхностная	Механический	Центрифугирование	Разность давлений	Скорость потока влаги
		Фильтрование		
	Термический	Среда перегретого пара	Разность температур	Коэффициент теплоотдачи
	Диффузионный	Конвективная диффузия	Разность парциальных давлений	Коэффициент массоотдачи
Капиллярная	Механический	гидродинамический	Разность давлений	Скорость потока влаги
	Термический	Испарение	Разность температур	Коэффициент теплоотдачи
	Диффузионный	Диффузия в стесненных условиях	Разность парциальных давлений	Коэффициент массоотдачи
Абсорбционная	Диффузионный	Десорбция влаги	Разность парциальных давлений	Коэффициент массоотдачи

Механическое удаление влаги с поверхности тела проводят при, так называемой «фильтрационной сушке». При удалении влаги в среду перегретого водяного пара осуществляется типичный теплоперенос испарением. Эти процессы нельзя называть «сушкой» и моделировать их диффузионными механизмами. И вопрос здесь не столько в терминологии, сколько в принципах построения полных моделей процессов обезвоживания.

Диффузионная модель сушки должна учитывать распределение во времени поверхностной влаги (U_P), влаги в капиллярах (U_K) и адсорбционно- связанной влаги (U_A). При такой постановке усложняется как граф тепловлагоденоса (рис.1), так и система уравнений А.В.Лькова, увеличится число феноменологических коэффициентов k_{ij} [4].

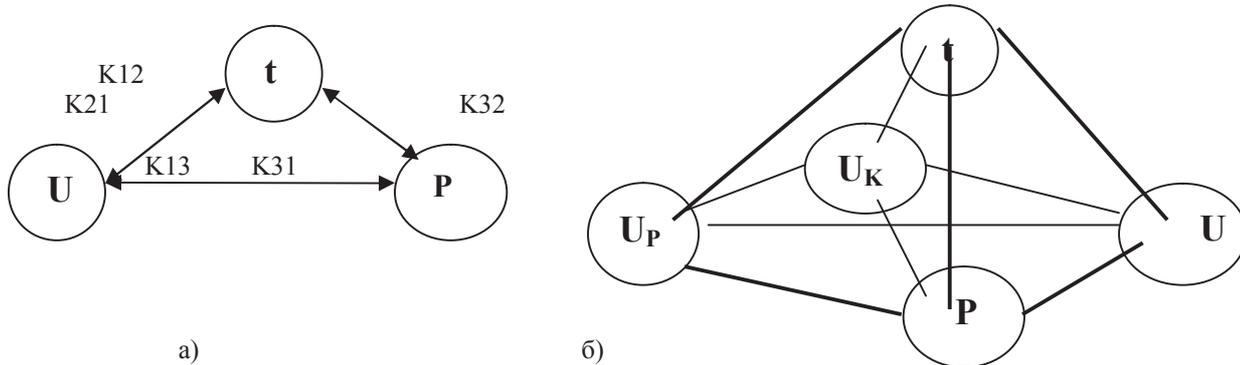


Рис. 1 – Граф тепловлагоденоса при сушке: а) – традиционный подход, б) – предлагаемая модель

Выдвинутая гипотеза не противоречит фундаментальным представлениям физики влажного капиллярно-пористого тела. Общеизвестна схема П.А.Ребиндера форм связи влаги [2]. Удаление влаги разных форм связи – это разные процессы со своими коэффициентами переноса, со своим потенциалом, движущей силой (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика основных процессов при сушке

№	Процесс	Механизм процесса	Движущая сила процесса	Кинетический коэффициент
1	Испарение влаги с поверхности	Конвективная диффузия	$a_{КРП} - P_B$	β_K
2	Испарение влаги внутри капилляров, пор	Конвективная диффузия в стесненных условиях	$a_{СРП} - P_B$	β_C
3	Десорбция влаги	Конвективная диффузия	$a_{ДРП} - P_B$	β_D

Попытка коррекции движущей силы с помощью показателя активности воды a_w известна в мировой практике [2].

Перспективным способом при организации процесса сушки является технология электромагнитной (ЭМ) обработки сырья, имеющая целый ряд важных отличий от традиционных методов обезвоживания.

Схема экспериментального стенда. Для проведения комплексных исследований был создан стенд, состоящий из камеры с электромагнитными микроволновыми и инфракрасными генераторами и лабораторных весов (рис. 2).



Рис. 2 — Стенд для исследования кинетики обезвоживания в электромагнитном поле

В качестве растительного сырья исследовалось зерно пшеницы и вареный горох. Продукт размещался плотным слоем, на подвесе весов в центре камеры. Экспериментальная часть исследований включала серии опытов с различными нагрузками (весом продукта) и различной мощностью ЭМ излучения подводимого к камере. Результаты измерения веса и температуры слоя фиксировались программно – аппаратным комплексом стенда.

