

Влияние параметров воздуха на процесс конвективной сушки
длиннотрубчатых макаронных изделий в плоских кассетах

И.Т. Т а р а н о в, А.Ф. Б у л я н д р а, А.В. В о -
л о д а р с к и й. Киевский технологический институт
пищевой промышленности

Установлены аналитические соотношения, определяющие длительность процесса конвективной сушки в плоских кассетах длиннотрубчатых макаронных изделий высшего и I сортов в зависимости от параметров сушильного агента - воздуха. Эксперименты проводились на специальной установке.^{х)} Продолжительность реверсий для трех периодов сушки была принята для изделий I сорта - 20 мин, высшего - 15 мин. Периоды сушки принимались условно. В первом периоде влагосодержание макарон изменяется от 40 до 28%, во втором - от 28 до 18%, в третьем - от 18 до 15%.

^{х)} И.Т. Таранов, П.И. Мазуренко, И.М. Ройтер, Экспериментальная полупроизводственная установка для сушки длиннотрубчатых макаронных изделий кассетным способом, "Харчова промисловість", 1968, № 4 (на украинском языке).

В качестве определяющих величин были приняты число Гужмана (G_u), характеризующее потенциальные способности воздуха как сушильного агента, и критерий Рейнольдса (Re), характеризующий режим движения воздуха.

При определении живого сечения сушильной камеры и скорости движения воздуха плотность укладки макарон составляла 0,5, внутренний диаметр макаронной трубки $d = 2,8 \cdot 10^{-3}$ м.

В качестве определяемой величины брали массообменное число Фурье $-Fo_r$ (безразмерное время), характеризующее длительность отдельных периодов процесса сушки.

Согласно данным И.С. Мельниковой, коэффициент $a_r \cdot 10^7$ ($\text{м}^2/\text{ч}$), вычисленный по средней влажности макарон при средней температуре воздуха в сушильной камере $t_c = 50^\circ\text{C}$ в первый период составляет 0,19, во второй - 0,05, в третий - 0,03. Эти значения коэффициента A_r и были приняты при обработке экспериментальных данных.

Таким образом, определяли следующую зависимость для каждого периода сушки в отдельности:

$Fo_r = f(G_u, Re)$ или $\frac{a_r \cdot \tau}{R^2} = A \left(\frac{t_c - t_M}{T_c} \right)^n \left(\frac{v \cdot d}{\nu} \right)^m$, (1)

где t_c и T_c - температура сухого термометра в среде сушильной камеры соответственно в $^\circ\text{C}$ и $^\circ\text{K}$;

t_M - температура мокрого термометра в среде сушильной камеры, $^\circ\text{C}$;

v - средняя скорость воздуха, омывающего макаронные изделия, м/сек;

d - диаметр макаронной трубки, мм;

ν - кинематическая вязкость воздуха, $\text{м}^2/\text{сек}$;

A_r - коэффициент потенциалопроводности переноса вещества, м/сек;

τ - продолжительность отдельных периодов сушки, сек;

R - двойная толщина стенки макаронной трубки, м

($R = 2,2 \cdot 10^{-3}$).

При обработке экспериментальных данных величина кинематической вязкости воздуха для всех периодов была принята постоянной $\nu = 19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$.

Эксперименты проводились при ламинарном режиме движения воздуха ($Re < 3 \cdot 10^3$) и охватывали широкую область изменения основных режимных параметров процесса сушки. Диапазон их изменения включал область возможных значений этих величин в промышленных сушильных установках.

Для определения показателей степени "n" и "m" по формуле (I) предварительно были установлены частные зависимости $F_{0T} = A'(Gu)^n$ при $Re = const$ и $F_{0T} = A''(Re)^m$ при $Gu = const$. Результаты обработки экспериментальных данных приведены на рисунке в логарифмических координатах. Зависимости $F_{0T} = A'(Gu)^n$ для макарон высшего и I сортов хорошо укладываются на отрезки прямых, угол наклона которых зависит от сорта изделий и изменяется в разные периоды сушки.

