

УДК 631.363.285

В.В. Братішко, ст. наук. співроб., канд. техн. наук

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», смт. Глеваха

Аналіз продуктивності гвинтового гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами гвинта за його довжиною

В статті наведено результати теоретичних досліджень руху кормової маси в каналі гвинта гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами гвинта за його довжиною. На основі розв'язання рівняння Нав'є-Стокса для умов ньютонівської в'язкої рідини було отримано вираз продуктивності гранулятора кормів з гвинтом відповідної конструкції.

гвинт, гранулятор, канал, продуктивність, швидкість

В.В. Братішко

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», пгт. Глеваха

Анализ производительности винтового гранулятора кормов с изменяемыми геометрическими параметрами винта по его длине

В статье приведены результаты теоретических исследований движения кормовой массы в канале винта гранулятора кормов с изменяемыми геометрическими параметрами винта по его длине. На основе решения уравнения Навье-Стокса для условий ньютоновской вязкой жидкости было получено выражение производительности гранулятора кормов с винтом соответствующей конструкции.

винт, гранулятор, канал, производительность, скорость

Постановка проблеми. За даними низки дослідників [1, 2] для підвищення ефективності технологічного впливу на матеріал гвинтовими робочими органами застосовують гвинти різного конструкційного виконання. На наш погляд, з огляду на технологічність виготовлення та якість виконання робочого процесу, найбільш ефективними для приготування повнораціонних гранульованих кормів є гранулятори з циліндричним корпусом (робочою камерою) та гвинтом з геометричними параметрами, які змінюються за його довжиною, де параметри ширини та висоти каналу гвинта залежать від його довжини.

Очевидно, що для забезпечення квадратичного (або лінійного) характеру зміни параметрів гвинта, а саме площі перерізу каналу гвинта, площі та об'єму каналу за довжиною гвинта l , достатньо забезпечити лінійну зміну двох геометричних параметрів гвинта, а саме – ширини каналу гвинта W та його глибини H , тобто

$$W = f(l) = W_0 - k_W l, \quad (1)$$

$$H = f(l) = H_0 - k_H l, \quad (2)$$

де W_0 – початкове значення кроку гвинта, м;

H_0 – початкове значення глибини каналу гвинта, м;

k_W – коефіцієнт зміни ширини каналу гвинта за довжиною гвинта;

k_H – коефіцієнт зміни глибини каналу гвинта за довжиною гвинта.

Лінійний характер зміни геометричних параметрів гвинта гранулятора пов'язаний також із технічними можливостями верстатного обладнання – програми керування сучасних автоматизованих верстатів [3] базуються на нормах стандарту [4] та передбачають встановлення типу подачі однією з таких функцій: подача в функції оберненій часу, подача за хвилину або подача на оберт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість дослідників [1, 5, 6, 7, 8] при аналізі об'ємної продуктивності роботи одногвинтових машин (пресів, екструдерів, грануляторів тощо) використовують залежність, отриману в результаті вирішення рівнянь Нав'є-Стокса для ньютонівської рідини, у вигляді:

$$Q = \frac{V_z WH}{2} + \frac{WH^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial l}, \quad (3)$$

де V_z – швидкість руху сировини вздовж осі каналу гвинта, м/с;

μ – в'язкість сировини, Па·с;

$\partial P/\partial l$ – градієнт тиску за довжиною каналу гвинта, Па/м.

Як зазначає [9] рівняння (3) може використовуватись для оцінки впливу геометричних параметрів та умов роботи гвинтових машин на їх продуктивність, проте, наявність припущень та спрощень не дозволяють використовувати цю залежність у наведеному вигляді при проектуванні нових машин без встановлення низки емпіричних коефіцієнтів. До того ж очевидно, що ця залежність не враховує зміни геометричних параметрів гвинта за його довжиною

Формулювання цілей. Метою цієї роботи є аналітичне встановлення впливу конструкційно-режимних параметрів гвинта гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами за довжиною гвинта та фізико-механічних властивостей кормової сировини на продуктивність гвинтового гранулятора кормів.

Виклад основного матеріалу. З урахуванням припущень, що канал гвинта гранулятора можна представити у вигляді розгортки, а рух кормової суміші у каналі гвинта відбувається за рахунок відносного руху внутрішньої поверхні робочої камери гранулятора і може бути описаний за допомогою рівняння Нав'є-Стокса, запишемо вираз рівняння руху кормосуміші для умов ньютонівської в'язкої рідини [10, 11]:

$$\frac{\partial V_i}{\partial \tau} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = f_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_{ik}}{\partial x_k}, \quad (4)$$

де ρ – щільність матеріалу, кг/м³;

f_i – напруженість або щільність i -х масових сил, Н/кг;

V_k – швидкість руху матеріалу в напрямку k , м/с;

$\partial V_i/\partial \tau$ – градієнт об'єму матеріалу за час τ ;

$\partial V_i/\partial x_k$ – градієнт об'єму матеріалу в напрямку x_k ;

$\partial p_{ik}/\partial x_k$ – градієнт тиску в напрямку x_k .

