

УДК 664.854/859.66.047

Аспирант Е. Ю. Желтоухова

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра процессов и аппаратов химических и пищевых производств, тел. (473) 255-35-54

Исследование влияния радиационно-конвективной сушки на технологические свойства чипсов из хурмы

Приведены результаты исследований по усадке чипсов, а также характера развития объемно-напряженного состояния по неравномерному распределению полей влагосодержания и температуры внутри чипсов.

Study of shrinkage of persimmon chips, as well as the nature of the volume-stressed state of the uneven distribution of moisture and temperature fields inside the chips from persimmon.

Ключевые слова: радиационно-конвективная сушка, усадка, растрескивание, хурма, чипсы.

Сушка фруктов является не только теплотехническим, но и технологическим процессом, в котором изменяются технологические свойства сырья. Правильно организованный процесс сушки позволит минимизировать ухудшение технологических свойств готового продукта. У высушенных при рациональных режимах фруктов увеличивается срок хранения, а также сокращаются потери термолабильных веществ и витаминов.

Исследовали усадку чипсов из хурмы при радиационно-конвективной сушке, а также характер развития объемно-напряженного состояния в зависимости от неравномерного распределения полей влагосодержания и температуры внутри чипсов.

Во всех случаях рациональный режим сушки должен определяться технологическими свойствами материала и закономерностями их изменения при удалении влаги и при воздействии теплоты. Технология сушки является решающим фактором при выборе метода сушки.

Технологические свойства фруктов в самом широком понимании этого слова (физико-химические, структурно-механические, биохимические и т. д.) зависят от формы или вида связи поглощаемого вещества (влаги) с веществом сухого материала и от механизма переноса влаги и теплоты [1]. Коробление и растрескивание материала при сушке зависят от развития полей влагосодержания и температуры внутри фруктов.

© Желтоухова Е.Ю., 2012

Размеры большинства материалов в процессе сушки уменьшаются. Это явление называется усадкой материала [2].

Ряд фруктовых и овощных чипсов, например, чипсов из хурмы, дает усадку не на протяжении всего процесса, а только в периоде постоянной скорости сушки, причем усадка прекращается примерно при достижении критической влажности, если градиент влажности

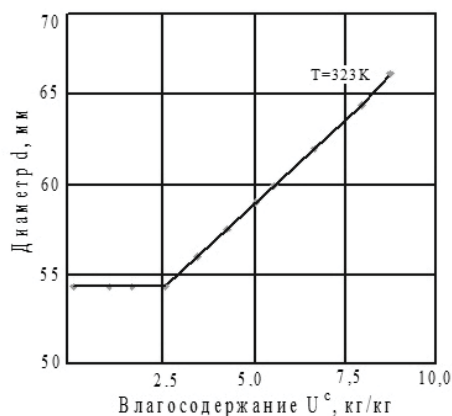


Рис. 1. Кривые усадки чипсов из хурмы при температуре 323 К

внутри высушиваемого продукта незначителен [3].

На рис. 1 показана зависимость изменения размера чипсов из хурмы от влагосодержания в процессе радиационно-конвективной сушки при температуре 323 К. По оси ординат отложен линейный размер (диаметр дольки

в мм), а по оси абсцисс – влагосодержание в [кг/кг].

Рис. 1. показывает, что усадка дольки хурмы происходит не в течение всего процесса сушки, а только до определенного влагосодержания, приблизительно равного первому критическому влагосодержанию.

Изменение линейных размеров долек хурмы с уменьшением влагосодержания происходит по закону прямой. Эта линейная зависимость подтверждается многочисленными экспериментами по сушке разнообразных материалов и имеет место, когда градиент влагосодержания внутри дольки невелик.

Таким образом, если обозначить размер материала (диаметр) через d при влагосодержании его W , то можно записать:

$$d = d_0 (1 + \beta_d U^c),$$

где d_0 – начальный диаметр дольки, м; β_d – коэффициент объемной усадки; U^c – текущее влагосодержание продукта, кг/кг.

