

У ході комбінування пружних елементів один з одним, а також з їх розташуванням на машині з метою підвищення надійності роботи, збільшення продуктивності тощо виникли нові види лотків-транспортерів із різними пружними системами.

Вібраційні конвеєри досить прості в здійсненні автоматизації роботи, тобто в регулюванні режиму транспортування (швидкість руху, інтенсивність підкидання матеріалу та інше) в відповідності до процесу сушіння або охолодження.

Таким чином, проаналізувавши основні структурні схеми вібраційних транспортувальних машин, можна зробити висновок, що сучасні технологічні процеси в харчовій промисловості та багатьох інших галузях вимагають обладнання з високою надійністю, тому актуальним є створення методики інженерних розрахунків і вибору оптимальних параметрів роботи вібраційного обладнання.

### Література

1. Ланець О.С. Розвиток міжрезонансних машин з електромагнітним приводом // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2008. – Вип. 42.
2. Блехман И.И. Исследования процесса вибросепарации и вибротранспортировки // Инженерный сборник, 1952. – Т. 11.
3. Вибрации в технике: Справочник. Т. 2. / Под. ред. И.И. Блехмана, – М.: Машиностроение. – 1979. – 351 с.
4. Повідайло В. Вібраційні процеси та обладнання // Навч. посібник. – Львів: НУ«Львівська політехніка». – 2004.
5. Силян Р.И. Автоматизация производственных процессов в машиностроении // Учебное пособие. – Хмельницький: ХНУ. – 2004. – 270 с.

УДК 664.61

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ПРЕСУВАННЯ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ

**Яцук А.Л., асистент, Брильов Є.А., канд. техн. наук, доцент  
Дніпродзержинський державний технічний університет**

*Розглянуто пресування макаронних виробів у пристроях з використанням матриць із пористими вкладишами. Досліджено режими безконтактного пресування.*

*Considered pressing pasta devices using the matrix with porous inserts. Investigated regimes of non-contact molding.*

Ключові слова: безконтактне пресування, матриця, макаронні вироби, екструзія.

### Вступ.

Виробництво макаронних виробів є одним із головних напрямків харчової промисловості України. Основні достоїнства макаронних виробів як продукту харчування:

- здатність до тривалого збереження (більше року) без зміни властивостей;
- швидкість і простота готування (тривалість варіння в залежності від асортименту становить від 3 до 20 хв);
- відносно висока харчова цінність: страва, приготовлена зі 100 г сухих виробів, на 10 – 15 % задовольняє добову потребу людини в білках і вуглеводах;
- висока засвоюваність основних живильних речовин макаронних виробів – білків і вуглеводів.

Для виготовлення макаронних виробів використовується устаткування як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Останнім часом з метою підвищення продуктивності праці та розширення асортименту продукції проводиться ряд заходів щодо модернізації чи заміни устаткування, розробки і впровадження перспективних технологій.

Процес виробництва макаронних виробів складається з таких основних операцій: підготовки сировини, готування тіста, пресування, оброблення сирих виробів, сушіння, охолодження висушених виробів, відбраковування й упакування готових виробів.

Мета пресування, яке називається екструзією, – ущільнити замішане тісто, перетворити його в однорідну зв'язану в'язкопластичну тістову масу, а потім надати їй визначеної форми. Тісто формується, про-

давлюючи його через отвори (фільтри), пророблені в металевій матриці. Форма отворів визначає форму сирих виробів (напівфабрикату), що відпресовуються. На сучасних макаронних підприємствах ущільнення макаронного тіста і формування з нього сирих виробів здійснюють на шнекових пресах.

Шнекові макаронні преси класифікують за числом корит тістомішалки (одно-, дво-, три- і чотирикоритні), за числом пристроїв, що пресують, чи шнеків, що пресують (одно-, дво- і чотиришнекові), за формою матриці (кругла чи прямокутна).

Характер руху тіста у формуючих каналах матриці обумовлений співвідношенням двох сил: сил зчеплення часток тіста між собою, тобто сил когезії, і сил зчеплення часток тіста з поверхнею формуючих каналів, тобто сил адгезії (прилипання).

Прилипання тіста до стінок формуючих отворів матриці – основна причина утворення шорсткуватої поверхні відформованих виробів; прилиплий прикордонний шар тіста залишається нерухомим, другий шар відривається від нього з утворенням надривів і тріщинок, що додають поверхні виробів шорсткість.

Шорсткість поверхні макаронних виробів знижує їхній товарний вигляд, зменшує ступінь насиченості жовтого кольору виробів із крушки твердої пшениці, збільшує втрату сухих речовин у процесі варіння виробів, ступінь мутності варильної рідини внаслідок відриву задинок від виробів при варінні. Крім того, при в'язкій течії затрачується додаткова механічна енергія на подолання сил зчеплення часток тіста між собою, на відрив тіста від прилиплого до каналу матриці елементарного шару, а також сповільнюється швидкість випресовування, тобто знижується продуктивність преса. Тому зменшення прилипання тіста до поверхні формуючих каналів матриці дає значні технічні й економічні вигоди.