Для знаходження закономірності руху кормосуміші в каналі гвинта гранулятора розглянемо переріз каналу, зображений на рис. 1.

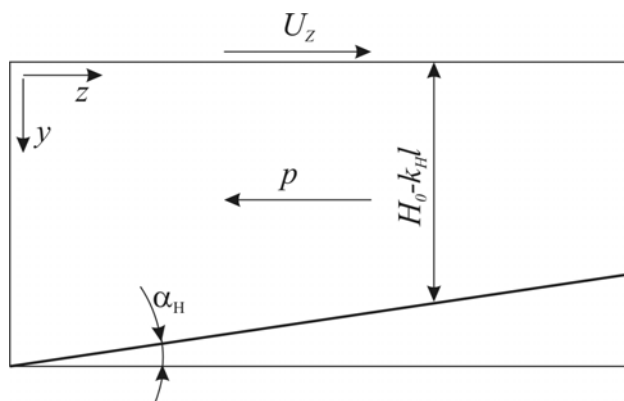


Рисунок 1 – Схема перерізу каналу гвинта гранулятора (вздовж осі розгортки каналу гвинта)

На рис. 1 зроблено такі позначення: U_z – відносна швидкість внутрішньої стінки робочої камери гранулятора відносно каналу гвинта, м/с; p – тиск у каналі гвинта гранулятора, Па; α_H – кут нахилу основи каналу гвинта гранулятора, рад.

Для складання рівняння руху кормової маси припустимо, що рух маси плоский та стаціонарний, а швидкість часточок кормової маси спрямована тільки вздовж осі z та залежить тільки від координати y .

Отже, умови для вирішення рівняння (4) запишуться так:

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} = 0, \\ f = 0, \\ V_z = V_z(y), \\ V_x = V_y = 0, \\ \rho = \text{const}. \end{cases} \quad (5)$$

За таких умов рівняння (4) в компонентах згідно декартової системи координат запишеться так [11]:

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \\ -\frac{\partial p}{\partial z} = \eta \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2}, \end{cases} \quad (6)$$

де щільність ρ та в'язкість η пов'язані коефіцієнтом кінематичної в'язкості $\nu = \eta / \rho$.

Оскільки в залежності (6) тиск p є функцією лише однієї змінної можна зробити висновок про те, що тиск є лінійна функція від координати z , та записати вираз швидкості кормової маси в каналі гранулятора на основі [11] таким чином:

$$V_z = -\frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial z} y^2 + a_z y + b_z, \quad (7)$$

де a_z, b_z – деякі постійні.

Для знаходження цих постійних з аналізу рисунка 1, розглядаючи рух кормосуміші в каналі гвинта гранулятора, як поєднання випадків течії Куетта [12, 13] та плоскої течії Пуазейля [14, 15], запишемо граничні умови:

$$V_z \Big|_{y=0} = U_z, \quad (8)$$

$$V_z \Big|_{y=H_0 - k_H l} = 0. \quad (9)$$

Підставляючи граничні умови до залежності (7) отримаємо:

$$b_z = U_z, \quad (10)$$

$$a_z = \frac{1}{H_0 - k_H l} \left(\frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial z} (H_0 - k_H l)^2 - U_z \right), \quad (11)$$

звідки після перетворень запишемо:

$$a_z = \frac{H_0 - k_H l}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{U_z}{H_0 - k_H l}. \quad (12)$$

З урахуванням (10) та (12) залежність (7) набуде вигляду:

$$V_z = -\frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial z} y^2 + \left(\frac{H_0 - k_H l}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{U_z}{H_0 - k_H l} \right) y + U_z. \quad (13)$$

Після розділення складових у правій частині рівняння (13) запишеться так:

$$V_z = -\frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial z} (y^2 - y[H_0 - k_H l]) + U_z \left(1 - \frac{y}{H_0 - k_H l} \right). \quad (14)$$

