

УДК 663.674.04

Определение коэффициента диффузии влаги при вакуум-сублимационной сушке сгущенных кумыса и шубата, обогащенных растительными добавками

Д-р техн. наук У. Ч. ЧОМАНОВ, канд. техн. наук А. У. ШИНГИСОВ

Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей
и пищевой промышленности

050060, Казахстан, г. Алматы, пр. Гагарина, 238 «г»

In work are resulted a technique of definition of factor of diffusion of a moisture at vacuum-sublimation drying of the condensed sour-milk products and results of comparison settlement and experimental data on vacuum-sublimation drying of koumiss and schubat, enriched by vegetative additives.

Keywords: factor of diffusion of a moisture, vacuum-sublimation drying, specific humidity of a product, activity of water.

Ключевые слова: коэффициент диффузии влаги, вакуум-сублимационная сушка, удельная влажность продукта, активность воды.

В настоящее время перед работниками молочной промышленности стоят задачи по повышению качества выпускаемой экспортоориентированных продуктов питания. В этом направлении для Республики Казахстан перспективным является выпуск новых видов кисломолочных продуктов на основе кобыльего и верблюжьего молока, кумыса и шубата. Кумыс и шубат относится к скоропортящимся кисломолочным продуктам и их выработка носит сезонный характер. Поэтому, с целью круглогодичного равномерного обеспечения потребности населения и лечебно-профилактических учреждений, их подвергают сушке. С точки зрения максимального сохранения исходных качеств высушиваемых продуктов наиболее перспективной является вакуум-сублимационная сушка [1, 2].

Вакуум-сублимационная сушка продуктов является сложным процессом, для которого характерны одновременно протекающие процессы испарения с поверхности и диффузии влаги из внутренних слоев продукта, в результате чего изменяются теплофизические и термодинамические свойства продукта.

Интенсивность протекания этих процессов зависит от многих параметров и в том числе от коэффициента диффузии влаги. Коэффициент диффузии влаги зависит не только от теплофизических, термодинамических свойств продукта, но и от формы связи влаги содержащейся в продукте.

В настоящее время, исследователями в области пищевой промышленности, предложены различные методы определения коэффициента диффузии влаги, которые приведены в работах [3, 4].

На основании исследования закономерностей тепло- и массообменных процессов с позиции термодинамики при вакуум-сублимационной сушке продуктов в замороженном состоянии предлагается формула для определения коэффициента диффузии влаги, использующая в качестве движущей силы разность термодинамического показателя активности воды и относительной влажности воздуха [5]:

$$D_m = \frac{\chi}{\rho_0} \frac{\nabla(a_w - \varphi)}{\nabla u} \quad (1)$$

где χ — кинематический коэффициент, характеризующий скорость переноса влаги, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$,

$$\chi = 0,622 \frac{\alpha_T}{\mu C_p} \frac{P_B''}{B};$$

φ — относительная влажность воздуха, %; ρ_0 — плотность сухих веществ, $\text{кг}/\text{м}^3$; a_w — активность воды, дол. ед.; u — удельная влажность продукта, $\text{кг}/\text{кг}$.

В формуле (1) изменение влажности продукта в процессе вакуум-сублимационной сушки определяется по графику изотермы сушки экспериментальным путем. Для построения графика изотермы сушки была использована методика определения поля влажности приведенная в работе [6]. Согласно этой методике, исследуемый продукт толщиной 0,006 м, диаметром 0,135 м и массой 0,006 кг разделяется марлевыми прослойками на 6 слоев (по 0,001 м каждый слой). Это позволяет отделять друг от друга равные по толщине слои для замораживания с последующей сублимационной сушкой. Замороженные слои, строго одинаковых размеров, толщиной 0,001 м, диаметром 0,135 м и массой 0,001 кг подвергаются вакуум-сублимационной сушке в СВЧ-поле. Взвешивание каждого высушиваемого слоя проводится с интервалом в 2 ч.

Изменение влажности продукта в текущий момент времени рассчитывается по формуле

$$W_n^c = \frac{G_{\text{вл}} - (G_n - G_n)}{G_{\text{с.в.}}} 100 \% \quad (2)$$

где W_n^c — влажность продукта по сухому веществу в момент замера, %; G_n — начальный вес образца, г; G_n — вес образца в момент замера, г; $G_{\text{вл}}$ — вес влаги в исследуемом образце, г; $G_{\text{с.в.}}$ — вес абсолютно сухих веществ, определяемый в начале эксперимента для данного веса образца, г.

