

664.664.33.047.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ СУШКЕ СДОБНЫХ СУХАРЕЙ

А. Ф. БУЛЯНДРА, П. В. БЕРЕЖНОЙ, В. П. ДУЩЕНКО, Б. И. ВЕРБИЦКИЙ

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Интенсивность сушки коллоидных капиллярнопористых пищевых продуктов, обладающих значительной энергией полей влагосодержания, зависит не только от интенсивности подвода тепла к поверхности тела и миграции ее в окружающую среду, а и в значительной мере от механизма внутреннего массопереноса. Внутренний тепломассоперенос лимитирует весь процесс сушки, поэтому для интенсификации его первостепенное значение приобретает знание зависимости интенсивности внутреннего тепломассопереноса от режима сушки.

Наиболее полную информацию о перемещении влаги внутри материала можно получить при исследовании послойных полей влагосодержания и температуры.

В качестве объектов исследования нами выбраны сдобные сухари.

Послойные изменения влагосодержания и температуры исследованы в специальной лабораторной установке. В качестве генераторов ИК-излучения выбраны «светлые» ИК-излучатели типа ЗС-3 и КИ 220-1000. Выбор этих излучателей обусловлен согласованием терморadiационных свойств сдобных сухарей со спектральными характеристиками ИК-излучателей [1]. Необходимая облученность достигалась путем изменения расстояния излучателя от поверхности продукта.

Послойные изменения влагосодержания объектов исследования изучались с помощью просвечивания их узким пучком гамма-лучей. Определение локального влагосодержания методом гамма-скопии обладает тем преимуществом, что при его использовании не нарушаются выбранный режим сушки, пористая структура и целостность исследуемого продукта. Ослабление интенсивности гамма-лучей во влажном материале выражается зависимостью (1) [2]:

$$I_{в\lambda} = I_0 \exp \{ - \alpha \gamma_0 (1 + u) d \}, \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность гамма-лучей при отсутствии продукта (поглотителя);

α — линейный коэффициент поглощения, m^{-1} ;

γ_0 — плотность сухого продукта, kg/m^3 ;

d — толщина продукта, m ;

u — влагосодержание продукта, kg/kg .

Аналогичное выражение можно записать и для ослабления интенсивности гамма-лучей в сухом продукте:

$$I_c = I_0 \exp \{ - \alpha \gamma_0 d \}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) для расчета влагосодержания получаем выражение:

$$u = k \ln \frac{I_c}{I_{в\lambda}}, \quad (3)$$

где $k = \frac{1}{\alpha_{\gamma_0 d}$ — величина постоянная для данного продукта.

В связи с возможными неоднородностями структуры и плотности величина k определялась для каждого слоя из следующего выражения:

$$k_i = \frac{u_0}{\ln \frac{I_{ci}}{I_{в.л.i}}}, \quad (4)$$

где u_0 — начальное влагосодержание продукта, кг/кг;

I_{ci} , $I_{в.л.i}$ — соответственно интенсивности гамма-лучей, прошедших через i -тый слой в сухом состоянии и при начальном значении влагосодержания.

Измерения начинаются с определения $I_{в.л.}$ для каждого слоя. В конце сушки определяется I_c каждого слоя. Начальное влагосодержание продукта u_0 определялось по общепринятой методике.

Прошедшее через образец гамма-излучение регистрировалось радиометром ПП-8 («Волна») со сцинтилляционным детектором, работающим с фотоумножителем ФЭУ-19. В качестве источника гамма-излучения использовался Cs-137, энергия квантов которого $E=0,663$ Мэв. Такая энергия γ -квантов обеспечивает наибольшую чувствительность метода [3]. При таких условиях точность измерения влагосодержания составляла примерно 2%.

Досушка продукта до постоянной массы после окончания опытов показала, что влагосодержание образца не превышает 0,5%. Это можно объяснить сорбцией водяных паров при взвешивании, поэтому, учитывая метод измерения и его точность, мы принимали $u_c=0$.

