

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет харчових технологій

**НАУКОВІ ПРАЦІ  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ  
ХАРЧОВИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

**№ 25**

**ЧАСТИНА 2**

*Присвячується 100-річчю від дня народження  
завідувача кафедри технології хліба,  
кондитерських і макаронних виробів  
НУХТ з 1954 по 1977 рік А.А. Міхелева*

**Київ НУХТ 2008**

## НАУКОВІ ПРАЦІ НУХТ № 25

- Пересічний М.І., Федорова Д.В., Собко А.В. Сучасні технології борошняних кондитерських виробів функціонального призначення 47
- Peresichnyi M., Fedorova D., Sobko A. Modern technologies of flour confectionery products with the functional appropriation
- Мадаиевская Т.А., Далидович С.В., Крот О.И., Максименко М.Г., Зуйкевич О.Г. Витаминизированные продукты вторичной переработки плодово-ягодного сырья – перспективная пищевая добавка для хлебопекарной отрасли 52
- Madzievskaja T., Dalidovich S., Krot O., Maksimenko M., Zujkevich O. Vitaming products secondary processing berrylike raw - perspective alimentary the component for baking branch
- Мадаиевская Т.А., Науменко В.Н., Далидович С.В., Траханов П.К., Шункевич Т.М., Тагиль И.И. Растения – антиоксиданты для хлебоулочных и кондитерских изделий 54
- Madzievskaja T., Naumenko V., Dalidovich S., Traxanov P., Shunkevich T., Tagil' I. Plants - anti-oxidants for bakeries and confectionery items
- РОЗДІЛ 3. Сучасне обладнання в хлебопекарській, кондитерській, макаронній і харчокоцентрацій галузях харчової промисловості**
- Теличкун В.І., Штефан С.В., Михайлов О.В., Теличкун Ю.С. Розробка аналітичної моделі процесу тепломасопереносу у тістовій заготовці при випіканні хліба 56
- Telychkun V., Shtefan E., Mihailov O., Telychkun U. The analytic model design of heat-mass transfer in dough blank during bread baking
- Теличкун В.І., Теличкун Ю.С., Горцепаяев В.Ю. Розрахунок зміни об'єму хліба при випіканні 59
- Telychkun V., Telychkun Yu., Gortchpayev V. A calculation of change of volume of bread is at baking
- Теличкун В.І., Теличкун Ю.С. Вивчення закономірностей та моделювання процесу забарвлення скоринки хліба при випіканні 61
- Telychkun V., Telychkun Yu. Study of conformities to the law and designto the process of colouring of crust of breadat baking
- Сидоренко С.І. До питання про внутрішнє тепломасоперенесення при випіканні хліба 63
- Sydorenko S. To a problem on internal carry of heatand weight at batch of bread
- Корчинський А.О., Ходос А.І., Цветков С.В. Інтенсифікація процесів теплообміну в хлебопекарських печах – шлях до зменшення витрат палива на випікання 64
- Korchinskiy A., Hodos A., Tsvetkov S. Intensification of processes of heat exchange in baking stoves is way to decreasing expenses of fuel on baking
- Рекославський В.В. Шляхи економії енергоресурсів 67
- Rekoslavskiy V. Ways of economy energeresours
- Дудко С.Д. Розрахунок газопроникності розгалуженої нагрівної системи печі 68
- Dudko S. Gas-penetrability of backing oven's ramified system heating estimationv
- Теличкун Ю.С., Теличкун В.І., Чепелюк О.О., Губеня О.О. Особливості екструдювання виброженого тіста 70
- Telychkun Yu., Telychkun V., Chepeluk O., Gubenja O. Features of extrusion complete fermentation dough
- Губеня О.О., Теличкун В.І., Чепелюк О.О., Теличкун Ю.С. Зміна структурно-механічних властивостей хліба при витримюванні 72
- Gubenya O., Telichkun V., Chepeluk O., Telichkun U. Change structure-mechanical properties of bread in the time of keeping
- Десик М.Г., Теличкун В.І., Теличкун Ю.С., Таран В.М. Екструдювання дріжджового тіста в неізотермічних умовах 74
- Desik M., Telychkun V., Telychkun Yu., Taran V. Extrusion of east dough in unisothermal terms
- Теличкун В.І., Теличкун Ю.С., Таран В.М., Десик М.Г. Бродильно-формувальний агрегат для розробки дріжджового тіста 76
- Telychkun V., Telychkun Yu., Taran V., Desik M. Fermenting-forming aggregate is for development of east dough
- Теличкун В.І., Теличкун Ю.С., Губеня О.О., Десик М.Г. Виробництво сухариків екструзією 77
- Telychkun V., Telychkun Yu., Gubenya O., Desik M. Production of rusks by extrusion
- Гнилоквас В.П., Теличкун В.І., Чепелюк О.О., Теличкун Ю.С. Зміна еквівалентних дотичних напружень у формуальному каналі та зміна швидкостей при екструдюванні дріжджового тіста 78
- Gnilokwas V., Telichkun V., Chepelyuk O., Telichkun Yu. A change united tangencial stress into forming canal and change speed by extrusion leanead dough
- Штефан С.В., Мізнік Л.М. Розрахунково-експериментальні дослідження процесу коекструзії тісто – фаршевого джгута 81
- Shtefan E., Miznic L. Calculation - experimental researches of dough rope with meat co-extrusion process