Параметры G_n и G_n определяются из диаграммы записи изменения веса в процессе вакуум-сублимационной сушки.

Для определения изменения показателя активности воды продукта в процессе сушки продукта в замороженном состоянии использовали уравнение, предложенное в работе [7]:

$$a_w = \exp \left[-\frac{L}{RT} \ln \left(\frac{1}{\left(1 - \frac{\omega u}{u-b} \right) + \frac{273\omega u}{(u-b)T}} \right) \right] \quad (3)$$

где L — теплота фазового перехода, кДж/кг; R — газовая постоянная, кДж/(кг · К); T — температура, К; ω — количество вымороженной воды, дол. ед.; b — коэффициент учитывающий прочно связанной влаги в продукте.

Для определения относительной влажности воздуха был использован психрометрический метод, описание которого приведено в работе [1].

Для подтверждения предложенной формулы (1) на практике проведены исследования по замораживанию и сушке кисломолочных про-

дуктов. В качестве объекта исследования были выбраны сгущенные кисломолочные продукты на основе кумыса и шубата, обогащенные растительными добавками (морковь, тыква, свекла) и полученные по разработанной нами технологии [8, 9]. При проведении экспериментальных исследований были сняты термограммы замораживания и изотермы сушки сгущенных кисломолочных продуктов, результаты которых приведены на рис. 1.

Полученные термограммы замораживания позволили найти криоскопическую температуру исследуемых продуктов. Для выбранных объектов исследования она составила для сгущенного кумыса, обогащенного соком моркови $-1,5^\circ\text{C}$, тыквы $-1,8^\circ\text{C}$, свеклы -2°C ; для сгущенного шубата обогащенного соком моркови $-1,7^\circ\text{C}$, тыквы -2°C , свеклы $-2,2^\circ\text{C}$.

На основании изотермы сушки были определены коэффициенты диффузии влаги в сгущенных кисломолочных продуктах на основе кумыса и шубата, обогащенных растительными добавками, которые показаны на рис. 2.

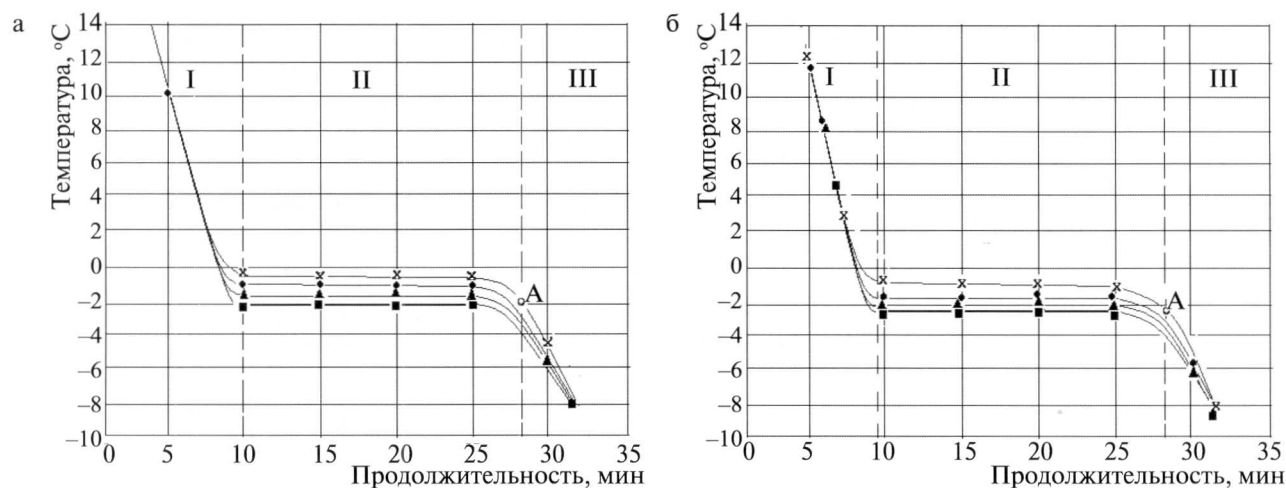


Рис. 1. Термограмма замораживания:

а — сгустки кумыса, обогащенные растительными добавками; *б* — сгустки шубата, обогащенные растительными добавками;
 x — кумыс (шубат); сгущенный кумыс (шубат), обогащенный соком:
 ● — моркови; ▲ — тыквы; ■ — свеклы.