С повышением температуры коэффициенты усадки уменьшаются, что объясняется увеличением градиента влагосодержания внутри дольки хурмы. При наличии градиента влагосодержания поверхностные слои стремятся сократиться больше по сравнению с внутренними. Однако сжатие поверхностных слоев препятствуют внутренние, влагосодержание которых больше. Вследствие этого усадка поверхностных слоев меньше той, которая должна была соответствовать удаленной из них влаге. Следовательно, увеличение перепада влагосодержания между внутренними и поверхностными слоями сопровождается увеличением разницы между действительной усадкой и возможной усадкой, соответствующей количеству удаляемой жидкости.

Препятствием для быстрой сушки хурмы и других продуктов является их растрескивание. Причина появления трещин, а также полное разрушения – развитие объемно-напряженного состояния хурмы свыше предельно допустимого, обусловленного прочностью материала.

Сушку хурмы радиационно-конвективным способом проводили в следующих диапазонах изменения технологических параметров: температура воздуха – 293 К; скорость воздуха на входе в камеру – 0,3-1,6 м/с. Радиационно-конвективную сушку проводили: длину волн ИК-лучей изменяли в диапазоне 1,16-1,65 мкм, плотность теплового потока – 2,69-5,44 кВт, толщину пластин хурмы – $1,5 \cdot 10^{-3}$ м, а расстояние

от продукта до поверхности ИК-лампы – 0,32 м. Предварительно мытую хурму нареза-ли дольками (пластинами) толщиной 1,5 мм. Нарезанные дольки хурмы подвергали комбинированной радиационно-конвективной сушке. Причем нагрев хурмы проводили ИК-лучами при одновременном конвективном обдуве воздухом для удаления из продукта водяных паров.

В процессе сушки, сопровождающейся переносом теплоты и массы влаги, происходили изменения технологических свойств высушиваемой хурмы. В первую очередь, изменялись структурно-механические свойства хурмы, которые при некоторых режимах сушки приводили к растрескиванию и короблению. Исследования структурно-механических свойств хурмы проводились с целью выявления особенностей физико-химических изменений структуры в процессе сушки, которые определяют качество готовой продукции.

Трещинообразование или растрескивание, т. е. локальное разрушение структуры хурмы, происходило в результате развития объемно-напряженного состояния внутри долек (пластин) хурмы. Напряженное состояние в процессе сушки хурмы создается неравномерным распределением полей температуры и влагосодержаний. В качестве критерия трещинообразования можно принять относительный перепад между средним $\bar{u}$ и локальным u влагосодержанием по отношению к начальному влагосодержанию $\bar{u}_0$, т. е. $K = (\bar{u} - u) / \bar{u}_0$ [1].

Если трещинообразование происходит на поверхности хурмы в первый период сушки, то $u = u_n$. При параболическом законе распределения влагосодержания перепад равен $(\bar{u} - u_n) = (2/3)\Delta u$, где Δu – разность влагосодержаний между центральными и поверхностными слоями ($\Delta u = u_n - u_n$). В этом случае

$$K_n = \frac{2(u_n - u_n)}{3\bar{u}_0} = \frac{\bar{u} - u_n}{\bar{u}_0}. \quad (1)$$

Для периода постоянной скорости при параболическом законе распределения влагосодержания и температуры имеются следующие соотношения:

$$\frac{u_0 - u_i}{\bar{u}_0} = \frac{1}{2} \text{Ki}_m + \frac{t_0 - t_i}{T_c} \text{Pn}, \quad (2)$$

где Ki_m и Pn – критерий Кирпичева и Поснова.

При мягких режимах перепад температу-

ры в первом периоде сушки отсутствует ($t_{\text{н}} = t_{\text{п}}$), тогда относительный перепад влагосодержаний $\left(\frac{u_{\text{н}} - u_{\text{п}}}{\bar{u}_0} \right)$ будет прямо пропорционален критерию Кирпичева. Сравнивая (1) и (2), получаем:

$$K_{\text{п}} = K_{\text{и}} / 3.$$

Для удобства расчета принимаем в качестве критерия поверхностного трещинообразования критерий $K_{\text{и}}$, который в 3 раза больше критерия $K_{\text{п}}$. Определяя критерий $K_{\text{и}}$ в момент трещинообразования, можно установить зависимость максимально допустимого критерия $(K_{\text{и}})_{\text{max}}$ от влагосодержания.

