

EFFECT OF THE TEMPERATURE OF MATRIX EXTRUDER MOLDING SURFACE ON THE QUALITY OF FINISHED PRODUCTS

V. Rachok, Y. Telychkun, V. Telychkun

National University of Food Technologies

C. Yanakiev, S. Stefanov, A. Symytcheyv

University of Food Technologies, Bulgaria

Key words:

Extrusion

Temperature

Yeast dough viscosity

Porosity

Article history:

Received 13.07.2016

Received in revised form

14.08.2016

Accepted 24.08.2016

Corresponding author:

V. Rachok

E-mail:

RachokV3478@gmail.com

ABSTRACT

The impact of temperature on the molding surface quality of finished products was researched. It was established that the temperature of the surface layers of dough depend linearly on the temperature of molding surface. The change of dough bundle density was estimated depending on the content of the gas phase. The changes of average flow of dough depending on the temperature of the surface layers of the dough bundle were studied. The warming of upper layers of dough bundle and the change of rheological characteristics lead to a dramatic change of shear stress. The effective viscosity decreases at increasing shear rate and increases at increasing of a dough temperature. When the temperature of dough increases, the viscosity of dough increases correspondingly, due to denaturation of proteins.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ФОРМУВАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ МАТРИЦІ ЕКСТРУДЕРА НА ЯКІСТЬ ГОТОВИХ ВИРОБІВ

В.В. Рачок, Ю.С. Теличкун, В.І. Теличкун

Національний університет харчових технологій

Ц. Янакієв, С. Стефанов, А. Сими́тчієв

Університет харчових технологій (м. Пловдив, Болгарія)

У статті досліджено характер впливу температури формувальної поверхні на якість готових виробів. Встановлено що, температура поверхневих шарів тіста лінійно залежить від температури формувальної поверхні. Розраховано зміну густини тістового джгута залежно від вмісту газової фази. Проведено дослідження зміни середньої швидкості потоку тіста з урахуванням температури поверхневих шарів тістового джгута. Доведено, що прогрівання верхніх шарів тістового джгута призводить до зміни реологічних характеристик і до різкого перепаду напруження зсуву. З'ясовано, що ефективна в'язкість зменшується зі збільшенням швидкості зсуву і збільшується з підвищенням температури тіста, також при підвищенні температури дріжджового тіста спостерігається збільшення в'язкості тіста внаслідок денатурації білків.

Ключові слова: *екструзія, температура, дріжджове тісто, в'язкість, пористість.*

Постановка проблеми. Стимувальним фактором застосування екструзії для формування виробів із дріжджового тіста є поява нерівностей на поверхні джгута, що призводить до збільшення напруження зсуву в пристінному шарі вище за критичне значення [3].

Екструзією називається процес переробки продуктів в екструдері шляхом пластифікації та надання екструдату форми установленної матриці, після проходження якої продукт набуває відповідної форми. В ході процесу під дією значних швидкостей зрушення, високих температур і тиску відбувається перехід механічної енергії в теплову, що приводить до різних за глибиною змін у якісних показниках сировини [7]. Характер і глибина змін та їх вплив на якість продукції залежать від режиму процесу екструзії і його тривалості.

Застосування екструзії дозволяє організувати безперервний процес з високою швидкістю, що спрощує завдання зі створення потоково-механізованого виробництва й автоматизацію процесу [8]. Якість готових виробів оцінюється комплексом показників, серед яких одним із найважливіших є структура пористості готових виробів [10].

Мета дослідження. Визначити шляхи інтенсифікації процесу екструзії дріжджового тіста та покращення якості готових виробів.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом дослідження є екструзія дріжджового тіста. Тісто розглядаємо як складну колоїдну систему, що складається з декількох безперервних і періодичних фаз. Тверде тіло і рідина (клейковина і вода) в тісті — це безперервні фази, зерна крохмалю і газ, що утворюється під час бродіння тіста, — періодична фаза. Внаслідок цього фізичні властивості тіста характеризуються параметрами твердих тіл, рідин і газів і показниками, які є результатом взаємодії цих фаз.