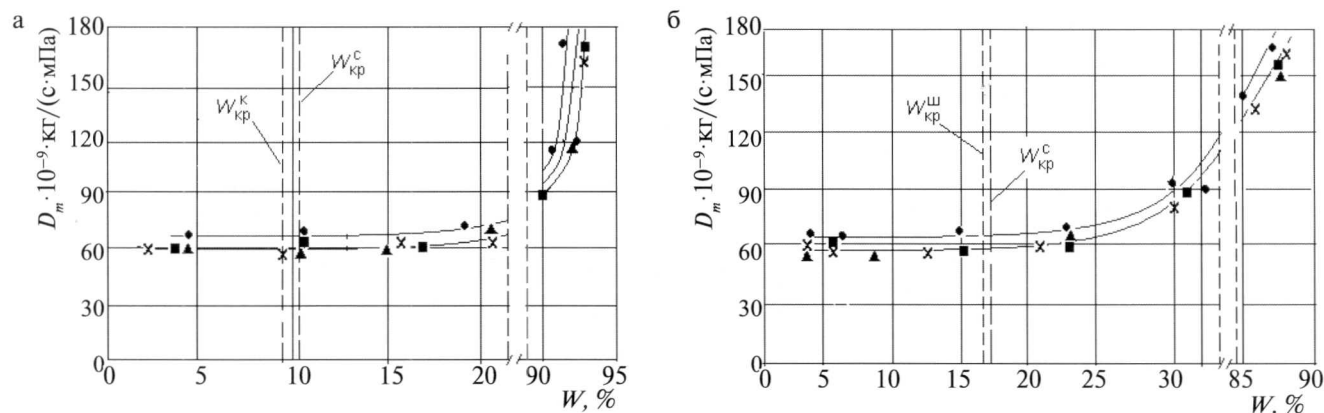


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузии влаги от влажности:

а — сгустки кумыса, обогащенные растительными добавками; *б* — сгустки шубата, обогащенные растительными добавками;
 ● — контрольный кумыс (шубат); сгущенный кумыс (шубат), обогащенный соком:
 x — моркови; ▲ — тыквы; ■ — свеклы

Как видно из рис. 2, коэффициент диффузии влаги во всем диапазоне сушки меняется неоднозначно: в начале сушки он падает и после перехода интервала критической влажности начинает медленно, а затем резко расти. Участок падения соответствует удалению из продуктов сводной влаги или периоду постоянной скорости сушки. Наиболее вероятной причиной падения коэффициента диффузии влаги, на наш взгляд, является быстрое уменьшение концентрации влаги в продуктах от начальной до критической. При дальнейшем уменьшении влажности ниже критической, существенную роль в изменении коэффициента диффузии влаги начинают играть сухой остаток продуктов и повышение температуры нагрева. В сухом остатке за счет образования множество микро- и макропор, капилляров увеличивает поверхность испарения. Рост температуры продукта в конце процесса сушки повышает подвижность молекул влаги. Вместе оба фактора приводят к увеличению коэффициента диффузии, несмотря на уменьшение влажности продуктов.

Список литературы

1. *Волинец А. З.* Тепло- и массообмен в технологии сублимационного обезвоживания в вакууме: Автореф. дис. доктора техн. наук/М.: МГУ, 1980.

2. *Гуйго Э. И., Журавская Н. К., Каучешвили Э. И.* Сублимационная сушка в пищевой промышленности. — М.: Пищ. пром-сть, 1972.

3. *Камовников Б. П., Малков Л. С., Воскобойников В. А.* Вакуум-сублимационная сушка пищевых продуктов. — М.: Агропромиздат, 1985.

4. *Гинзбург А. С., Савина И. М.* Массовлагодобные характеристики пищевых продуктов — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982.

5. *Никитина Л. М.* Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. — Минск: Энергия, 1968.

6. *Шингисов А. У.* К расчету коэффициента диффузии влаги при сублимационной сушке пищевых продуктов // Пищевая технология и сервис. 2006. № 3.

7. *Шингисов А. У.* К расчету активности воды при отрицательных температурах // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 2003. № 6.

8. *Чоманов У. Ч., Шингисов А. У., Мананбаева М. К.* Шубатқа көкөніс шырындары қосылған сүзбе алу технологиясы // Жаршы. 2008. № 3.

9. *Шыңғысов Ә. Ә.* Көкөніс шырындары қосылған қымызды қоюландыру технологиясы // Жаршы. 2008. № 9.