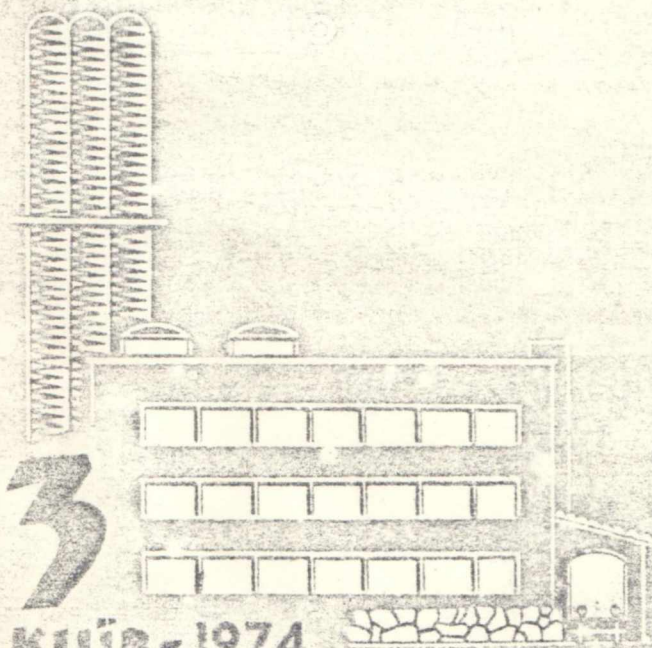


ПРОМ

ПРОМИСЛОВІСТЬ



Київ-1974

УДК 664.69.001.5

ПРО КОНВЕКТИВНЕ СУШІННЯ ДОВГОТРУБЧАСТИХ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ У ПЛОСКИХ КАСЕТАХ

І. Т. Таранов, Інститут підвищення кваліфікації керівних працівників і спеціалістів Мінхарчпрому УРСР,
О. Ф. Буляндра, О. В. Володарський, Київський технологічний інститут харчової промисловості

Основним завданням процесу сушіння макаронних виробів є забезпечення технологічних властивостей готової продукції високої міцності, гладкої поверхні, склоподібного зламу, збереження форм під час варіння і т. ін. Структурно-механічні властивості макаронного тіста в процесі сушіння змінюються залежно від форм зв'язку вологи з сухою речовиною — осмотичної й адсорбційної. При конвективному методі тепlopідведення поверхневій шару макаронів висихають швидше, ніж внутрішні. А різний вміст вологи по шарах висушуваних виробів призводить до нерівномірної усадки і, отже, до деформації їх.

Для рівномірного видалення вологи з усіх шарів виробів необхідно знайти параметри сушильного повітря, які сприяли б створенню однакового потенціалу як зовнішнього, так і внутрішнього перенесення вологи з макаронного тіста.

Одним із способів, який забезпечує відносно рівномірне висушування макаронів у виробничих умовах, є реверсування сушильного агенту.

Дослідження процесу сушіння макаронів на експериментальній установці (рис. 1) показали, що, крім реверсування, на процес сушіння найбільше впливає температура повітря (t_n), менше — відносна вологість (φ_n) і швидкість руху повітря (v). Наприклад, при постійних φ_n і v із збільшенням t_n до 50°C інтенсивність сушіння зростає по логарифмічному закону. Однак, ураховуючи специфіку умов сушіння макаронів у плоских касетах, тобто створене власне поле вологості навколо макаронних трубок [1], а також різні форми зв'язку вологи з компонентами борошна — φ_n і v в різні періоди сушіння неоднаково впливають на її інтенсивність.

Для визначення впливу φ_n і v на загальну тривалість сушіння, а також для практичного підбирання оптимальних параметрів повітря і розрахунку конструкцій сушильних установок можна використати теорію подібності. На підставі цієї теорії результати експериментів подаються у вигляді залежностей між безрозмірними величинами-критеріями (визначальними і визначуваними числами подібності), а потім одержані аналітичні співвідношення переносять на виробничі процеси.