Тісто готували безопарним способом за рецептурою сухарних виробів «Малятко».

Експериментальні дослідження проводилися під час стажування в «Університет харчових технологій» (м. Пловдив, Болгарія) на одношнековому екструдері німецької фірми Brabender 20 DN (рис. 1), діаметр шнека 20 мм, з регульованим крутним моментом і регульованою температурою матриці. Екструдер обладнаний рядом приладів для фіксування температури матриці, температури тіста й крутного моменту.

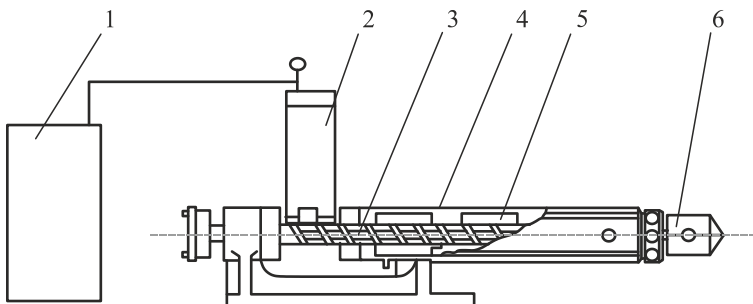


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 — компресор; 2 — бункер для тіста; 3 — шнек; 4 — корпус; 5 — секції підігріву; 6 — матриця

У циліндричному корпусі одношнекового екструдера встановлено секції для обігрівання. В середині корпусу розташований шнек з постійним кроком. До корпусу прикріплено завантажувальний бункер циліндричної форми з кришкою. Кришка обладнана патрубком для подавання стиснутого повітря в порожнину завантажувального бункера від компресора. Формувальна матриця обладнана нагрівальним елементом, що дозволяє змінювати температуру поверхні формування. Після бродіння тіста в термостаті за температури 30—32 °С його помістили в завантажувальний бункер, герметично закривали кришкою та залишали для бродіння під тиском 0,3 МПа, який постійно підтримувався компресором. Тістові джгути формували через канал діаметром 6,5 мм, змінюючи температуру поверхні матриці від 20 °С до 130 °С з кроком 10 °С. За допомогою обладнання фіксували параметри формування та геометричні параметри, а також час пресування й органолептичні показники. Випікали джгути за температури 190 °С протягом 7—10 хв та проводили вимірювання параметрів готових виріб.

За дослідними даними розраховували об'єм та густину (до і після випікання), швидкість пресування, вміст газу, масову продуктивність, коефіцієнт розширення, напруження зсуву, швидкість зсуву, ефективну в'язкість, пористість.

Вміст газової фази визначали таким чином:

$$G = \frac{\rho_{\text{без газу}} - \rho_{\text{екс}}}{\rho_{\text{без газу}}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де $\rho_{\text{екс}}$ — поточне значення густини тістового джгута, кг/м^3 ; $\rho_{\text{без газу}}$ — значення густини тістового джгута для тіста без дріжджів заданої рецептури, визначали експериментально, кг/м^3 .

Середню швидкість потоку визначаємо за формулою:

$$v = \frac{l}{\tau}, \text{ м/с} \quad (2)$$

де l — довжина екструдованого джгута, м; τ — тривалість пресування тістового джгута визначеної довжини, с.

Результати і обговорення. Зіставивши температуру формувальної поверхні й тістового джгута, які визначали допоміжним обладнанням, встановили, що температура поверхневих шарів тіста лінійно залежить від температури формувальної поверхні (рис. 2).

