

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ПИЩЕВАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

66.047.35:664.664.3.

О КИНЕТИКЕ ПОГЛОЩАЕМОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПРИ ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ СУШКЕ СУХАРЕЙ

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

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Для интенсификации технологических процессов пищевой промышленности в последнее время начали применять инфракрасное ИК-излучение. Расчет терморadiационных сушилок требует знания кинетики поглощаемого продуктом теплового потока q (τ) в процессе сушки.

Аналитический расчет q (τ) с использованием теории лучистого теплообмена при применении ИК-излучения может быть проведен только для простейших форм лучеобменивающихся тел [1]. Для этого, на наш взгляд, наиболее рационален метод расчета q (τ) А. В. Лыкова [2], использующий в качестве основной определяющей величины критерий Ребиндера Rb , который рассчитывается по формуле:

$$q(\tau) = \rho_0 R_v r \frac{d\bar{u}}{d\tau} (1 + Rb), \quad (1)$$

где ρ_0 — плотность сухого продукта, $кг/м^3$;

R_v — отношение объема продукта к площади испарения, $м$;

r — удельная теплота испарения влаги из продукта, $дж/кг$;

$\frac{d\bar{u}}{d\tau}$ — скорость сушки, $\%/мин$.

Величины ρ_0 и R_v для тел с малым коэффициентом усадки β являются постоянными, r зависит от форм связи влаги с материалом и температуры t , $\frac{d\bar{u}}{d\tau}$ легко находится из кривых кинетики сушки.

Для расчета обобщенной переменной Rb необходимо знание средне-объемной температуры \bar{t} в процессе сушки, которая определяется, исходя из допущения параболического закона распределения температуры по толщине продукта.

Проведены опыты по терморadiационной сушке сдобных сухарей («украинские», «туристские», «дорожные», «сливочные», «московские»). В качестве ИК-генераторов использовались «светлые» излучатели типа ЭС-3 и КИ 220—1000, спектральные характеристики которых хорошо согласуются с оптическими свойствами сдобных сухарей [3]. Сухари подвергались двустороннему облучению при естественной конвекции воздуха.

Температура измерялась в 6 точках по толщине сухаря (15—18 мм) медно-константановыми термопарами и регистрировалась автоматическим потенциометром ЭПП-09М1.

Регистрация убыли веса и автоматическая запись осуществлялась с помощью фотовесов [4] и потенциометра ЭПП-09М1.

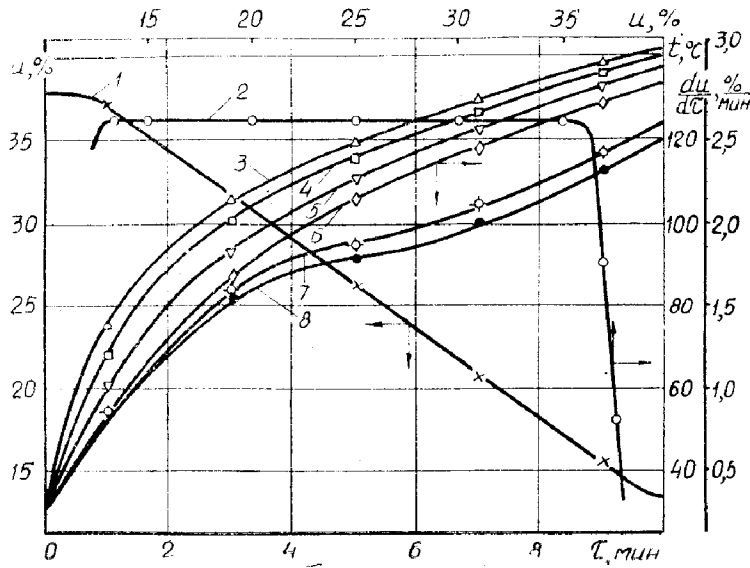


Рис. 1. 1 — кривая сушки; 2 — кривая скорости сушки; температура в сухаре на расстоянии от верхней поверхности, мм: 3 — 1; 4 — 13,5; 5 — 2,5; 6 — 12; 7 — 4,5; 8 — 7,5.

На рис. 1 показаны кривые кинетики сушки сдобных сухарей «московские» толщиной 15 мм при облученности $E = 6500 \text{ вт/м}^2$ с каждой стороны. Как видно, процесс сушки идет в основном в периоде постоянной скорости сушки. Развитие температурных полей идет очень интенсивно. Это, очевидно, связано с проникновением ИК-излучения в толщу материала. Продолжительность сушки τ в этом опыте до стандартного влагосодержания u приблизительно 10 мин.

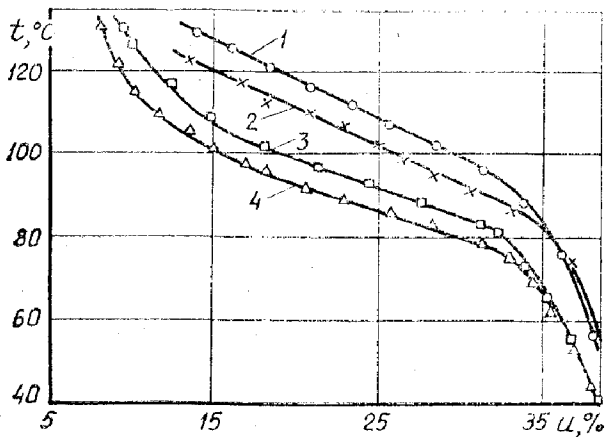


Рис. 2. Значения E , вт/м^2 : 1 — 6500; 2 — 5800; 3 — 4500; 4 — 3800.