### ДО ПИТАННЯ ПРО ВНУТРІШНЄ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНЕСЕННЯ ПРИ ВИПІКАННІ ХЛІБА

На основі вивчення кінетики полів вологості та температури тіста-хліба представлена картина внутрішнього тепловологоперенесення при випіканні хліба. Складено баланс вологи для кінцевого етапу випікання. Встановлено, що внутрішня рухома межа зони випаровування має температуру кипіння води при відповідному тиску і проходить глибше внутрішньої межі скоринки. Аналіз кінетики процесу дозволяє зробити висновки про шляхи його оптимізації.

**Ключові слова:** тісто-хліб, зона випаровування, тепломасоперенесення, переміщення вологи, вологість, температура, випікання хліба, внутрішнє перенесення теплоти і маси, упікання, підведення теплоти, хліб, термовологопровідність, поглиблення зони, хвиля.

Випікання хліба супроводжується значним внутрішнім і зовнішнім вологообміном. Переміщення вологи під дією термовологопровідності відбувається у вигляді рідини та пари. Особливостям внутрішнього масообміну присвячені роботи Ликова О.В., Гінзбург А.С. та ін. [1, 2].

Метою роботи є дослідження внутрішнього тепло- і вологоперенесення під час випікання, зокрема в рухомій зоні випаровування.

Дослідження переміщення вологи під час випікання виконували на основі полів вологості та температури, а також залежностей втрати вологи з боку верхньої та нижньої поверхонь тіста-хліба, що випікався у вигляді пластини [3].

Розроблена експериментальна установка для дослідження кінетики процесів і внутрішнього тепловологоперенесення під час випікання подового пшеничного хліба першого — другого сорту дала можливість моделювати різні режими регульованого теплопідведення незалежно з боку верхньої та нижньої поверхонь.

Температурні поля будували за температурами окремих точок виробу, заміряних за допомогою батарей мікротермопар і зареєстрованих потенціометром. Поля вологостей визначали шляхом пошарового відбирання проб тіста-хліба відбірником у пакети з алюмінієвої фольги в різні моменти часу і визначення середньої вологості проб методом сушіння в шафі до постійної маси.

Аналіз суміщених полів вологості та температури тіста-хліба в різні моменти часу дозволив припустити, що границю зони випаровування не можна ототожнювати з товщиною скоринки.

Проведене аналітичне дослідження тепловологоперенесення в зоні випаровування виробу показало «хвильовидний» характер картини переміщення вологи всередину короваю. По мірі випікання значення вологості, яке відповідає екстремуму хвилі вологи, що переміщається в м'якушці, збільшується, в той час як вологість поверхневих шарів знижується.

Криві поточної вологості по висоті зразка перетинають вихідну вологість тіста в точках, які відок-

©С.І. Сидоренко, 2008

On the basis of analysis of a kinetics of fields of humidity and temperature of test — bread the picture of internal carry of heat and weight is updated at batch of bread, the balance of a moisture for a final stage of batch is compounded. Is established, that the internal mobile border of a zone of vaporization has a boiling temperature of water at the conforming pressure and passes more deeply to inner boundary of peel. The analysis of a kinetics of process allows to make conclusions about pathes of his optimization.

**Key words:** paste — bread, zone of vaporization, carry of heat and weight, moving of a moisture, humidity, temperature, batch of bread, internal carry of heat and weight, change of weight of bread during batch, intake of a heat, bread, conductivity of a heat and moisture, recess of a zone, surge.

ремлюють зону підвищеної вологості, що лежить вище вихідної. На температурних кривих цим точкам відповідає температура кипіння рідини, тобто вони знаходяться на межі зони випаровування.

Межа зони випаровування в кінці процесу випікання проходить на глибині приблизно  $(5 - 6)10^{-3}$  м від верхньої поверхні та  $(9 - 12)10^{-3}$  м від нижньої поверхні виробу. Товщина скоринки становить  $(2,5 - 5,0)10^{-3}$  м. При цьому термометричні виміри показали, що внутрішній межі скоринки відповідає температура  $110 \pm 2^\circ \text{C}$ , а внутрішній межі зони випаровування — температура фазового перетворення вологи при відповідному тиску. Таким чином, зона випаровування охоплює не лише скоринку, а й підкірковий шар, з якого також відбувається випаровування вологи під час випікання і який відрізняється від м'якушки меншою вологістю та дещо своєю структурою.