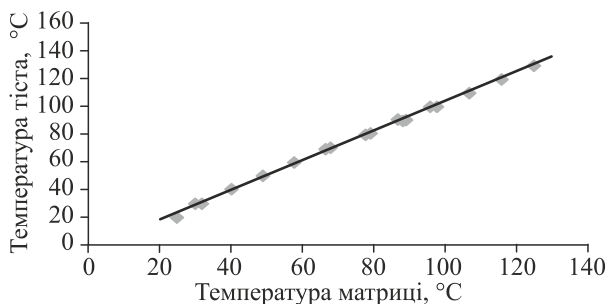


Рис. 2. Залежність температури поверхневих шарів тіста від температури матриці

Тісто проходить через формувальний канал, безпосередньо контактуючи зі стінкою матриці, таким чином відбувається нагрівання поверхневих шарів, що описується лінійною залежністю:

$$t_T = 1,1t_{\text{фп}} - 2,7, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3)$$

де $t_{\text{фп}}$ — температура формувальної поверхні, $^\circ\text{C}$.

Під час бродіння дріжджового тіста в герметичному бункері відбувається безперервне виділення вуглекислого газу, який розчиняється вологою тіста та поглинається білковим комплексом речовин. Під час екструдування на виході з формувального каналу внаслідок перепаду тиску від надлишкового до атмосферного відбувається виділення вуглекислого газу у вільному стані і тістовий джгут розрихлюється, змінюється його густина, яка визначається тільки тією кількістю газу, що знаходиться в тістовій заготовці у вільному стані. Вуглекислий газ у розчиненому й адсорбованому стані на зміну густини тіста не впливає. Густина тіста характеризує ступінь розрихлення тістового джгута перед випіканням.

Нами розрахована зміна густини тістового джгута залежно від вмісту газової фази у вільному стані (рис. 3).

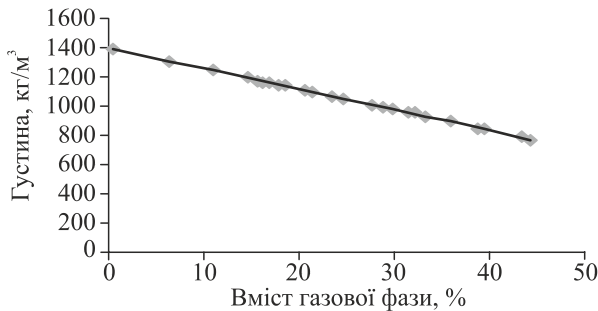


Рис. 3. Залежність густини від вмісту газової фази

У результаті оброблення експериментальних даних встановлено, що густина тістового джгута ρ змінюється за лінійною залежністю і описується рівнянням:

$$\rho = A - 14G, \text{ кг/м}^3, \quad (4)$$

де G — вміст газової фази, %; $A=1400$ — початкова густина тіста без вмісту газової фази, кг/м^3 .

Розчинність вуглекислого газу у воді значною мірою залежить від температури. Зі збільшенням температури збільшується вміст вуглекислого газу у вільному стані. Збільшення центрів газоутворення під час виділення вуглекислого газу не відбувається, а відбувається тільки ріст існуючих газових пухирців, які утворюються в місцях розташування дріжджових клітин.

Середня швидкість потоку тіста змінюється залежно від температури поверхневих шарів тістового джгута.

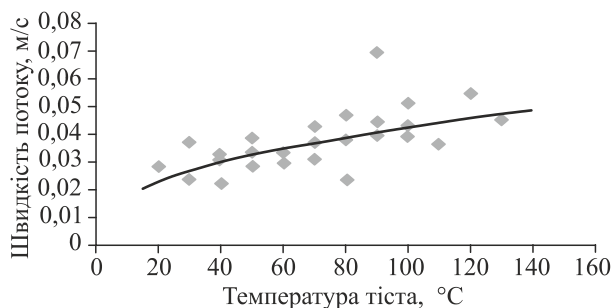


Рис. 4. Залежність середньої швидкості потоку від температури тіста

Зміну швидкості потоку при збільшенні температури тіста в досліджуваному діапазоні можемо описати степеневою залежністю:

$$v = 0,01t_T^{0,4}, \text{ м/с}, \quad (5)$$

де t_m — температура тіста, °C.