На рис. 2 дана зависимость между $(K_{\text{и}})_{\text{max}}$ и влагосодержанием на поверхности хурмы при одинаковом начальном влагосодержании. Видно, что приближенно можно считать критерий $(K_{\text{и}})_{\text{max}}$ линейной функцией влагосодержания на поверхности.

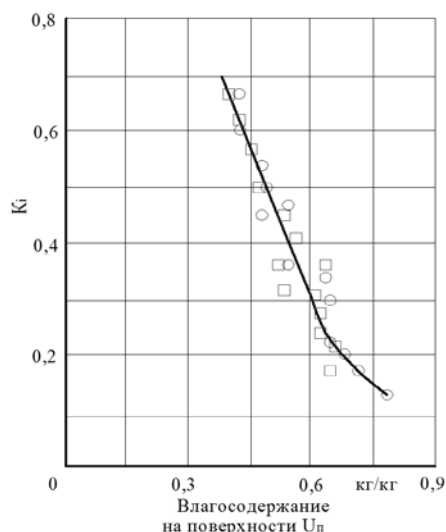


Рис. 2. Зависимость между максимально допустимым критерием $(K_{\text{и}})_{\text{max}}$ и влагосодержанием на поверхности хурмы

При сушке хурмы на подложке без ограничителей происходит образование пор типа пузырей. Причиной порообразования является расширение пузырьков пара, которые образуются в хурме в результате испарения жидкости.

Поры образуются не в начале процесса, когда интенсивность сушки максимальна (период постоянной скорости сушки), а в начале

периода падающей скорости (около критической точки). Чтобы уменьшить коробление, растрескивание, необходимо создать одинаковую скорость влагоотдачи с обеих поверхностей хурмы. Для этого надо разработать ступенчатый режим, который позволит получать чипсы более высокого качества.

По экспериментальным данным был подобран ступенчатый режим сушки чипсов из хурмы. На первом этапе порезанные дольки хурмы толщиной 1,5 мм нагревают ИК-лучами до температуры 321 К при одновременном обдуве воздушным потоком со скоростью 1,5 м/с в течение 18 мин; на втором этапе – до температуры 330 К при скорости воздушного потока 1,0 м/с в течение 22 мин; на третьем этапе – до температуры 335 К при скорости воздушного потока 0,5 м/с в течение 20 мин, затем на высушенные до конечной влажности 7-8 % дольки хурмы наносят сахарный сироп с вкусовыми добавками (таблица).

Т а б л и ц а
Ступенчатый режим сушки хурмы

Но- мер этапа	Температу- ра продукта T , К	Ско- рость воздуха v , м/с	Время, τ , мин
1	321	1,5	0 - 18
2	330	1,0	18 - 40
3	335	0,5	40 - 60

Использование переменного теплоподвода позволит интенсифицировать процесс сушки, сократить время сушки хурмы. Применение щадящих температурных режимов, максимально адаптированных к основным кинетическим закономерностям, позволит снизить негативное воздействие на термолабильные вещества в хурме и повысить их качество.

Проведенные исследования химического состава и показателей качества полученных чипсов из хурмы показали их высокую пищевую ценность, обусловленную хорошей сохранностью ценных термолабильных веществ благодаря применению «мягких» температурных режимов сушки и высокой интенсивности влагоудаления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков, А. В. Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
2. Гинзбург, А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов [Текст] / А. С. Гинзбург – М.: Пищевая пром-сть, 1973. – 528 с.
3. Муштаев, В. И. Сушка дисперсных материалов [Текст] / В. И. Муштаев, В. М. Ульянов. – М.: Химия, 1988. – 352 с.