

ра дає подальші перспективи у розробці та проектуванні аналогічних конвеєрів для конкретних цехових умов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соави Ф. Новый тип винтового конвейера для металлической стружки [Текст] / Ф.Соави, О.Зурла, Р.Леви // Літопис - технологія виробництва. – 1990. – Т. 39. – № 1. – С.399-404.
2. Оуен Ф.Д. Прогнозирование производительности винтового конвейера с использованием метода дискретных элементов [Текст] / Ф.Д.Оуен, П.В.Клири // Порошковая технология. – 2009. – Т. 193. – № 3. – С.274-288.
3. Гевко І. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами [Текст] / І.Гевко, Р.Рогатинський, А.Дячун // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – 2012. – № 16. – С.237-246.
4. Ловейкін В. Оптимізація режимів роботи гвинтових конвеєрів [Текст] / В.Ловейкін, О.Рогатинська // Підйомно-транспортна техніка. – 2004. – № 2. – С.8-15.
5. Лещу Р. Результати експериментальних досліджень гвинтових перевантажувальних механізмів [Текст] / Р.Лещук, І.Гевко, Р.Комар // Вісник ТДТУ. – 2003. – Т. 8, № 4. – С.56-61.
6. Хальфин М.Н. Расчет гибкого винта шнека с учетом неравномерности распределения нагрузок по длине [Текст] / М.Н.Хальфин, С.С.Подуст, Р.К.Шагеев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – №2-1. – С.23-27.
7. Пат. 83441 Україна, МПК В 65 G 33/14. Шнековый конвеер / Д.П.Часов, А.М.Тихонцов; заявник та патентовласник Дніпродзержинський державний технічний університет. – № u201303544; заявл. 22.03.13; опубл. 10.09.13, Бюл. № 17.
8. Часов Д.П. Анализ количественных и качественных показателей производительности модернизированного шнекового конвейера / Д.П.Часов // Вісник національно технічного університету «ХП». – 2013. – С.188-193.

Надійшла до редколегії 28.09.2016.

УДК 664.61

ЯЦУК А.Л., ст. викладач
ГАЛАГУЗА В.В., студент

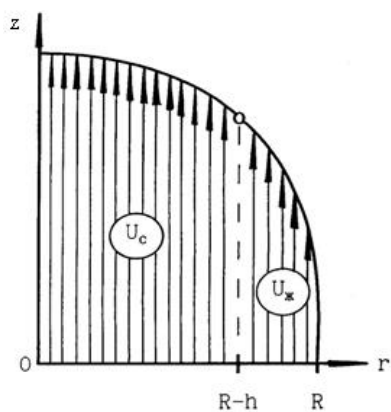
Дніпродзержинський державний технічний університет

РЕЖИМ ТЕЧІЇ, КОЛИ ШВИДКІСТЬ МАТЕРІАЛУ ТІСТА ПЕРЕВИЩУЄ ШВИДКІСТЬ РІДИНИ В ЗМАЩУВАЛЬНОМУ ПРОШАРКУ

Вступ. Екструзія – прогресивний метод формування в'язких мас, що дає можливість забезпечувати високу механізацію виробництва та підвищити ефективність роботи обладнання для формування борошняних виробів. При формуванні харчових мас, в тому числі крутого тіста, методом екструзії виникають вимоги до стабільності геометричної форми екструдату, якості його поверхні та однорідності відформованої заготовки, які не завжди забезпечуються на практиці. Останні іноді погіршують товарний вигляд та якість виготовленого продукту.

У зв'язку з цим виникає цікавість розглянути теоретичні та практичні питання течії деяких харчових мас по формуючому каналу одночасно з іншою рідиною набагато меншої в'язкості, що рівномірно покриває поверхню екструдату та одночасно рухається з ним. Таку екструзію прийнято називати соекструзією, коли два чи більше потоків маси, що випресовується, різної в'язкості сумісно продавлюють через матрицю.

Постановка задачі. Розглянемо процес екструзії матеріалу з тіста в циліндричному каналі при наявності пристінного змащувального прошарку. В рамках запропоно-



$U_{ж}$, U_c – відповідно швидкості потоків рідини, що змащує, та матеріалу тіста вздовж осі z ;
 R – внутрішній радіус отвору;
 h – товщина змащувального прошарку

Рисунок 1 – Передбачуваний профіль швидкості матеріалу з тіста і рідини, що змащує, в поперечному перерізі каналу

ваної постановки задачі можуть бути реалізовані два характерні режими течії [1].

