

Исследование процесса уноса влаги сушеного абрикоса

Иваненко В.П*, КрысинА.Г*., Пеленко В.В.,
Усманов И.И. valdurtera@rambler.ru

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий,
Санкт-Петербургский торгово-экономический институт*

В настоящее время по-прежнему требуют дальнейшего уточнения механизмы термодинамических и массообменных процессов в капиллярно-пористых средах. В данной работе получены термогравиметрические кривые испарения влаги при сушке кураги, дан их анализ, получена аппроксимационная зависимость потенциала влагопереноса от влагосодержания.

Ключевые слова: дериватографический анализ, массоунос, энтальпия, кинетика сушки.

Повышение эффективности процессов сушки и сушильного оборудования является комплексной задачей, направленной на обеспечение качества продукции, снижение материало-, энерго- и ресурсоемкости техники.

В настоящее время проблема сушки пищевых материалов решается по нескольким основным направлениям, среди которых можно выделить аналитическое моделирование внешнего и внутреннего тепломассопереноса в условиях конвективной и комбинированной сушки, совершенствование на этой основе технологических процессов удаления влаги и создание прогрессивного сушильного оборудования.

В данной работе представлены материалы исследования процесса внешнего и внутреннего тепломассопереноса методом дериватографического анализа в условиях термического воздействия на продукт.

Экспериментальное получение кинетических кривых сушки пищевых материалов является реальной базой уточнения сложных механизмов внутренних термодинамических и физико-химических процессов в капиллярно-пористых средах, получения теплофизических характеристик исследуемых материалов для дальнейшего развития аналитической теории расчета процессов тепломассопереноса при сушке, а так же для разработки, расчета и проектирования сушильного оборудования.

Объектом исследования определены несколько видов сушеного абрикоса, являющегося коллоидным капиллярно-пористым материалом.

В результате явлений, развивающихся на поверхности раздела жидкой и твердой фаз происходит достаточно прочное (адсорбционное) связывание воды.

Кинетические характеристики массоуноса определяются энергией и формой связи влаги с твердым скелетом материала, которую по существующей классификации можно идентифицировать как свободную и связанную.

На первом этапе экспериментальных исследований, для осуществления сравнительного анализа закономерностей влагоудаления в процессе сушки, получены термогравиметрические кривые испарения свободной влаги, представленные на рисунке 1 и 2.

Характерное отличие графиков, отражающих массоунос поверхностной свободной влаги, заключающееся в различии ординат точек перелома на температурных кривых (94°C и 100°C), обусловлено различным исходным количеством поверхностной влаги ($27 \frac{\text{мг}}{\text{см}^2}$ и $91 \frac{\text{мг}}{\text{см}^2}$ соответственно).

Для первого варианта (рис.1) точка перелома температурной кривой имеет ординату 94°C (меньше температуры фазового перехода), так как к моменту достижения этой температуры вся исходная влага ($27 \frac{\text{мг}}{\text{см}^2}$) успевает испариться. Дальнейший подвод энергии вызывает повышение скорости роста температуры, в связи с окончанием процесса испарения, и температуры кюветы.

На втором рисунке температура воды достигает температуры фазового перехода в связи со значительным её количеством ($91 \frac{\text{мг}}{\text{см}^2}$).

Результаты дериватографических исследований тепломассообменных процессов при обезвоживании сушеного абрикоса представлены в виде временных зависимостей T, TG, DTG и DTA на рисунке 3.

Кривая T фиксирует изменения температуры исследуемого образца. Термогравиметрические кривые TG отражают изменение массы образца как функции температуры. Кривые дифференциально-термогравиметрического исследования DTG и дифференциально-термического анализа DTA характеризуют соответственно скорость уноса массы влаги и изменение теплосодержания образца.

Для кураги, на рисунке 3 представлена наиболее характерная дериватограмма, по которой можно судить о сущности протекающих

теплообменных процессов в капиллярно-пористом теле при наличии поверхностной влаги.

На участке НВ (Н'В'; Н"В", OT_B) происходит уже влаги с поверхности образца с незначительной скоростью, при этом теплосодержание на участке Н"А" (до значения $T_A=37^\circ\text{C}$) растет более интенсивно, чем на участке А"В", что обусловлено не только ростом температуры (как на всем участке OT_B), но и увеличением теплоемкости воды до максимального значения.