Температура тіста змінювалась від 20 °C до 130 °C. Залежність середньої швидкості потоку тіста від температури має степеневий характер, зі збільшенням температури середня швидкість потоку збільшується. Це обумовлено тим, що зі збільшенням температури ефективна в'язкість поверхневих шарів зменшується.

Збільшення середньої швидкості потоку призводить до збільшення масової продуктивності, що описується лінійною залежністю (рис. 5).

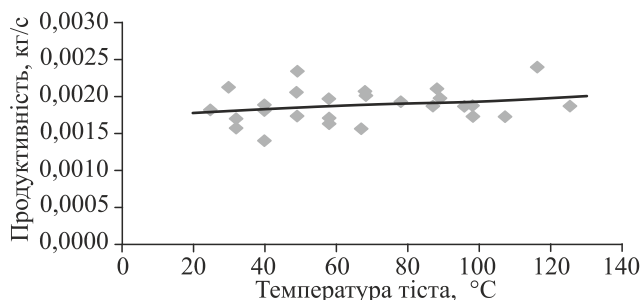


Рис. 5. Залежність продуктивності від температури тіста

Незначне збільшення масової продуктивності відбувається і за рахунок збільшення коефіцієнта розширення тістового джгута залежно від температури тіста внаслідок створення сприятливих умов у зв'язку з послабленням структури тістової маси.

Для побудови кривих течії дріжджового тіста з різним вмістом вуглекислого газу використовуємо отримані нами експериментальні дані залежності об'ємної витрати V (м³/с) від перепаду тиску Δp по довжині капіляра. Капіляром у даному випадку є формувальна матриця круглого перерізу.

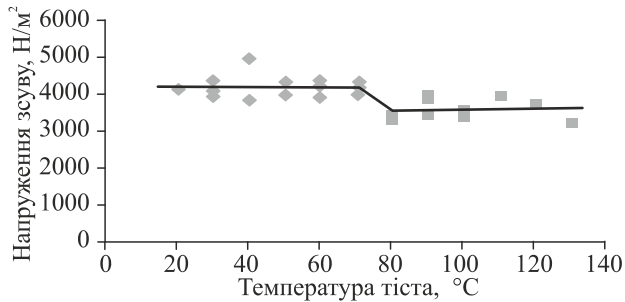


Рис. 6. Залежність напруження зсуву від температури тіста

Напруження зсуву від 20 °С до 70 °С практично не змінюється, знаходячись на позначці 4220 Н/м², у діапазоні 70—80 °С відбувається різке падіння напруження зсуву до позначки 3514 Н/м², таке різке падіння пов'язано з послабленням білкового каркасу й ослабленням колоїдних зв'язків у тісті. В наступному діапазоні від 80 до 130 °С напруження зсуву залишається сталою величиною, але внаслідок денатурації білків і клейстеризації крохмалю структура тіста змінюється.

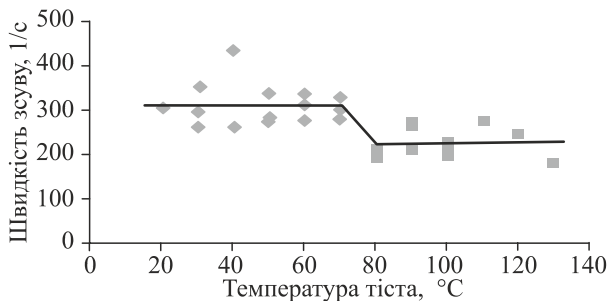


Рис. 7. Залежність швидкості зсуву від температури тіста

Відбувається різна зміна консистенції тіста (τ_1 в діапазоні 20—70°C, τ_2 в діапазоні 80—130 °C): $\tau_1=4220$ Па, $\tau_2=3514$ Па (рис. 6).