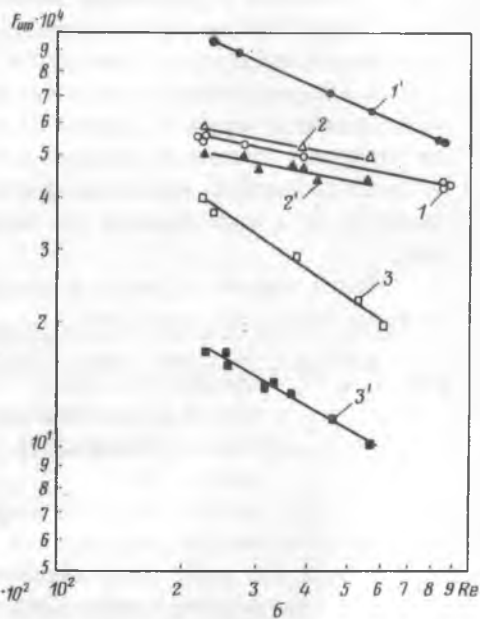
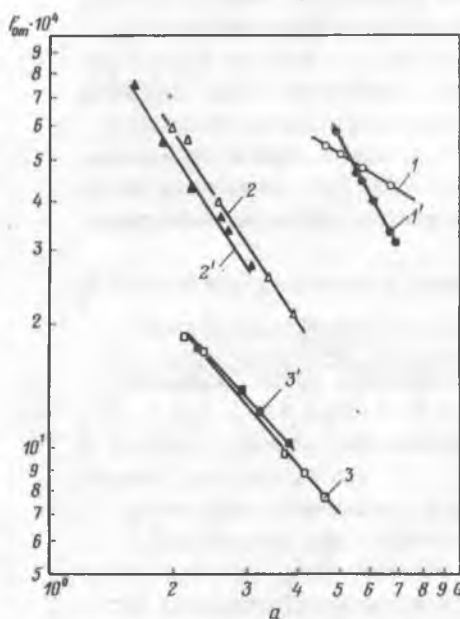


График зависимости массообменного числа Фурье от числа Гухмана (а) и критерия Рейнольдса (б):
 I, 2, 3, - I, II, III периоды сушки макарон I сорта соответственно;
 I', 2', 3', - I, II, III периоды сушки макарон высшего сорта соответственно

В первом периоде сушки угол наклона прямой для изделий высшего сорта больше, чем для изделий I сорта, так как последние характеризуются меньшей водоотдающей способностью.

Во втором периоде сушки угол наклона прямых для изделий высшего и I сортов одинаков. В это время удаляется адсорбционно связанная вода и определяющим фактором влагопереноса является коэффициент влагопроводности, характеризующийся интенсивностью прогрета изделий и мало зависящий от сорта муки.

В третьем периоде угол наклона прямых для изделий I сорта несколько больше, чем для высшего. Это можно объяснить тем, что при осциллирующем методе сушки изделия I сорта, имеющие большую теплоинерционную способность, в момент охлаждения остывают меньше, чем изделия высшего сорта и в целом при режиме "нагрев-охлаждение" к концу процесса нагреваются несколько сильнее. Таким образом, при прочих равных условиях коэффициент внутренней диффузии паров у изделий I сорта будет выше, чем у изделий высшего сорта.

Влияние на зависимость $Fo_T = A'(Re)^m$ упоминавшихся выше факторов в основном такое же, как и на зависимость $Fo_T = A'(Gu)^n$. В первом периоде наклон прямой для изделий высшего сорта больше, чем для изделий I сорта. В этом периоде фактором, лимитирующим скорость сушки, является массоперенос в пограничном слое. Коэффициент внутренней влажпроводности у изделий высшего сорта больше и изменение толщины пограничного слоя (с изменением Re) больше влияет на интенсивность сушки макарон высшего, чем I сорта.

Во втором периоде наклон прямых одинаков. В этом периоде скорость сушки лимитируется внутренним массопереносом, коэффициенты которого невелики и почти одинаковы для макарон обоих сортов. Это приводит к образованию равного пограничного слоя и небольшой толщины, а поэтому изменение Re одинаково и притом незначительно для обоих сортов макарон влияет на число Fo_T .

В третьем периоде наклон прямой для изделий I сорта несколько больше, чем для изделий высшего сорта. Это объясняется неравномерным нагревом макарон разных сортов. Необходимо отметить, что показатели степени в зависимости $Fo_T = A'(Re)^m$ для третьего периода выше, чем для первого и второго. При общем аналогичном влиянии чисел Gu и Re на число Fo_T в отдельные периоды сушки абсолютная величина показателей " n " и " m " разная. При этом влияние чисел Gu и Re на Fo_T в отдельные периоды зависит от сорта макарон. В таблице приведены значения показателей степени " n ", " m " и постоянных множителей " A " в формуле (I), полученные экспериментально.

Полученные результаты могут быть использованы при расчетах кинетики процесса сушки длиннотрубчатых макарон "Особые" высшего и I сортов в условиях различных режимов.

Период сушки	Сорт макарон "Особые"							
	I				высший			
	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>A</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	
Первый	-0,63	-0,22	$3,16 \cdot 10^{-3}$	-1,78	-0,44	$5,36 \cdot 10^{-2}$		
Второй	-1,57	-0,20	$5,83 \cdot 10^{-5}$	-1,57	-0,20	$3,79 \cdot 10^{-5}$		
Третий	-1,15	-0,69	$1,63 \cdot 10^{-3}$	-1,08	-0,57	$8,73 \cdot 10^{-4}$		

Пользуясь полученными данными, можно подбирать оптимальные параметры воздуха с целью максимального сокращения продолжительности процесса сушки и получения качественных изделий.