Исходя из опытных данных, по зависимостям [2] рассчитывается среднеобъемная температура $\bar{t} = f(\bar{u})$ для различных E . Как видно из рис. 2, при ИК-методе подвода тепла среднеобъемная температура \bar{t} зависит от E и с увеличением последней повышается. В начале сушки наблюдается резкий рост \bar{t} , что объясняется интенсивным объемным прогревом материала. Резкий рост \bar{t} в конце сушки наблюдается только для тех опытов, где сушка велась до более низкого u . Это говорит о том, что в периоде падающей скорости сушки большее количество тепла идет на нагрев материала. В периоде постоянной скорости сушки наблюдается некоторый рост \bar{t} , что характерно для интенсивных методов подвода тепла.

Зная $\bar{t} = f(\bar{u})$, рассчитывали критерий Rb для данного конкретного текущего влагосодержания по формуле:

$$Rb = \left(1 + \frac{c_w}{c_o} \bar{u} \right) \frac{c_o b}{r}, \quad (2)$$

где c_w, c_o — удельные теплоемкости воды и сухого продукта, $\frac{дж}{кг \cdot град}$;

\bar{u} — средненнтегральное влагосодержание, %;

$b = \frac{dt}{du}$ — температурный коэффициент сушки, $^{\circ}C/\%$.

Необходимо учитывать, что в (2) $c_o = f(t)$, $c_w = f(t)$, а $r = f(\bar{t}, \bar{u})$. Зависимости $c_o = f(t)$ и $r = f(\bar{t}, \bar{u})$ нами были получены из специальных опытов. Величины b и \bar{u} брали из опытов по сушке.

Значения $Rb = f(\bar{u})$ приведены на рис. 3. Большие величины Rb в начале сушки сдобных сухарей объясняются тем, что сушка начинается с $\bar{u} = 38\%$, при котором вся влага находится в гигроскопической области, и для ее удаления необходим интенсивный прогрев. Это говорит о том, что количество тепла, идущее на прогрев материала в этот период, превышает количество тепла на испарение влаги.

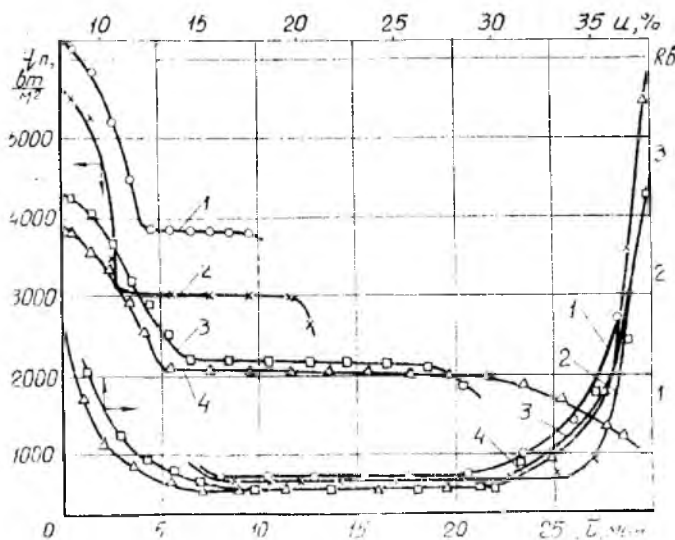


Рис. 3. Значения кривых по рис. 2.

В конце сушки удаляется наиболее прочно связанная влага, что также приводит к увеличению числа Rb . В периоде постоянной скорости сушки величины критерия Rb незначительно зависят от режима сушки и являются примерно постоянными.

Найденные таким образом значения Rb и $\frac{d\bar{u}}{d\tau}$ позволяют рассчитать воспринимаемый сухарями тепловой поток в процессе терморрадиационной сушки сдобных сухарей по формуле (1). Результаты этих расчетов представлены на рис. 3. Как видно, максимальное значение $q(\tau)$ приходится на период прогрева материала. В периоде постоянной

скорости сушки величина $q(\tau)$ примерно постоянна. В периоде падающей скорости сушки поглощаемый тепловой поток уменьшается.

Уменьшение $q(\tau)$ в процессе сушки можно объяснить увеличением температуры t поверхности продукта и коэффициента отражения ρ продукта с уменьшением u .

ВЫВОД

Величина поглощаемого теплового потока в процессе терморadiационной сушки сдобных сухарей в основном зависит от облученности E и в процессе сушки уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блох А. Г. Основы теплообмена излучением. Госэнергоиздат, М.—Л., 1962.
2. Лыков А. В. Теория сушки. «Энергия», М., 1968.
3. Буляндра А. Ф. Теплофизические основы расчета терморadiационных сушильных установок пищевой промышленности. Канд. дисс., Киев, 1967.
4. Лисовенко А. Т., Михелев А. А. Инж.-физ. ж., 4, 9, 98, 1961.

Кафедра физики

Поступила 23 XI 1972