Прогрівання верхніх шарів тістового джгута призводять до різкого зменшення швидкості зсуву (рис. 7). Залежність швидкості зсуву від температури має лінійний характер двох послідовних прямих (γ_1 в діапазоні 20—70 °C, γ_2 в діапазоні 80—130 °C): $\gamma_1=313$ с⁻¹, $\gamma_2=215$ с⁻¹ (рис. 7).

Ефективна в'язкість зменшується із збільшенням швидкості зсуву і збільшується з підвищенням температури тіста (рис. 8), що обумовлено орієнтацією високомолекулярних сполук тіста у напрямку руху під дією зростаючих зусиль зсуву, також при підвищенні температури дріжджового тіста спостерігається збільшення в'язкості тіста внаслідок денатурації білків.

Клейстеризація з підвищенням температури тіста полягає у руйнуванні внутрішньомолекулярних водних зв'язків крохмалю, «плавлення» кристалічних частин його молекул, аморфізації структури з приєднанням за рахунок

полярних груп молекул значної кількості води, що також супроводжується збільшенням в'язкості тіста.

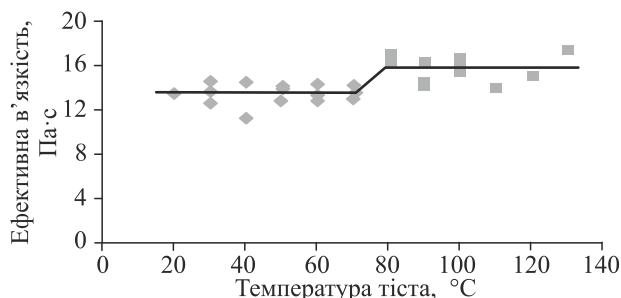


Рис. 8. Залежність ефективної в'язкості від температури тіста

Важливим показником якості готового виробу є пористість. Пористість сухарних виробів має на меті велику кількість пор, рівномірних за розмірами та характером розподілення по перерізу виробу.

Під час вистоювання відбувається формування пористості виробів, значне збільшення кількості газу в порах заготовки визначає ріст об'єму при випіканні. Оптимальні умови вистоювання забезпечують більший об'єм виробів, м'яку ніжну м'якушку з добре розвиненою пористістю. Температура формувальної поверхні безпосередньо впливає на якість готового виробу: стан поверхні та структуру пористості тістових джгутів із газонаповненого тіста.

Для оцінки пористості готових виробів джгут розрізали, фотографували та за допомогою програми ImageJ знаходили пористість готового виробу і рахували кількість пор. ImageJ — це програма оброблення зображень, в якій можна розрахувати площу і ступінь деталізації зображення, статистику визначених користувачем виборів, вимірювати відстані і кути, створити гістограми щільності та профільні лінії ділянок.

Зі збільшенням температури поверхневих шарів тіста пористість збільшується в незначній мірі за температури близько 50 °C, а далі залишається практично сталою (рис. 9).

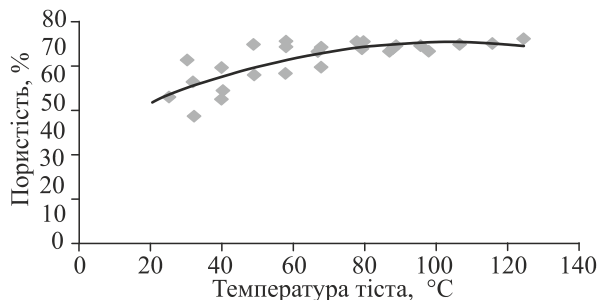


Рис. 9. Залежність пористості від температури тіста

Залежність кількості пор за різної температури формування зображено на гістограмі (рис. 10). Найкращі показники спостерігаються за температури формувальної поверхні 40—50 °C — на 1 см² 410—454 пори (рис. 10). Це зумовлено

тим, що така температура є найбільш сприятливою для життєдіяльності дріжджів і сприяє виникненню дрібнозернистої структури продукту.