Авторами знайдено аналітичні співвідношення узагальненням цих експериментів по визначенню впливу параметрів повітря на процес сушіння макаронів «Особливі» вищого і I сортів. Досліди проводилися при постійних режимах реверсії. Для трьох періодів сушіння

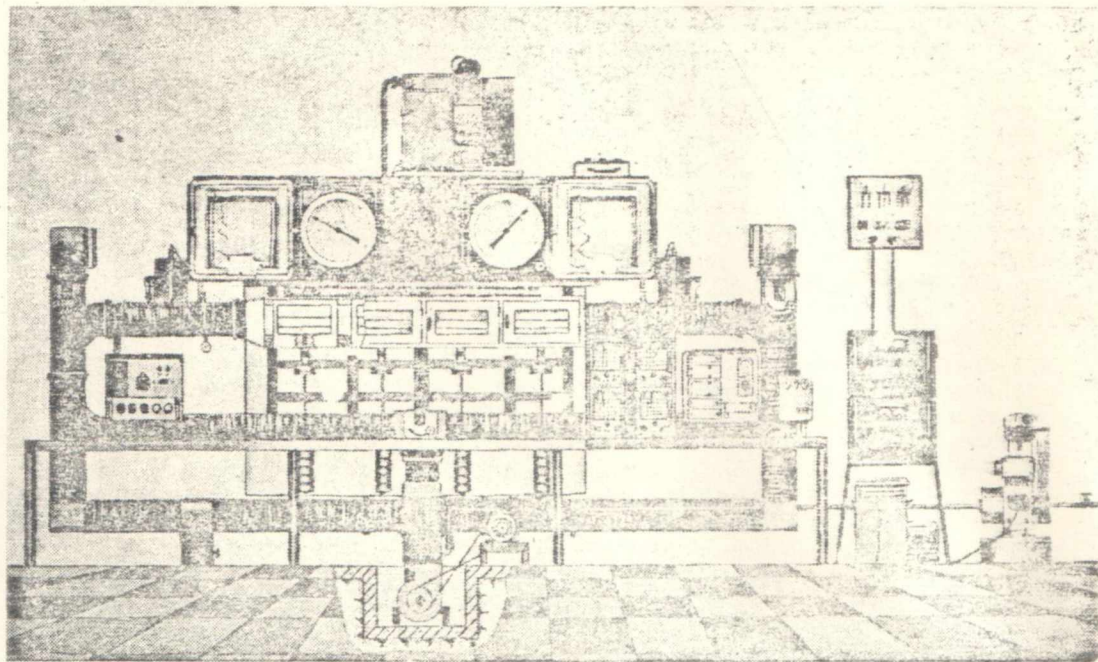


Рис. 1. Експериментальна установка для сушіння довготрубчастих макаронних виробів у плоских касетах.

було прийнято таку тривалість реверсій: для I сорту — 20 хв, вищого — 15 хв.

Періоди сушіння умовно бралися: I період — вологовміст макаронів змінюється від $W_{\text{поч}}^c$ до W^c — 28%; II період — W^c змінюється від 28 до 18%; III період — W^c змінюється від 18 до 15%.

Як вихідні величини було взяте число Гухмана $G_{\text{ш}}$ що характеризує потенціальні здатності повітря як сушильного агента, і критерій Рейнольдса Re , що характеризує режим руху повітря

$$G_{\text{ш}} = \frac{t_c - t_m}{T_c}; \quad Re = \frac{\bar{v}d}{\nu}, \quad (1)$$

де t_c — температура сухого термометра в середовищі сушильної камери, °С;

T_c — абсолютна температура сухого термометра, °К;

t_m — температура мокрого термометра в середовищі сушильної камери, °С;

\bar{v} — середня (поза і всередині трубки) швидкість повітря, що обдуває макаронні вироби, м/сек;

d — характерний розмір макаронної трубки, м;

ν — кінематична в'язкість повітря, м²/сек.

При визначенні живого перерізу сушильної камери і швидкості руху повітря в ній брали густину укладання макаронів такою, що дорівнювала 0,5, тобто площа живого перерізу для проходження повітря становила половину площі поперечного перерізу касети. Як характерний розмір брали внутрішній діаметр макаронної трубки $d = 2,8 \cdot 10^{-3}$ м.

Як визначували величину було взято масообмінне число Фур'є Fo_m (безрозмірний час), що характеризує тривалість окремих періодів сушіння,

$$Fo_m = \frac{a_m \tau}{R^2}, \quad (2)$$

де a_m — коефіцієнт потенціалопровідності перенесення речовини, м²/сек;

τ — тривалість окремих періодів сушіння, сек;

R — подвійна товщина стінки макаронної трубки ($R = 2,2 \cdot 10^{-3}$ м).