У свою чергу, для знаходження середнього значення швидкості запишемо:

$$\bar{V}_z = \frac{1}{H_0 - k_H l} \int_0^{H_0 - k_H l} \left[-\frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial z} (y^2 - y[H_0 - k_H l]) + U_z \left(1 - \frac{y}{H_0 - k_H l} \right) \right] dy. \quad (15)$$

Розв'язання цього інтегралу дозволяє записати вираз середньої швидкості руху кормосуміші у каналі гвинта гранулятора зі змінною висотою каналу:

$$\bar{V}_z = \frac{(H_0 - k_H l)^2}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{2} U_z. \quad (16)$$

Для знаходження відносної швидкості U_z внутрішньої поверхні робочої камери гранулятора в напрямку осі каналу гвинта скористуємось способом, наведеним у [16] та використаємо авторами [17] при дослідженні впливу кута при вершині гребня витка на працездатність шнека екструдера.

Для цього побудуємо схему розгорток гвинтових ліній гвинта (рисунок 2).
З рисунку 2 можемо записати вирази кроку гвинта b :

$$b = \pi D t g \gamma = 2 \pi y_c t g \gamma_s = \pi d t g \gamma_d, \quad (17)$$

де γ – кут нахилу гвинтової лінії по зовнішньому діаметру гвинта, град.;
 γ_s – кут нахилу гвинтової лінії, яка відповідає положенню центру мас перерізу каналу гвинта, град.;
 γ_d – кут нахилу гвинтової лінії по основі гвинта, град.;
 d – діаметр основи гвинта, м;
 D – зовнішній діаметр гвинта, м;
 n – частота обертання гвинта, с^{-1} ;
 y_c – координата центру мас перерізу каналу гвинта, м.

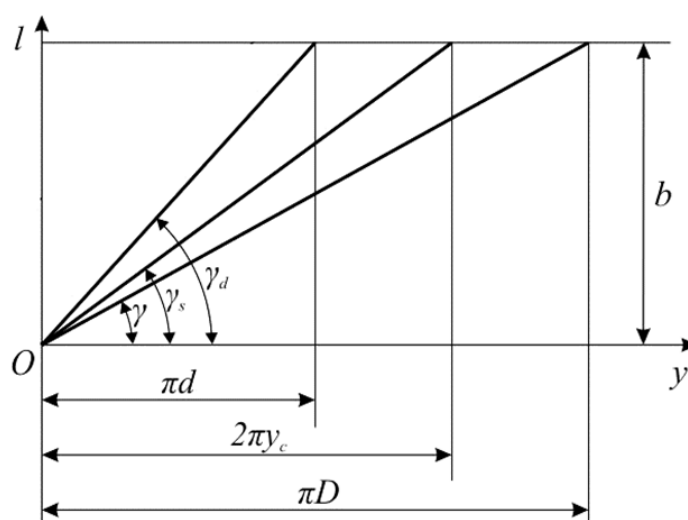


Рисунок 2 – Схема розгорток гвинтових ліній гвинта

Після перетворень із залежності (17) запишемо:

$$U_z = \frac{\pi D n}{\sqrt{1 + \frac{(W_0 - k_w l - t)^2}{\pi^2 D^2}}}, \quad (18)$$

де t – ширина витка гвинта, м.
Тоді вираз (16) набуде вигляду:

$$\overline{V}_z = \frac{\pi D n}{2 \sqrt{1 + \frac{(W_0 - k_w l - t)^2}{\pi^2 D^2}}} + \frac{(H_0 - k_H l)^2}{12 \eta} \frac{\partial p}{\partial z}. \quad (19)$$

Перша складова правої частини залежності (19) характеризує швидкість руху матеріалу в каналі гвинта гранулятора, яка набувається під дією відносного руху гвинта та робочої камери, друга складова – швидкість, яка втрачається через наявність опору руху матеріалу, створюваному при проходженні матеріалу по каналу гвинта та формувальним пристроєм гранулятора (матрицею).

Знаючи середню швидкість руху матеріалу та геометричні параметри каналу гвинта гранулятора можемо записати шуканий вираз продуктивності гвинта гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами гвинта за його довжиною:

$$Q = \frac{\pi D n (W_0 - k_w l) (H_0 - k_H l)}{2 \sqrt{1 + \frac{(W_0 - k_w l - t)^2}{\pi^2 D^2}}} + \frac{(W_0 - k_w l) (H_0 - k_H l)^3}{12 \eta} \frac{\partial p}{\partial z}. \quad (20)$$

Як видно, отримана залежність (20) відповідає фізичному змісту процесу руху матеріалу у каналі гвинта гранулятора (3) і є поєднанням двох складових продуктивності гвинтової машини – *вимушеного потоку* (перша складова у правій частині рівняння), що за своєю суттю є максимальною продуктивністю гвинта за умови відсутності матриці для формування матеріалу, проковзування матеріалу та відповідної подачі сировини, та *протитоку* (друга складова правої частини залежності), викликаного наявністю пристрою для формування матеріалу на виході з робочої камери – матриці гранулятора.