Перший режим має місце в тому випадку, коли середня швидкість матеріалу з тіста перевищує середню швидкість рідини в змащувальному прошарку. У такій ситуації центральне ядро матеріалу з тіста немов би «захоплює» за собою мастильний шар. Очікуваний профіль швидкостей в поперечному перерізі каналу представлено на рис.1.

Другий режим течії в рамках розглянутої математичної моделі має місце тоді, коли середня швидкість рідини в змащувальному прошарку перевищує середню швидкість екструзії матеріалу тіста. У цьому випадку на їх спільному кордоні змащувальна рідина повинна «захоплювати» за собою матеріал тіста. При цьому очікуваний профіль швидкостей в поперечному перерізі отвору повинен мати вигляд, наведений в [2].

Результати роботи. Розглянемо розв’язання поставленої задачі для першого випадку. Тоді умови, що накладаються на параметри системи, мають вигляд:

$$\left. \frac{\partial U_{ж}}{\partial r} \right|_{r=R-h} < 0; \quad U_{ж}|_{r=R-h} < \frac{M_c}{\rho_c \cdot \pi (R-h)^2}, \quad (1)$$

де ρ_c – щільність матеріалу з тіста, кг/м^3 ;

M_c – масова витрата матеріалу з тіста, кг/с .

Інтегруючи рівняння $\frac{\partial p_{ж}}{\partial z} = \mu_{ж} \frac{\partial^2 U_{ж}}{\partial r^2}$ [1] двічі по r при крайових умовах $r = R$

$\frac{\partial p_{ж}}{\partial r} = 0$, $r = R$ $U_{ж} = 0$, отримуємо:

$$U_{ж} = \frac{1}{2\mu_{ж}} \cdot \frac{\partial p_{ж}}{\partial z} (r^2 - R^2) + C_1 (r - R), \quad (2)$$

де C_1 – невідома константа інтегрування;

$\mu_{ж}$ – в’язкість змащувальної рідини, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$p_{ж}$ – тиск змащувальної рідини, Па .

Підставляючи $\tau_c = -\mu_c \left| \frac{\partial U_c}{\partial r} \right|^{n-1} \cdot \frac{\partial U_c}{\partial r}$ в $\frac{\partial p_c}{\partial z} = -\frac{\partial \tau_c}{\partial r}$, $\frac{\partial p_c}{\partial r} = 0$ та зробивши інтегрування по r , знаходимо [1]:

$$\left| \frac{\partial U_c}{\partial r} \right|^{n-1} \cdot \frac{\partial U_c}{\partial r} = \frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{\partial p_c}{\partial z} r + C_2, \quad (3)$$

де τ_c – дотичне напруження в матеріалі з тіста, Па ;

μ_c – коефіцієнт консистенції маси з тіста, який представляє собою уявний параметр в’язкості, $\text{Па}\cdot\text{с}^2$;

n – характеристика аномалії в’язкості;

p_c – тиск матеріалу тіста, Па .

З урахуванням крайової умови $r = 0 \quad \partial U_c / \partial r = 0$ отримуємо:

$$C_2 = 0. \quad (4)$$

Оскільки в рамках випадку, що розглядається (рис.1), $\partial U_c / \partial r < 0$, маємо:

$$\frac{\partial U_c}{\partial r} = - \left| \frac{\partial U_c}{\partial r} \right|. \quad (5)$$

З урахуванням (4), (5) рівняння (3) трансформується до вигляду:

$$\left| \frac{\partial U_c}{\partial r} \right| = \left(- \frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{\partial p_c}{\partial z} \right)^{1/n} \cdot r^{1/n},$$

або, використовуючи (5), знаходимо:

$$\frac{\partial U_c}{\partial r} = - \left(- \frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{\partial p_c}{\partial z} \right)^{1/n} \cdot r^{1/n}.$$

Інтегруючи останнє рівняння по r , приходимо до наступного:

$$U_c = - \frac{n}{n+1} \left(- \frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{\partial p_c}{\partial z} \right)^{1/n} \cdot r^{(n+1)/n} + C_3, \quad (6)$$

де C_3 – невідома константа інтегрування.