Участок АВ (А'В', А"В", T_A-T_B) характеризуется постоянно увеличивающейся скоростью массопереноса (А'В') и теплосодержания вследствие повышающейся температуры от $T_A=37^\circ\text{C}$ до $T_B=94^\circ\text{C}$.

После достижения температуры фазового превращения 100°C интенсифицируется процесс массоуноса, участок В'С', в пределах которого происходит удаление из образца капиллярной жидкой и паровой фазы.

Теплосодержание объяснимо падает, о чем свидетельствует ход кривой ДТА на участке В"С", в связи с интенсивным уносом массы влаги.

На участке CD (С'D') наблюдается снижение скорости удаления влаги вследствие завершения процесса молярного уноса остатков паровой фазы капиллярной влаги.

В этот же период времени из-за уноса всей физико-механически капиллярно связанной жидкой фазы температура клеточных структур растет от 100°C до $T_D=138^\circ\text{C}$ и давление внутри клеток достигает предела прочности клеточных оболочек, поэтому на участке DE (D'E') происходит вновь резкое увеличение скорости уноса теперь уже внутриклеточной жидкой фазы по формирующимся капиллярно-структурным каналам. Участок D"E" на кривой ДТА характеризует в этой связи снижение скорости нарастания энтальпии.

К моменту достижения образцом температуры $T_E=165^\circ\text{C}$ завершается удаление из него всей физико-механически связанной внутриклеточной влаги и скорость уноса массы резко падает, о чем свидетельствует участок E'F' кривой DTG, а так же E"F" кривой ДТА, где наблюдается увеличение скорости роста энтальпии.

Начиная с температуры $T_F=180^\circ\text{C}$ начинаются процессы разложения органических (жиров, белков, углеводов, аминокислот) и минеральных составляющих - пиролиз, то есть унос физико-химически связанной влаги.

Именно поэтому на участке F"К" кривой ДТА вновь наблюдается снижение скорости роста энтальпии.

Математическая обработка полученной серии дериватограмм позволила определить ориентировочные значения энергии различных видов связи влаги со структурой материала.

По результатам проведенных исследований процесса массоуноса влаги с поверхности кураги получена аппроксимационная зависимость потенциала влагопереноса от влагосодержания для рабочего диапазона температур (30-100°C) в виде соотношения, которое дает возможность вычислять свободную энергию:

$$\frac{\partial I}{\partial w} = -246,6w + 188,$$

где: I – энтальпия, w – влагосодержание, $\frac{кг}{кг}$.

Приведенное эмпирическое уравнение имеет соответствующие размерные числовые коэффициенты.

Дериватографические исследования производились на дериватографе системы Паулик-Эрдей Q-1000. Чувствительность термогравиметрического анализа (TG) составляла $2,5 \frac{мв}{мг}$, а дифференциально-термогравиметрического исследования (DTG) – $2,5 \frac{мв \cdot с}{мг}$, чувствительность дифференциально-термического анализа (ДТА) составляла – $200 \frac{мв \cdot с}{Дж}$. Скорость нагрева образцов после многократных исследований, была выбрана равной 5°C в минуту. Нагрев всех образцов осуществлялся в основном до 450°C. Масса образцов составляла около 240 мг.

Список литературы

1. Берг Л.Г. Введение в термографию.-М.: Наука, 1969.-368с.
2. Репринцева С.М., Федорович Н.В. Новые методы термообработки и сушки химико-фармацевтических препаратов. - Минск: Наука и техника, 1979.
3. Иваненко В.П. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Л.: ЛИСТ им.Ф.Энгельса, 1990.-219с.

Study of moisture removal from dried apricots

Ivanenko V.P., Krysin G., Pelenko V.V., Usmanov I.I., valdurtera@rambler.ru

Saint-Petersburg State University of Refrigeration
and Food Engineering
Saint-Petersburg Institute of Trade and Management

Nowadays, as before, thermodynamic and mass transfer processes in capillary-porous media need to be specified. The paper presents thermal gravimetric curves for evaporation of moisture from dried apricots being dried, the curves being analyzed, and an approximation dependence of moisture removal potential on moisture content being obtained.

Key words: derived graphic analysis, mass transfer, enthalpy, kinetics of drying.