В качестве образцов брали ломтики сухарных плит толщиной 18 мм. Влагосодержание и температура определялись в четырех слоях на расстоянии 2, 7, 12 и 16 мм от верхней поверхности сухаря. Кроме того, определялась температура верхней и нижней поверхности сухаря. Количество и координаты слоев обусловлены условиями измерения интенсивности гамма-излучения и режимом сушки. Продолжительность одного замера интенсивности в наших опытах составляла 100 с.

Послойные температуры образца измерялись при помощи медь-константановых термопар. Запись осуществлялась на диаграммной ленте

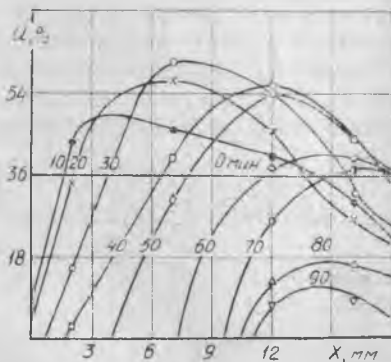


Рис. 1.

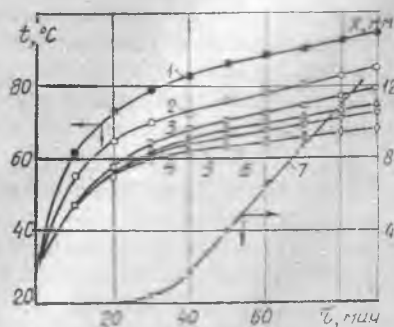


Рис. 2. Кинетика температуры сухаря «Московского» 1, 2, 3, 4, 5, 6 — температура соответственно на глубине 0, 2, 7, 12, 16 и 18 мм от верхней поверхности сухаря; 7 — кинетика углубления границы влажной и сухой зон сухаря.

наперед проградуированного автоматического потенциометра ЭПП-09М1.

По кривым сушки выбранных слоев образца строились кривые распределения влагосодержания по его сечению в определенные моменты времени. На рис. 1 представлены кривые распределения влагосодержания при сушке ломтей сухаря «Московского» при одностороннем облучении ИК-излучателями ЗС-3. Величина облученности при этом составляла 2500 Вт/м^2 .

Характер распределения влагосодержания дает основание утверждать, что даже при таком мягком режиме сушки сдобных сухарей наблюдается значительная термодиффузия, за счет чего влагосодержание глубинных слоев значительно возрастает. Так, на 30-й минуте влагосодержание центральных слоев в 1,6 раза больше начального. При дальнейшей сушке зона максимального значения влагосодержания перемещается в более глубинные слои продукта и только на 70-й минуте влагосодержания на глубине 15 мм достигает первоначального.

На кривых влагосодержания отчетливо прослеживается углубление границы влажной и сухой зон. За ее положение принималась координата, для которой $u=0\%$. Кинетика углубления границы влажной и сухой зон показана на рис. 2 (кривая 7). Как видно, углубление ее при данном режиме наблюдается с 20-й минуты и характер кривой, кроме начального участка, близок к линейному.

На рис. 2 представлены также послойные температурные кривые. Развитие температурных кривых идет интенсивно. Перепад температуры по толщине образца уже в начале сушки составляет $12-18^\circ$. Более интенсивное развитие температуры в слое до 2 мм необходимо связывать с проникновением ИК-излучения в толщу материала. Отрыв температурных кривых 3, 4, 5 и 6 говорит об углублении зоны испарения, что полностью согласуется с полученными полями влагосодержания. Более интенсивный прогрев высохших слоев приводит к увеличению перепада температуры, который в конце сушки составляет $25-28^\circ$.

ВЫВОД

Для изучения совместного тепло-, массопереноса в процессах сушки можно осуществлять определение полей влагосодержания пищевых продуктов (сдобных сухарей) методом гамма-скопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дущенко В. П. и др. Сб. «Пищевая пром-сть», вып. 4, 219. ГИТЛ УССР, Киев, 1965.
2. Бережной П. В., Дущенко В. П. Сб. «Физика твердого тела», 184, КГПИ им. А. М. Горького, Киев, 1972.
3. Лушак П. П. Влияние пористой структуры и форм связи влаги на кинетику нестационарных гидротермических полей в дисперсных пористых телах. Автореф. канд. дис., Киев, 1967.

Кафедра физики

Поступила 2 I 1975