

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕЧІЇ ГАЗОНАПОВНЕНОГО ТІСТА В  
ЦИЛІНДРИЧНОМУ ФОРМУВАЛЬНОМУ КАНАЛІ**

Для вдосконалення теорії і методів розрахунку екструзійного обладнання з метою оптимального конструювання вузлів екструзійної техніки, для поглиблення розуміння фізичної суті процесу та визначення кількісних характеристик процесу екструдкування доцільно поряд з фізичними методами досліджень використовувати методи математичного моделювання. Математична модель процесу дозволяє прогнозувати якість продукту і вибір оптимальних параметрів ведення процесу.

Математичне моделювання потоку виброжденного дріжджового тіста в екструзійному обладнанні зводиться до вирішення наступних задач, які відрізняються параметрами процесу, станом середовища, властивостями: опису течії в нагнітальному пристрої, течії дріжджового тіста в бродильній камері екструдера, течії в формувальних каналах матриці та опису поведінки тістового джгута після виходу із формувального каналу матриці.

Оскільки течія в камері бродіння відбувається під тиском 0,2-0,4 МПа, ми можемо розглядати потік тістової маси як ламінарний сталий потік рідини, яка не стискається, і реологічні характеристики описуються степеневим законом.

Для визначення профілю швидкості в каналі скористаємося експериментально визначеними значеннями середньої швидкості потоку на деякій відстані від формувального каналу. Оскільки, масова витрата є сталою величиною і на ділянці руху в каналі і на виході із останнього, а змінюється лише площа поперечного перерізу потоку та його середня швидкість  $w_{сep}$ , тобто швидкість з якою мали б рухатись всі складові частини потоку тіста через переріз площею  $F$ , якби об'ємна витрата потоку дорівнювала б витраті  $V$  при дійсних швидкостях потоку:

$$w_{сep} = \frac{V}{F} \quad (1)$$

Оскільки масова продуктивність пов'язана з об'ємною залежністю:

$$Q = V\rho, \quad (2)$$

Тоді, масова продуктивність в перерізі потоку на виході із каналу дорівнює масовій продуктивності на деякій відстані від останнього, тобто:  $Q_k = Q_\infty$   
звідси справедливою буде наступна рівність:

$$V_k \rho_k = V_\infty \rho_\infty \quad (3)$$

де  $V_k$  -об'ємна продуктивність на виході з каналу, м<sup>3</sup>/с  
 $\rho_k$  -густина тістового джгута на виході з каналу, кг/м<sup>3</sup>  
 $V_\infty$  -об'ємна продуктивність на деякій відстані від каналу, м<sup>3</sup>/с  
 $\rho_\infty$  -густина тістового джгута на деякій відстані від каналу, кг/м<sup>3</sup>  
 Враховуючи вищесказане можемо записати:

$$w_{сep}^k F^k \rho^k = w_{сep}^\infty F^\infty \rho^\infty, \quad (4)$$

$w_{сep}^k$  середня швидкість потоку в каналі, м/с  
 $F^k$  площа поперечного перерізу каналу, м<sup>2</sup>  
 $w_{сep}^\infty$  середня швидкість потоку на деякій відстані від каналу м/с;  
 $F^\infty$  площа поперечного перерізу потоку на деякій відстані від каналу,

Тоді середню швидкість в каналі знайдемо при умові, що всі інші величини отримані експериментальним шляхом:

$$w_{сep}^k = w_{сep}^\infty \frac{F^\infty \rho^\infty}{F^k \rho^k}, \quad (5)$$

Враховуючи залежність профілю швидкості потоку в каналі для псевдопластичних рідин [1]:

$$w = \frac{n}{1+n} \left( \frac{\Delta P}{2l\eta} \right)^{\frac{1}{n}} \left( R^{\frac{n+1}{n}} - r^{\frac{n+1}{n}} \right), \quad (6)$$

де  $n$ - показник степеня в реологічному рівнянні [6];

$\Delta P$  -різниця тиску по довжині каналу, МПа;

$\eta$  -ефективна в'язкість газонаповненого тіста, Па·с.