В непрерывном режиме компьютер обрабатывал информацию, которая поступала с весов и от термомпар, и выводил на монитор линии трендов массы продукта, линии сушки и скорости сушки продукта, температуры продукта, воздуха в камере, сухого и влажного термометров на выходе воздуха из камеры (рис. 3).

Проведены опыты по сушке пшеницы в микроволновом поле (рис. 4).

При различной, но постоянной в каждой серии опытов мощности микроволнового излучения, изменялась удельная масса зерна в пределах $G=1.32-5.26$ кг/м². Данные о влагосодержании зерна регистрировались по показаниям электронных весов по балансу массы. По полученным в результате серии данным определены зависимости изменения влагосодержания зерна при неизменной мощности микроволнового излучения. При меньших мощностях динамика процесса пропорционально снижается. Снижение скорости сушки не наступало до окончания эксперимента. Также прослеживалась прямая зависимость между скоростью сушки и мощностью излучения.

Проведена серия опытов по исследованию процесса сушки вареного гороха в ИК-поле (рис. 5). Такая задача актуальна для пищевых концентратных производств.

Результаты опытов подтвердили высокую эффективность сушки.

Опытный образец установки. За основу для построения установки принят ленточный конструктив с модульным принципом компоновки сушильных секций. В качестве отправных точек для построения установки были выбраны следующие параметры: каждый из трех модулей должен включать микроволновую и инфракрасную камеры, скорость ленточного привода и производительность питателя должны регулироваться в широких пределах, мощность излучателей каждого модуля должна ступенчато регулироваться в пределах 30 – 100 % мощности магнетрона, регулирование мощности – импульсная модуляция. Предварительная исследовательская работа и опыт сотрудников кафедры позволили в короткий срок построить экспериментальную установку (рис. 5) и приступить к отработке основных технических решений и ее испытаниям.

Технические характеристики экспериментального образца приведены в [5].

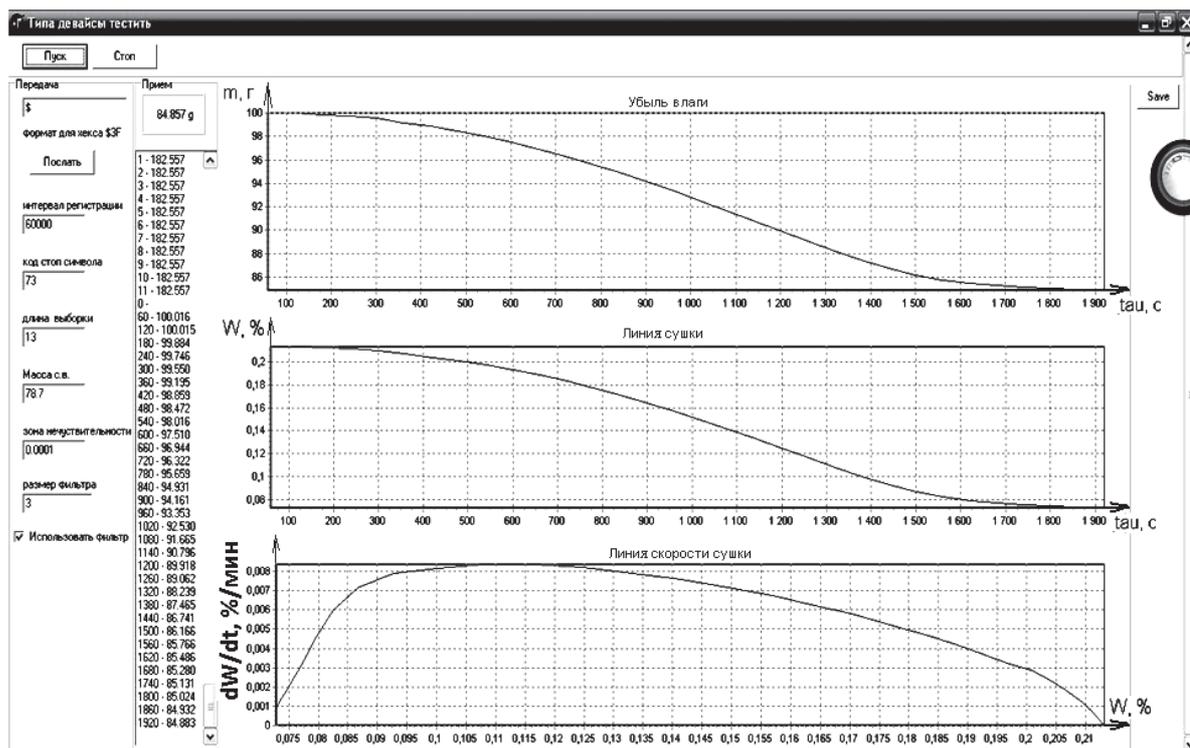


Рис. 3 – Разработанная компьютерная программа, обрабатывает сигнал с весов и выводит графики скорости и линии сушки