Коефіцієнт a_m брали з даних літератури [2], обчислювали по середній вологості макаронів в окремі періоди сушіння при середній температурі повітря в сушильній камері t_c —

50°C. Коефіцієнт $a_m \cdot 10^7$ становить: у I періоді — 0,19 м²/год, у II періоді — 0,05 і в III періоді — 0,03 м²/год.

Таким чином, визначалася залежність

$$Fo_m = f(Gu, Re) \text{ або } \frac{a_m \tau}{R^2} = A \left(\frac{t_c - t_m}{T_c} \right)^n \times \left(\frac{vd}{\nu} \right)^m, \quad (3)$$

де A — постійний множник;
 n, m — показники степеня.

Залежність (3) визначалася для кожного періоду сушіння окремо.

При обробці експериментальних даних величину кінематичної в'язкості повітря для всіх періодів при $t_c = 50^\circ\text{C}$ було взято постійною: $\nu = 19 \cdot 10^{-6}$ м²/сек.

Експерименти проводилися в ламінарному режимі руху повітря ($Re < 3 \cdot 10^{-3}$). Діапазон зміни основних режимних параметрів процесу сушіння включав можливі значення цих величин у промислових сушильних установках.

Для визначення показників степеня n і m встановлено залежності:

$$Fo_m = A' (Gu)^n \text{ при } Re = \text{const}, \quad (4)$$

$$Fo_m = A'' (Re)^m \text{ при } Gu = \text{const}. \quad (5)$$

Залежність числа Фур'є від критеріїв Гухмана і Рейнольдса в логарифмічних координатах для макаронів вищого і I сортів показано на рис. 2. Кут нахилу відрізків прямих залежить від сорту виробів і змінюється в різні періоди сушіння.

У I періоді сушіння при постійній швидкості кут нахилу прямих (рис. 2, а) для виробів вищого сорту більший, бо вироби I сорту, маючи більшу кількість клітковини і більшу водовбирну здатність, характеризуються меншою водовидаючою здатністю.

Таким чином, у I періоді за інших однакових умов ($Re = \text{const}$), зміна числа Гухмана більшою мірою впливає на тривалість сушіння макаронів вищого сорту.

У II періоді кут нахилу прямих для виробів вищого і I сортів однаковий. В цей час видаляється адсорбційно зв'язана волога і визначальним фактором вологоперенесення є коефіцієнт вологопровідності. Цей коефіцієнт визначається інтенсивністю прогріву виробів і мало залежить від сорту борошна.

У III періоді кут нахилу прямих для виробів I сорту більший. Це можна пояснити тим, що при осцилюючому методі сушіння вироби

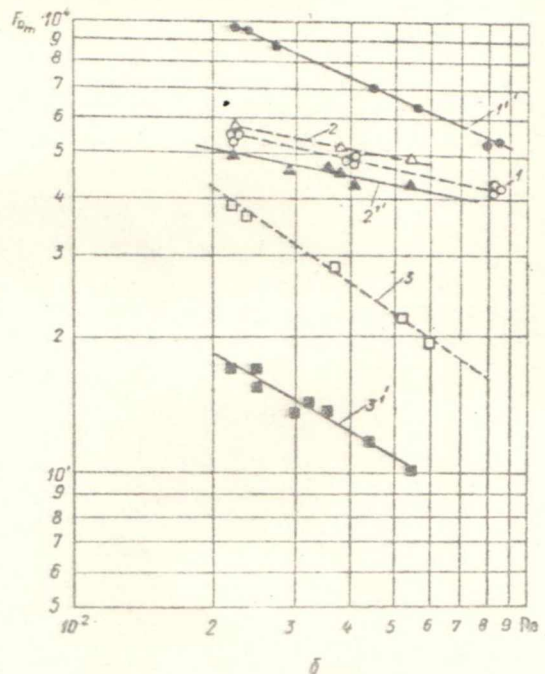
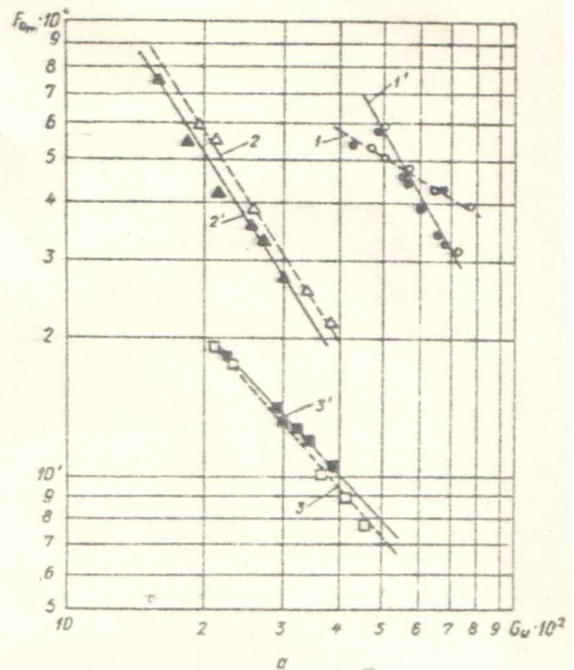