Також використовуємо залежності між профілем швидкості та максимальною і середньою швидкістю:

$$w^k = w_{сep}^k \left( \frac{3n+1}{n+1} \right) \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right], \quad w^k = w_{max} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (7)$$

Розраховуємо максимальне, середнє значення швидкості та профіль швидкості по перерізу потоку в каналі в залежності від вмісту в тісті газової фази.

Результати розрахунків, представлені на *рис. 1* для тістового джгута з вмістом вуглекислого газу 0 і 40 % і діаметра каналу 0,006м, свідчать про те, що наповнення тіста вуглекислим газом значно впливає на епюру швидкості в каналі та на середню швидкість потоку після виходу з каналу, що підтверджується експериментальними даними.

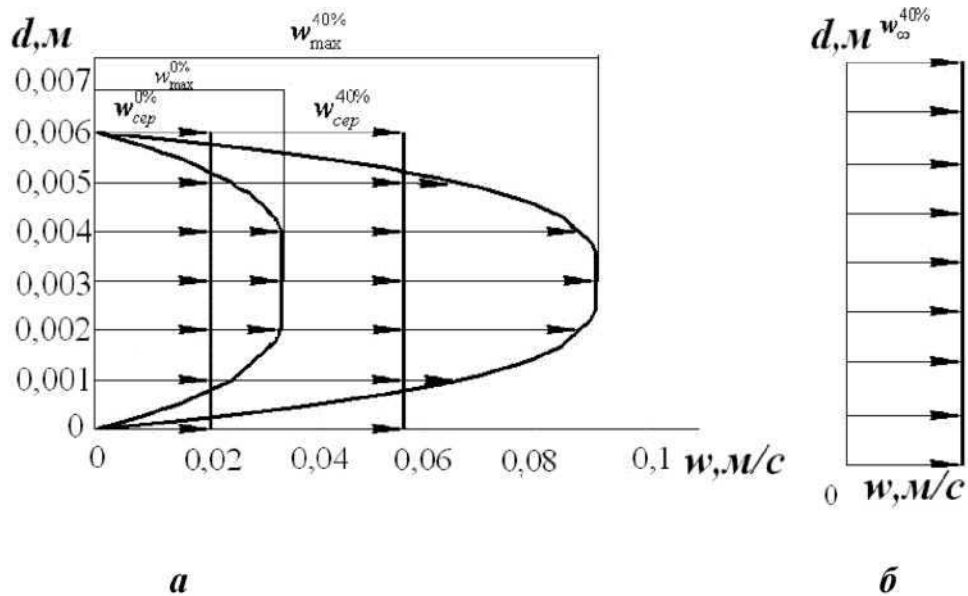


Рис. 1. Епюра швидкості по перерізу каналу *а*, та на деякій відстані від виходу *б*.

Таким чином, створена нами математична модель дозволила отримати розподіл швидкості по перерізу потоку в циліндричному каналі в залежності від вмісту вуглекислого газу з врахуванням реологічних характеристик матеріалу.

### Література

1. Теличкун Ю.С. Удосконалення процесу екструдювання дріжджового тіста з метою створення високоефективного обладнання. Автореферат дисертації на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук. - К.: НУХТ. - 2011р.
2. Теличкун Ю.С., Теличкун В.І., Десик М.Г. Вдосконалення оброблення тістових заготовок із дріжджового тіста екструдюванням / Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка: тези доповідей міжнар. наук.-техн. конф.: - Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. - С.62-63.
3. Теличкун Ю.С., Евтушенко А. Е. Реологические характеристики газонаполненного теста / Техника и технология пищевых производств: VI Междунар. науч. конф.: тез. док. - Часть 1. - Могилёв: УО МГУПП, 2008. - с.174.