

УДК 664.123.6

А.Ф. Буляндра, Н.В. Иващенко

## ОБОБЩЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВЛАГОПЕРЕНОСА В ПРОЦЕССАХ СУШКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Украинский государственный университет пищевых технологий

Разнообразие пищевых продуктов и их массообменных характеристик требует проведения широкомасштабных трудоёмких экспериментов при исследовании процессов сушки. Поэтому разработка методов обобщения процессов сушки влажных дисперсных материалов, имеет большое практическое и теоретическое значение.

В связи с поставленной целью разработана усовершенствованная классификация влажных пищевых продуктов, исходя из их основных тепломассообменных свойств (табл. [1]). В качестве основных определяющих свойств нами приняты количество компонент системы, их агрегатное состояние и характер взаимодействия частиц дисперсной фазы.

При изучении массопереноса в процессах сушки в сильноструктурированных материалах, отнесенных к группе малопористых, установлено, что одни продукты обладают сравнительно небольшой усадкой и растрескиваются (макаронны), другие, имея значительную усадку, не растрескиваются. К последним можно отнести продукты растительного происхождения. Основу их клеточного строения составляет протоплазма (вакуоли с клеточным соком), которая имеет сложную наружную клеточную оболочку образующую твердый каркас (форму) клетки. Клеточная оболочка содержит ферменты способствующие переносу веществ из внешней среды к внутренним слоям клетки путем превращения веществ, нерастворимых в мембранах, в растворимые. Оболочка клетки обладает свойством полупроницаемости, благодаря чему в клетку проникают жидкости меньшей концентрацией растворенных веществ по сравнению с веществами клетки. Материалы, которые растрескиваются во время сушки, не имеют классического клеточного строения, а состоят из мельчайших частиц, которые взаимодействуют между собой за счет вандерваальсовых сил. В растительных материалах осмотически-связанная влага находится внутри клеток в полупроницаемых мицеллах. Осмотическое проникновение во внутрь происходит без выделения тепла и сжатия системы.

Осмотически связанная вода не отличается от обычной, при сушке перемещается внутри материала без фазового превращения – в виде жидкости. При более высокой концентрации растворимых веществ в наружных слоях материала влага осмотически диффундирует в эти слои через полупроницаемые стенки клеток. Таким образом, процесс удаления этой влаги аналогичен и противоположен осмотическому проникновению во внутрь клеток.

Как видно из приведенного, движущими силами в процессе массопереноса в сильноструктурированных малопористых материалах выступают разные силы и механизм переноса влаги имеет существенные различия, что вызывает необходимость разработки разных режимов сушки.

Приведенная классификация дает возможность отдельные продукты из разных групп рассматривать как эталонные и зная рациональные режимы их сушки прогнозировать режимы сушки и других продуктов этой группы.

Объектом исследования представителя связнодисперсной сильноструктурированной системы был выбран свекловичный жом. Продукты этой группы дают значительную усадку в процессе сушки. Однако, их растительные клетки обладают значительной эластичностью, вследствие этого усадка не приводит к образованию критических внутренних напряжений и трещин. Большое количество свободносвязанной влаги ( $u_0=600-300\%$ ) и отсутствие опасности трещинообразования позволяет сушить их с применением высокоинтенсивных методов подвода энергии: конвективно-радиационные, конвективно-радиационные

Таблица 1

## Классификация влажных дисперсных пищевых продуктов

Характер взаимодействия частиц дисперсной среды			Свободнодисперсные (бесструктурные)		Связнодисперсные (структурированные)								
Количество компонентов и их агрегатное состояние	Характер взаимодействия влаги с материалом	Структурные изменения при взаимодействии материалов с влагой	Микрогетерогенные жидкостные системы ( $d < 5 \mu\text{м}$ )	Макрогетерогенные системы (механические смеси)	Коагуляционные				Кристаллизационные				
					Слабоструктурированные (порошкообразные)		Сильноструктурированные		Слабоструктурированные (порошкообразные)		Сильноструктурированные		
					Малая пористость	Большая пористость	Малая пористость	Большая пористость	Малая пористость	Большая пористость	Малая пористость	Большая пористость	
Рас-трес-кива-ются	Не рас-трес-кива-ются												
Т+Р+Г	Поверхностно-объемный	Набухают, а при сушке дают усадку		Засыпка зерна	Крахмал, картофельное пюре	Мука	Макаронные изделия	Растительные продукты	Сухари				
	Поверхностный	Диспергируются и растворяются	Суспензии							Пищевая сода, лимонная кислота	Сахар-песок, соль, кухонная я	Кукурузный сахар	Сахар-рафинад
Р+Р			Эмульсии (молочные продукты)										

применением соплового обдува, и другие интенсивные методы подвода теплоты. Выбор оптимального режима требует проведения широкомасштабных экспериментов при исследовании процессов сушки. Использование выше приведенных обобщенных кривых сушки даёт возможность значительно сократить этот трудоёмкий процесс. Использование низкотемпературных режимов для сушки связнодисперсных сильноструктурированных пищевых продуктов, обусловлено тем, что данные режимы позволяют получить качественный конечный продукт с наименьшими потерями вкусовых и ароматических свойств, что является очень важным для их дальнейшего использования.

По результатам проведенных экспериментов низкотемпературной сушки жома сахарной свеклы, построены обобщенные кривые в координатах  $u=f(N\tau)$  при разных начальных влагосодержаниях  $u_0$ . Опыты показали, что соотношение  $N\tau = \text{const}$  даёт достаточно точное совпадение расчетных и экспериментальных данных как в период постоянной скорости, так и в период падающей скорости сушки. В диапазоне комплексной величины  $N\tau$  от 0 до 500, экспериментальные данные практически совпадают с расчетными кривыми. В дальнейшем наблюдается некоторое отклонение от обобщенной кривой в пределах допустимой точности. Максимальное отклонение наблюдается в конце процесса сушки.

Математический анализ и обработка экспериментальных данных подтвердили, что с достаточной степенью точности можно использовать уравнение (1) для вычисления необходимого значения поточного влагосодержания  $u_x$  для данной группы продуктов:

$$u_x = u_1 + \frac{(u_{0x} - u_{01}) \cdot (u_2 - u_1)}{u_{02} - u_{01}} \quad (1)$$

где  $u_{0x}$ ,  $u_{01}$ ,  $u_{02}$  — соответственно начальное влагосодержание для расчетного поточного влагосодержания и двух кривых сушки при фиксированном значении  $N\tau$ ,  $u_1$ ,  $u_2$  — соответственно поточное влагосодержание для двух кривых при тех же значениях  $N\tau$ .

Таким образом, данные исследования позволяют в дальнейшем подобрать рациональный режим сушки для жома сахарной свеклы и прогнозировать режимы сушки и других продуктов связнодисперсных сильноструктурированных систем.

#### Литература:

1. Буляндра А.Ф., Бессараб А.С. Определяющие сушильные свойства пищевых продуктов и их классификация. Промышленная теплотехника, 1990, т. XII, № 6, с. 18-24
2. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Ершова Н.Г. Течение в поверхностных слоях при испарении воды из капилляров. — ДАН СССР, 1968, т. 182, №2, с. 368-371
3. Филоненко Г.К., Гришин М.А. и др. Сушка пищевых растительных материалов. «Пищевая промышленность», М., 1971
4. Красников В.В. Кондуктивная сушка. Энергия, М., 1973, 288с.