Висновок. В результаті теоретичних досліджень руху кормової маси в каналі гвинта гранулятора кормів на основі розв'язання рівняння Нав'є-Стокса для умов ньютонівської в'язкої рідини було отримано вираз продуктивності гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами гвинта за його довжиною.

Список літератури

1. Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability : [edited by Leszek Moscicki]. – Weinheim: WILEY-VCH, 2011. – 234 p.
2. A review of fundamental and engineering aspects of extrusion of biopolymers in a single screw extruder / S. Bruin, D.J. van Zuilichem, W Stolp // J. Food Process Eng. – 1978. – Vol. 2. – P. 1-37.
3. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления. – М.: Логос, 2005. – 296 с.
4. ГОСТ 20999-83 Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ
5. Martin Gale Mixing in single screw extrusion. – Shrewsbury: Smithers Rapra, 2009. – 286 p.
6. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 1 / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – 703 с.: ил.
7. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин: Монография / Соколов М.В., А.С. Клинков, О.В. Ефремов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004. – 248 с.
8. Handbook of Food Engineering, Second Edition // Edited by Dennis R. Heldman and Daryl B. Lund // CRC Press, 2007. – 1040 p.
9. Zeki Berk Food process engineering and technology. – Burlington: Elsevier, 2009. – 605 p.
10. Механика жидкости и газа: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.С. Швыдкого. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 464 с.
11. Черняк В.Г., Суетин П.Е. Механика сплошных сред: Учеб. пособ.: Для вузов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с. – ISBN 5-9221-0714-3.
12. Проектирование экструзионных машин с учетом качества резинотехнических изделий : монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2007. – 292 с.
13. Мингалёв К.В., Мингалёв О.В., Мингалёв А. С. Обобщенная ньютоновская реологическая модель для ламинарных и турбулентных течений // Математическое моделирование. – Том 11, № 11. – 1999. – С. 39-63.
14. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. – 840 с.
15. Аристов С.Н. Влияние теплообмена на паузейлевское течение термовязкой жидкости в плоском канале/ Аристов С.Н., Зеленина В.Г.// Механика жидкости и газа 2000.- № 2 - С. 75-80.
16. Раувендааль К. Экструзия полимеров / Пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2008 – 768 с., ил.

17. Барсуков, В.Г. Влияние угла при вершине гребня витка на работоспособность шнека экструдера / В.Г. Барсуков, Е.В. Грахольская, О.С. Волк // Вестник Брестского государственного технического университета. – Машиностроение. – 2009. – № 4 (58). – С. 87-91.

Vyacheslav Bratishko

National scientific center "Institute for agricultural engineering and electrification"

Analysis of productivity of screw pellet mill with variable geometrical parameters screws of its length

The paper presents the results of theoretical studies of motion feed supply in the channel screw pellet mill with variable geometrical parameters screws of its length. Based on solving the Navier-Stokes equations for Newtonian viscous fluid conditions were the expression efficiency pellet mill screw of appropriate design.

channel, pellet mill, productivity, screw, speed

Одержано 18.09.13

УДК 62-192: 620.177

А.І. Бойко, проф., д-р техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

О.В. Бондаренко, доц., канд. техн. наук

Миколаївський національний аграрний університет

В.М. Савченко, доц., канд. техн. наук

Житомирський національний агроекологічний університет

Вирішення основної матриці математичної моделі надійності функціонування активно резервованої технічної системи

Описано математичну модель надійності функціонування активно резервованої технічної системи. Встановлено визначник Δ основної матриці для виявлення в подальших дослідженнях значень ймовірності станів системи, на яких ґрунтуються необхідні критерії надійності активно дубльованої системи.

технічна система, ймовірність станів системи, резервована система, критерії надійності

А.И. Бойко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

А.В. Бондаренко

Николаевский национальный аграрный университет

В.М. Савченко

Житомирский национальный агроэкологический университет

Решение основной матрицы математической модели надежности функционирования активно резервированной модели

Описано математическую модель надежности функционирования активно резервированной модели. Установлено определитель основной матрицы для определения в последующих исследованиях вероятности состояний системы, на которых основаны необходимые критерии надежности дублированной системы.

техническая система, вероятность состояний системы, резервированная система, критерии надежности