Відповідно до характеру процесів, які відбуваються в тісті-хліба під час випікання, можна визначити зони: 1 — сушіння (до неї віднести скоринку та підкірковий шар) і 2 — вологу зону, що охоплює м'якушку, вологість якої під час випікання збільшується на 2,5 — 3 %.

Математичний аналіз процесу дозволив отримати рівняння для знаходження внутрішньої рухомої межі зони випаровування  $\xi$  з боку нижньої та верхньої поверхонь у процесі випікання подового хліба при найбільш раціональному режимі теплопідведення:

$$\xi_1^n = \left( \frac{2\tau_1}{K\rho_0 r g_0} \left( \left( \lambda_0 - \frac{\alpha}{2} \tau_1 \right) (t_0 + 17,2 \ln \tau_1 - t_u) - 17,2 \left( \lambda_0 - \frac{\alpha}{4} \tau_1 \right) \right) \right)^{1/2}$$

при  $160 \leq \tau_1 \leq \tau_{\text{вип}}$  (1)

$$\xi_2^n = \left( \frac{2\tau_1}{K\rho_0 r g_0} \left( \left( \lambda_0 - \frac{\alpha}{2} \tau_1 \right) (18,1 (\ln \tau_1 - t_u) - 18,1 \left( \lambda_0 - \frac{\alpha}{4} \tau_1 \right)) \right) \right)^{1/2}$$

при  $600 \leq \tau_1 \leq \tau_{\text{вип}}$  (2)

де  $K$  — коефіцієнт, який враховує співвідношення теплоти, використаної на випаровування вологи і на нагрівання м'якушки;  $r$  — питома теплота випаровуван-

ня вологи;  $\rho_0$  — щільність сухої маси речовини;  $g_0$  — втрата вологи на кілограм сухої речовини у процесі випікання відповідно з нижньої та верхньої поверхонь;  $\lambda_0$  — коефіцієнт теплопровідності матеріалу на початку процесу;  $\alpha$  — коефіцієнт, який враховує зміну теплопровідності у часі;  $\tau_1$  — тривалість процесу випікання;  $t_u$  — температура зони випаровування.

Це дало можливість пов'язати глибину зони випаровування з режимом випікання, теплофізичними властивостями тіста-хліба і упіканням. Отримано залежності для визначення швидкості поглиблення зон випаровування. Значення, отримані розрахунковим шляхом, добре співпадають з експериментально визначеними точками.

З нижньої поверхні виробу поглиблення зони випаровування починається значно раніше і відбувається більш інтенсивно на початку процесу. В кінці випікання глибина зони випаровування майже вдвічі перевищує показник для верхньої частини. Поглиблення зони випаровування верхньої частини виробу починається значно пізніше й відбувається при дещо меншій швидкості.

На базі експериментальних даних складено баланс вологи зразка в кінці випікання. Наочне уявлення про кількість і направлення потоку вологи, що переміщується під час випікання, дає діаграма переміщення вологи (рис. 2). Як показали розрахунки, залежно від того, чи буде мігрувати волога із зони випаровування в м'якушку у вигляді рідини або пари, вона може перенести від 1,7 до 27,3 % теплоти, необхідної для нагрівання м'якушки. Таким чином, переміщення вологи до центру під дією термовологопровідності

головним чином у вигляді рідини має місце у перший період випікання, до поглиблення зони випаровування. У другому періоді волога із зони випаровування переміщується, в основному, у вигляді пари.

Режим підведення теплоти суттєво впливає на швидкість переміщення зони випаровування та інтенсивність теплообміну в ній. Раціонально організований режим випікання дозволяє скоротити тривалість випікання і зменшити втрати від упікання, тобто кількість вологи і ароматичних речовин, які видаляються із зони випаровування через зовнішню поверхню виробу.

**Висновки.** Аналіз процесу і отримані залежності дозволили обчислити тепло- і масоперенесення окремо для верхньої та нижньої частини виробу, залежно від температурного режиму випікання і виду виробу. Аналіз кінетики процесу дозволяє зробити висновки про шляхи його оптимізації.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Гинзбург А.С. Теплофизические основы процесса выпечки. — М.: Пищепромиздат, 1955. — 475 с.
2. Лыков А.В. Теория сушки. — М.: Энергия, 1968. — 472 с.
3. Сидоренко С.И., Лисовенко А.Т. Экспериментальное и аналитическое исследование процессов в зоне испарения капиллярно-пористого тела. Сб. «Тепло- и массоперенос», Т.6. — Минск: ИТиМО АН БССР, 1972. — С. 169 — 73.

Надійшла до редколегії 25.04.08 р.