Для визначення констант C_1 і C_3 , що входять у вирази (2), (6), використовуємо крайові умови «зшивання» швидкостей та дотичних напружень $r = R - h$, $U_c = U_{ж}$ на загальній межі змащувальної рідини та матеріалу тіста. Беручи до уваги $p_c = p_{ж}$ та після деяких перетворень, отримуємо:

$$\begin{cases} C_1 = 0 ; \\ C_3 = \frac{1}{2\mu_{ж}} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} [(R-h)^2 - R^2] + \frac{n}{n+1} \left(- \frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right)^{1/n} \cdot (R-h)^{(n+1)/n}, \end{cases} \quad (7)$$

де $p = p_c = p_{ж}$ для кожного поперечного перетину в каналі.

Підставляючи (7) в (2) та (6), приходимо до остаточного вигляду співвідношень, що визначають поле швидкостей змащувальної рідини та матеріалу тіста в отворі:

$$\begin{cases} U_{ж} = \frac{1}{2\mu_{ж}} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} (r^2 - R^2); \\ U_c = \frac{1}{2\mu_c} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} [(R-h)^2 - R^2] + \frac{n}{n+1} \left(- \frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right)^{1/n} \times \\ \times [(R-h)^{(n+1)/n} - r^{(n+1)/n}]. \end{cases} \quad (8)$$

Остаточне розв'язання задачі призводить до визначення співвідношень:

$$h = h(z); \quad p = p(z). \quad (9)$$

Звідси приходимо до наступної системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} Q_{жс} &= \frac{\pi}{4\mu_{жс}} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \left[-R^4 + (R-h)^2 (2R^2 - (R-h)^2) \right]; \\ \frac{M_c}{2\pi\rho_{c0}} &= \frac{1}{4\mu_{жс}} \left(\frac{p}{p_{c0}} \right)^K \frac{\partial p}{\partial z} \left[(R-h)^2 - R^2 \right] (R-h)^2 + \\ &+ \frac{n(R-h)^{(3n+1)/n}}{2(3n+1)} \left(\frac{p}{p_{c0}} \right)^K \left(-\frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right)^{1/n}, \end{aligned} \right. \quad (10)$$

де ρ_{c0} – характерне значення щільності тіста, кг/м³;

p_{c0} – характерне значення тиску, при якому матеріал тіста має дану щільність, Па;

k – показник ступеня стискання матеріалу тіста.

У випадку, коли подача змащувальної рідини відсутня ($Q_{жс} = 0$; $h = 0$), розподіл тиску вздовж отвору описується рівнянням

$$\frac{M_c}{\pi\rho_{c0}} = \frac{nR^{(3n+1)/n}}{3n+1} \left(\frac{p}{p_{c0}} \right)^K \left(-\frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right)^{1/n},$$

розв'язання якого з урахуванням крайової умови $z = L$, $p_c = p_{жс} = p_a$ має вигляд:

$$p = \left\{ p_a^{kn+1} + \mu_c \cdot (kn+1)(L-z) \left\{ \frac{M_c(3n+1)P_{c0}^k}{\pi\rho_{c0} \cdot nR^{(3n+1)/n}} \right\}^n \right\}^{1/(kn+1)}, \quad (11)$$

де L – довжина отвору, м;

p_a – тиск зовнішнього середовища за межами отвору, Па.

Тиск матеріалу тіста p_0 на вході в отвір визначається із (11) за формулою

$$p_0 = \left\{ p_a^{kn+1} + \mu_c \cdot (kn+1) \cdot L \left\{ \frac{M_c(3n+1)P_{c0}^k}{\pi\rho_{c0} \cdot nR^{(3n+1)/n}} \right\}^n \right\}^{1/(kn+1)}. \quad (12)$$

Висновки. В результаті дослідження режиму течії, коли середня швидкість рідини в змащувальному прошарку перевищує середню швидкість екструзії матеріалу тіста, отримано рівняння розподілу швидкостей рідини в поперечному перетині шару, що змащує, та систему рівнянь масової витрати матеріалу тіста та об'ємної витрати рідини, що змащує. Запропонована методика дозволяє значно спростити розрахунки параметрів безконтактного пресування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Брылёв Е.А. Течение тестовой композиции в профилирующем канале с гидродинамической смазкой / Брылёв Е.А., Яцук А.Л. // Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий: сб. науч. трудов КГМТУ. – Керчь: КГМТУ. – 2010. – Вып. 11. – С.21-24.
2. Яцук А.Л. Режим течії композиції з тіста, коли швидкість рідини в змащувальному прошарку перевищує швидкість екструзії / Яцук А.Л. // Зб. наук. праць Дніпродзерж. держ. техн. унів-ту (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2015. – Вип. 2(27). – С.85-88.

Надійшла до редколегії 28.09.2016.