Найбільш радикальний спосіб зниження прилипання макаронного тіста до формуючих каналів матриць – виготовлення каналів з матеріалів, до яких тісто не прилипає. Таким матеріалом служить пластмаса тефлон (вітчизняний аналог – фторопласт-4). Через низьку міцність тефлону виготовляти матриці цілком з нього не можна, тому використовують різні варіанти установки тефлонових вставок у формуючі щілини металевих матриць.

Однак і матриці з тефлоновими вставками не позбавлені недоліків. Ці матриці мають невисоку зносостійкість, вимагають акуратного використання при експлуатації й очищенні, застосування ретельно просіяного борошна та ін. У випадку ушкодження тефлонової вставки або її випадання вся матриця виходить з ладу, а це досить дорогий виріб.

Маються розробки за рубежом, у яких високов'язкі маси, що транспортуються, у трубопроводі оточують кільцевою оболонкою з малов'язкої рідини, внаслідок чого знижується тертя.

У зв'язку з цим видається актуальним розробка конструкції макаронних пресів, у яких опір руху тіста в матрицях, що пресують, було б зведено до мінімуму, що дозволить підвищити ефективність їхньої роботи, а також продуктивність.

### **Постановка задачі**

Метою цієї роботи є розв'язання задачі безконтактного формування макаронних виробів на основі розробки і дослідження принципово нового способу і пристроїв, що відповідають сучасним вимогам макаронного виробництва.

Відповідно до мети дослідження поставлені наступні завдання:

- розробити принципово новий безконтактний спосіб пресування макаронних виробів з використанням повітряного прошарку;
- з'ясувати перспективи застосування даного способу для різних макаронних виробів у залежності від технологічних особливостей виробництва;
- розробити конструкції формуючих матриць із пористими вкладишами, вибрати матеріал вкладишів, що задовольняє умови харчового виробництва, розрахувати оптимальні параметри матриць;
- розробити методику розрахунку параметрів повітряного прошарку, який забезпечує безконтактне пресування макаронних виробів;
- дослідити вплив режимів роботи на технологічні параметри процесу пресування;
- на підставі порівняльного аналізу технологічних параметрів безконтактного пресування й у звичайних матрицях видати рекомендації з вибору оптимальних режимів пресування;
- розробити конструкцію агрегата для пресування макаронних виробів принципово новим, безконтактним способом;
- видати рекомендації для промислового використання матеріалів дослідження і конструкторських розробок способу і пристрою для безконтактного пресування макаронних виробів.

### **Результати досліджень**

Розроблено структурну схему математичного моделювання процесів, що протікають при пресуванні макаронного тіста через матриці з пористими вкладишами.

Уперше теоретично обґрунтовані й узагальнені різні режими спільного плинну гідродинамічного змащення і тістової композиції в каналі матриці, що пресує.

Отримано закони розподілу тиску і швидкостей робочого середовища в мастильному шарі.

Уперше вирішено спільну задачу плинну повітря в пористому середовищі і мастильному шарі, обґрунтовано вибір витратно-перепадних характеристик для підтримки необхідних параметрів безконтактного пресування.

Уперше розроблена методика розрахунку параметрів повітряного прошарку, який забезпечує безконтактне формування макаронних виробів. Отримані теоретично і досліджені експериментально залежності товщини повітряного прошарку від витрати повітря і тиску в камері, розподілу тиску в прошарку, вплив конструктивних параметрів на продуктивність макаронного преса.

З багатьох видів процесу формування харчових в'язкопластичних мас, що складаються з дисперсної структури, найбільш прогресивним вважається метод екструзії. Однак практика використання екструзії в хімічній та інших галузях не завжди підходить для обробки харчових мас, технологічні параметри яких під час обробки перемінних вимагають визначеного режиму процесу. У зв'язку з цим виникає необхідність принципово нового підходу до процесу екструзії деяких харчових мас, особливо з великим діапазоном зміни в'язкості під час їхньої переробки.

До цього часу практично не існує математично обґрунтованих методів проектування технологічного оснащення для екструзії високов'язких харчових мас із використанням гідродинамічного змащення, а відомі методики розрахунку базуються винятково на емпіричних дослідженнях і мають приватний характер.

Однак розробка перспективного устаткування такого роду припускає обов'язкову побудову математичної моделі гідродинамічних процесів, що протікають у профілюючих каналах у ході спільного плинну тістової маси і мастильного прошарку.

Розглянемо плин неньютонівської рідини по циліндричному каналу (рис. 1).