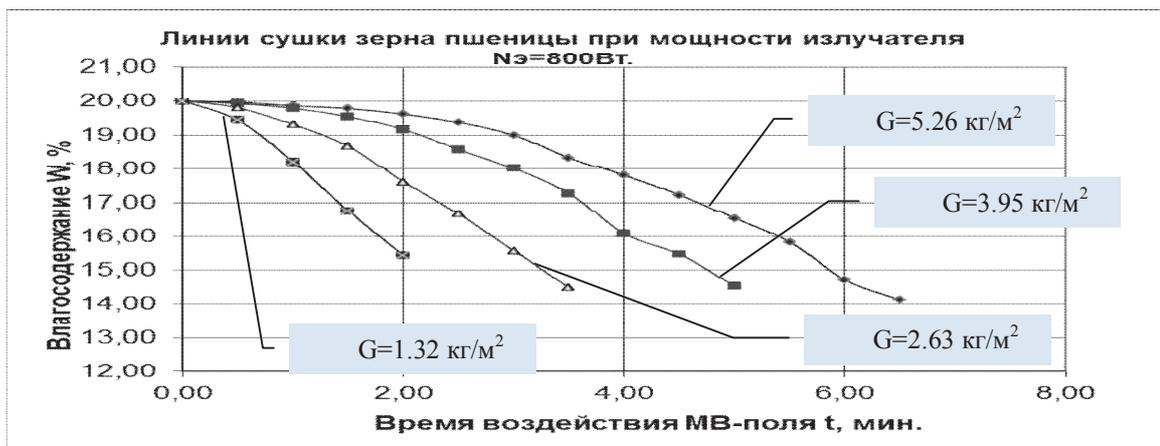


Рис. 4 – Кинетика сушки пшеницы в микроволновом поле

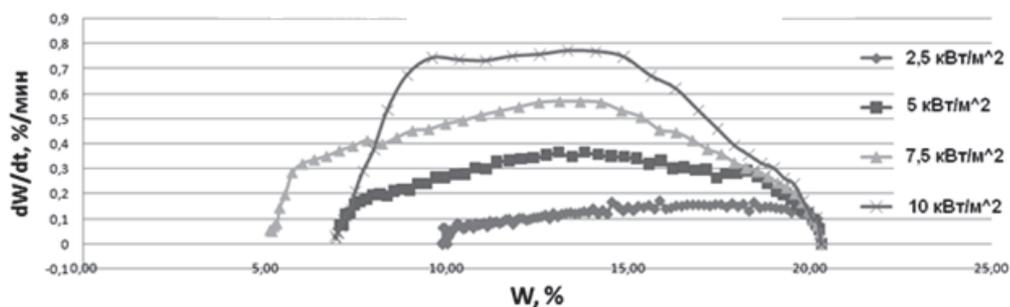


Рис. 5 – Влияние мощности подводимой энергии на скорость сушки вареного гороха



Рис. 6 – Экспериментальный образец микроволновой ленточной сушилки разработанной и изготовленной в ОНАПТ

Выводы.

Перспективный шаг в эволюции сушильных установок связан с задачей организации частичного механического обезвоживания, что возможно при комбинации бародиффузионных технологий и принципов фильтрационной сушки. Результаты комплексных исследований разработанного экспериментального образца микроволновой сушильной установки подтвердили перспективность предложенных технических решений для многоцелевой микроволновой и инфракрасной обработки растительного сырья. Естественно, что предложенные принципы требуют ряда конструкторских решений для обеспечения поточности, безопасности и производительности промышленных установок.

Литература

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.
2. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368с.
3. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. Энергетический аспект /Труды межд. науч. тех. сем. Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов. – Воронеж: 2010.- с. 478-487.
4. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Ружицкая Н.В. Исследование модуля ленточной сушилки растительного сырья с комбинированным электромагнитным подводом энергии// Труды IV Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов СЭТТ-2011)». – Т.1, Москва, 2011. – С. 422 – 426.
5. Бурдо О.Г., Яровой И.И., Ружицкая, Н.В. Борщ А.А. Новые принципы обезвоживания зернового сырья. /Зерновые продукты и комбикорма.- №1, 2012.-С.42-46.