Рис. 2. Залежність числа Fo_m від критеріїв Gu (а) і Re (б):

1, 2, 3 — відповідно I, II, III періоди сушіння макаронів I сорту;
1', 2', 3' — I, II, III періоди сушіння макаронів вищого сорту.

I сорту, які мають більшу тепло-інерційну здатність, у моменти охолодження остигають менше. В цілому вироби I сорту при режимі «нагрів — охолодження» до кінця процесу нагріваються більше (рис. 3). Таким чином, за інших однакових умов коефіцієнт внутрішньої дифузії парів у виробах I сорту буде вищий.

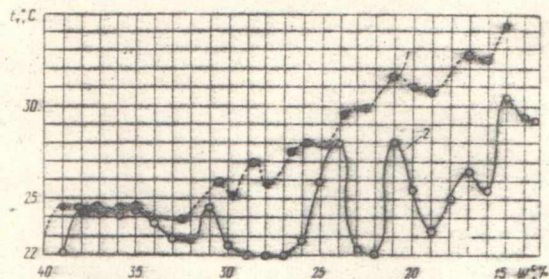


Рис. 3. Прогрівання макаронів у процесі сушіння в плоских касетах при осцилюючому режимі та інших однакових параметрах повітря:
1 — I сорту; 2 — вищого сорту.

У II періоді нахил прямої для виробів вищого і I сортів однаковий. У цьому періоді швидкість сушіння лімітується внутрішнім масоперенесенням, коефіцієнти якого невеликі і майже однакові для макаронів обох сортів. Це призводить до утворення пограничного шару невеликої і рівної товщини.

У III періоді нахил прямої для виробів I сорту дещо більший. Це пояснюється нерівномірним прогріванням макаронів (рис. 3).

Зміна впливу чисел G_u і Re на число Fo_m в окремі періоди сушіння відбувається аналогічно, хоч абсолютна величина показників n і m різні (див. таблицю). При цьому вплив чисел G_u і Re на Fo_m в окремі періоди залежить від сорту макаронів.

Одержані результати можуть бути використані при розрахунках кінетики процесу сушіння довготрубчастих макаронів «Особливі» вищого і I сортів в умовах різних режимів. Правильно підібрані оптимальні параметри

Періоди сушіння	Макарони «Особливі»					
	I сорт			вищий сорт		
	n	m	A	n	m	A
I	-0,63	-0,22	$3,16 \cdot 10^{-3}$	-1,78	-0,44	$5,36 \cdot 10^{-2}$
II	-1,57	-0,20	$5,83 \cdot 10^{-5}$	-1,57	-0,20	$3,79 \cdot 10^{-5}$
III	-1,15	-0,69	$1,63 \cdot 10^{-3}$	-1,08	-0,57	$8,73 \cdot 10^{-4}$

Для залежності (5) у I періоді нахил прямої (рис. 2, б) для виробів вищого сорту більший. У цьому періоді на швидкість сушіння впливає не тільки водовіддаюча здатність тіста різних сортів, а й товщина пограничного шару, який завдяки наявності власного поля вологості напруги макарон при щільному укладанні їх у плоскі касети має значні розміри.

повітря дадуть змогу скоротити тривалість процесу сушіння й одержати якісні вироби.

ЛІТЕРАТУРА

1. Таранов І. Т. Конвективні багатостадійні режими сушіння макарон у плоских касетах. — «Харчова промисловість», 1973, № 2.
2. Мельникова И. С. Процесс сушки макаронных изделий. М., Пищепромиздат, 1954.