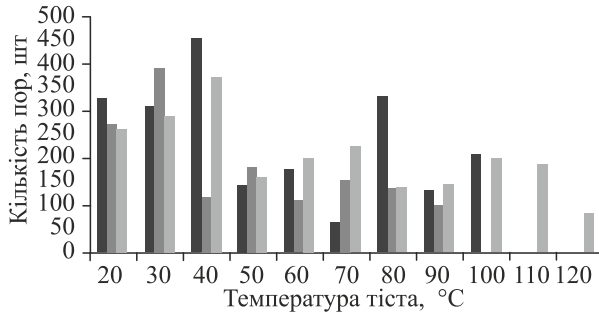


Рис. 10. Залежність кількості пор від температури тіста

На гістограмі спостерігаємо і другий пік збільшення кількості пор за температури 70—80 °С, що пояснюється наявністю термофільних кислomолочних бактерій, які можуть перебувати в активному стані і за більш високих температур. Однак характер пор за розмірами та розподілом погіршується, що в результаті призводить до погіршення стану поверхні готових виробів.

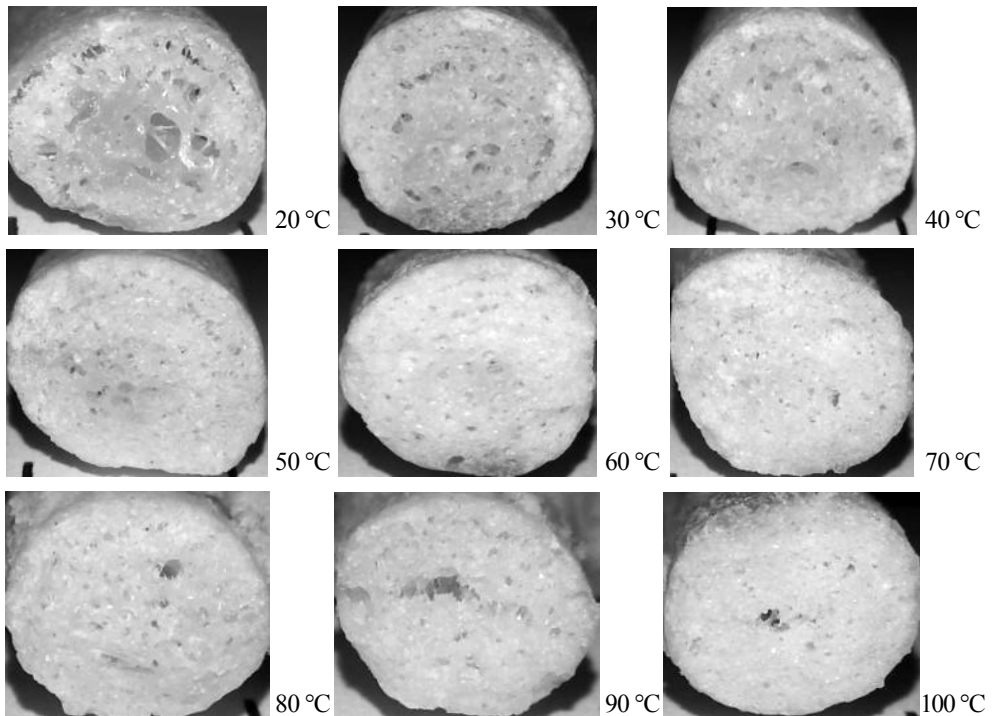


Рис. 11. Експериментальні зразки готових виробів за різної температури формувальної поверхні

Характер і структура пористості готових виробів за різної температури формувальної поверхні зображені на рис. 10. Краща структура з рівномірним розподілом пор спостерігається при 40 °С. Прогрівання верхніх шарів тістового

джугта призводить до інтенсивного виділення з них вуглекислого газу, розчинність якого залежить значною мірою від температури тіста. Зі збільшенням температури тіста більша частина вуглекислого газу втрачається в навколишнє середовище, а частина газу спрямовується на розрихлення тістової заготовки.