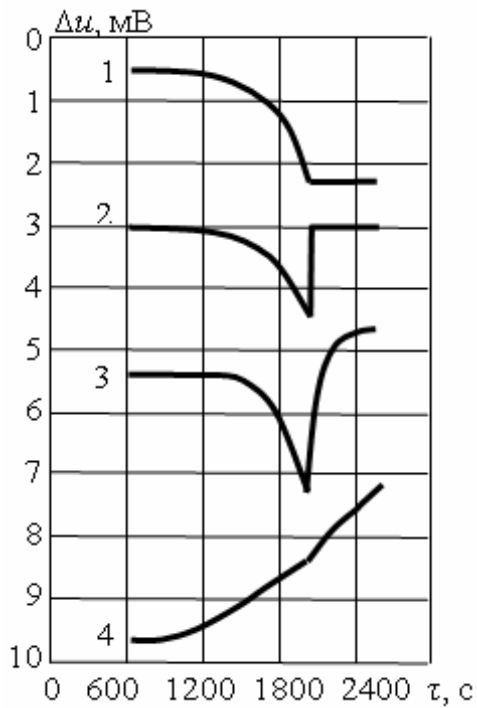


Рис. 1. Дериватограмма испарения свободной
влаги, $m_0 = 27 \text{ мг/см}^2$:
1 – TG; 2 – DTG; 3 – DTA; 4 – T

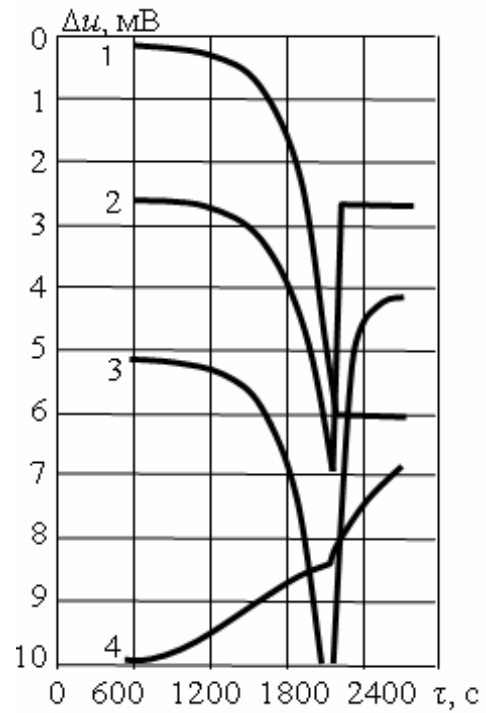


Рис. 2. Дериватограмма испарения свободной
влаги, $m_0 = 91 \text{ мг/см}^2$:
1 – TG; 2 – DTG; 3 – DTA; 4 – T

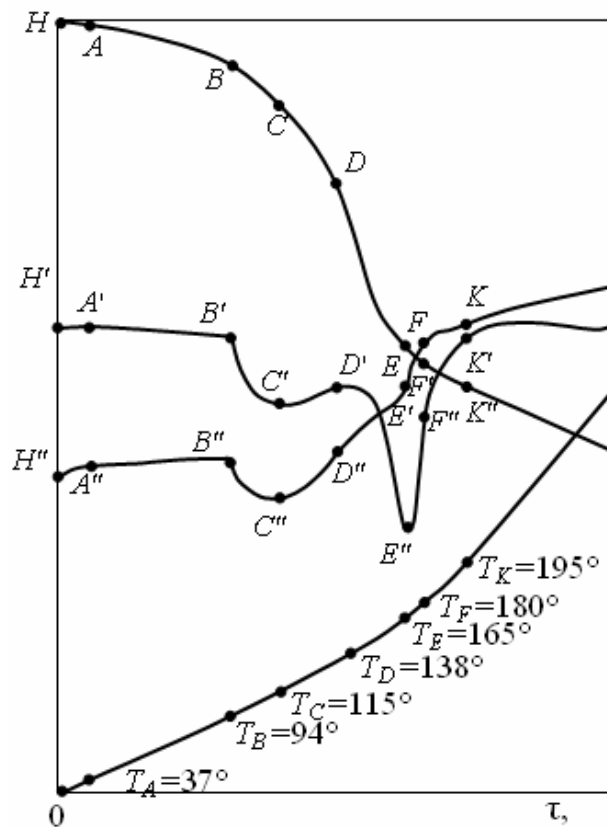


Рис. 3. Дериватограмма сушки кураги