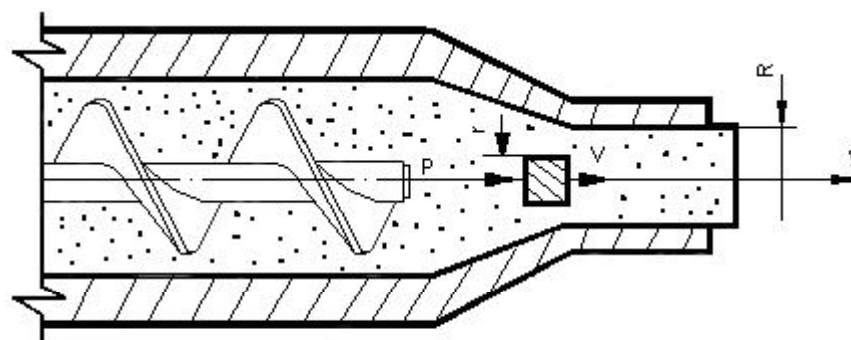


Рис. 1 – Плин неньютонівської рідини по циліндричному каналу

Рівняння руху при ламінарному й ізометричному режимах у циліндричних координатах має такий вигляд:

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial r}(r \tau_y), \quad (1)$$

де  $\tau_y$  – дотичне напруження.

Реологічне рівняння (криву плинну) неньютонівських рідин можна представити у вигляді:

$$\tau = \eta \left( \frac{\partial V_y}{\partial r} \right) = \eta \dot{\gamma}, \quad (2)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт ефективної в'язкості;

•

$\dot{\gamma}$  – градієнт швидкості.

При цьому

$$\eta = \eta_0 \left| \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right|^{n-1}, \quad (3)$$

де  $\eta_0, \dot{\gamma}_0$  – коефіцієнт в'язкості і швидкість зсуву при атмосферному тиску;

$n$  – індекс плинності рідини.

Розв'язуючи рівняння (1), (2), (3), одержимо:

$$V_y = \left( \frac{r \dot{\gamma}_0^n}{n+1} \right) \left[ \frac{r}{2\eta_0 \dot{\gamma}_0} \left( \frac{\partial P}{\partial y} \right) \right]^{\frac{1}{n}} + C_1. \quad (4)$$

Визначивши постійні інтегрування  $C_1$  з умов  $r = R_1$ ;  $V_y = K_c \pi y$ , і підставивши їх у рівняння (4), одержимо лінійну швидкість маси, що проходить екструзію, в наступному вигляді:

$$V_y = K_c \frac{R}{2} \left( \frac{\partial P}{\partial y} \right) + \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \left( \frac{R \dot{\gamma}_0^n}{n+1} \right) \left[ \frac{R}{2\eta_0 \dot{\gamma}_0} \left( \frac{\partial P}{\partial y} \right) \right]^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

Продуктивність визначається рівнянням (6):

$$Q = 2\pi \int_0^R V_y r dr. \quad (6)$$

Цей метод розрахунку продуктивності відбиває картину взаємодії робочих органів з масою, що переробляється, характер плинності маси і її структурно-механічні властивості, а також вплив геометричних і кінематичних параметрів. З погляду прикладної науки практичні задачі, які розв'язуються в області екструзії харчових мас, обмежуються математичною простотою описуваних реологічних рівнянь і робочим діапазоном кривих течії через формуючий канал екструдера. Однак у дійсності, навіть у процесі простої екструзії, крім деяких механічних деформацій, обумовлених дією прикладених сил, відбуваються деякі інші явища, що називаються «розбуханням струменя» і «огрубінням екструдата». Це пов'язано зі зростанням нормальних напружень при збільшенні перепаду тиску, що виникає під час плинності маси через формуючий канал. Розбухання маси під час виходу із формуючого каналу є наслідком кількох процесів. Величина його залежить від геометрії каналу, швидкості плинності і реологічних властивостей маси, яка формується.

### Висновки

Розроблений спосіб безконтактного формування макаронних виробів дозволяє знизити практично до нуля тертя в матрицях макаронного преса, зменшити енергетичні витрати, поліпшити зовнішній вигляд виробів і знизити собівартість продукції.

На основі отриманих результатів, теоретичних і експериментальних досліджень розроблений інженерний розрахунок, при використанні якого спроектований макаронний прес з використанням матриць із пористими вкладишами.

Отримані рівняння можна використовувати для основних розрахунків екструзійного процесу шнекового екструдера.

### Література

1. Брылёв Е.А., Яцук А.Л. Исследование режимов бесконтактного прессования макаронных изделий // Сборник научных трудов КГМТУ. – 2011. – Вып. 12, – С. 104 – 107.
2. Брылёв Е.А., Яцук А.Л. Течение тестовой композиции в профилирующем канале с гидродинамической смазкой // Сборник научных трудов КГМТУ. – 2010. – Вып. 11, – С 21 – 24.