Висновки

Дослідженнями встановлено що під час екструдювання газонаповненого тіста можливе підігрівання формувальної матриці, що позитивно впливає на параметри процесу та якість готових виробів. Найкращі результати за структурою пористості та станом поверхні готових виробів отримано в діапазоні температури 40—50 °С.

Література

1. *Turnbull K.* Pasta and Semolina Technology / Karl Turnbull. — Praha: Blackwell Science, 2001. — 238 p.
2. *Guy R.* Extrusion cooking. Technologies and applications / Ron Guy. — London: Woodhead Publishing Limited, 2000. — 210 p.
3. *Guy R.* Measurement technique on the diffusion coefficient / Ron Guy. — London: flow in a screw feeder, 2007. — 410 p.
4. *Guy R.* Rheological Properties of Rice Starch at High Moisture Contents during Twin-screw Extrusion Food Science and Technology / Ron Guy. — London: Head Publishing, 1997. — 496 p.
5. *Kudinova O.* Modelling of process in twin-screw dough-mixing machines / O. Kudinova, O. Kravchenko, I. Lytovchenko, Y. Telychkun, O. Gubenia, V. Telychkun, I. Dovgun // Journal of Food and Packaging Science. Technique and Technologies. — 2014. — # 5. — P. 64—68.
6. *Main N.A.* contribution to simulation of mixing in screw extruders / Nina Main. — Brussel: mixing in screw extruders, 2005. — 330 p.
7. *Akdogan H.* Dynamic Response of a Twin screw lab-size extruder to changes in operating variables / Hleb Akdogan. — Tallinn: Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 2005. — 212 p.
8. *Ardakani H.* Thixotropic flow of toothpaste through extrusion dies / Hass Ardakani. — Iran: Technology of Extrusion Cooking, 2005. — 196 p.
9. *Mercier C.* Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products / Cam Mercier. — Paris: Cereal Chemistry, 2003. — 210 p.
10. *Miller R.* Effect of wear on twin-screw extruder performance / Ron Miller. — Munchen: Food Technol, 1984. — 510 p.
11. *Paton G.* Laboratory food extrusion / Gim Paton. — Munchen: The design of a horisontally split barrel, 2005. — 180 p.
13. *Peng J.* Rheological Properties of Rice Starch / Jon Peng. — London: Twin-screw Extrusion, 2000. — 426 p.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФОРМОВОЧНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТРИЦЫ ЭКСТРУДЕРА НА КАЧЕСТВО ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

В.В. Рачок, Ю.С. Теличкун, В.И. Теличкун

Национальный университет пищевых технологий

Ц. Янакиев, С. Стефанов, А. Симитчиев

Университет пищевых технологий (г. Пловдив, Болгария)

В статье исследован характер влияния температуры формовочной поверхности на качество готовых изделий. Установлено, что температура поверхностных

слоев теста линейно зависит от температуры формовочной поверхности. Рассчитано изменение плотности тестового жгута в зависимости от содержания газовой фазы. Проведено исследование изменения средней скорости потока теста в зависимости от температуры поверхностных слоев тестового жгута. Доказано, что прогревание верхних слоев тестового жгута и изменение реологических характеристик приводят к резкому перепаду напряжения сдвига. Определено, что эффективная вязкость уменьшается с увеличением скорости сдвига и увеличивается с повышением температуры теста, также при повышении температуры дрожжевого теста наблюдается увеличение вязкости теста в результате денатурации белков.

Ключевые слова: *экструзия, температура, дрожжевое тесто, вязкость, пористость.*