



УДК 631.363.285

## ДИСИПАЦІЯ ЕНЕРГІЇ У КАНАЛІ ГВИНТОВОГО ГРАНУЛЯТОРА КОРМІВ

В.В. Братішко, к.т.н.

*Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН*

Тел.: (04571) 3-27-91, email: [vbtrashko@gmail.com](mailto:vbtrashko@gmail.com)

**Анотація** - виконано теоретичні дослідження та отримано залежності, які характеризують зміну кінетичної енергії та температури пластифікованої кормосуміші за час проходження її через канал гвинта гранулятора в залежності від конструкційно-технологічних параметрів робочих органів гранулятора та властивостей кормової сировини.

**Ключові слова** – гвинт, гранулювання, дисипація енергії, кормові гранули, температура.

*Постанова проблеми.* Відомо, що волого-теплова обробка сприяє підвищенню поживності кормів [1], зокрема використанню обмінної енергії комбікорму. Також, під впливом високої температури і тиску при гранулюванні та екструдуванні знезаражується до 96% мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів та 100% плісневих грибів [2].

Після пресування на грануляторах з кільцевою матрицею гранули нагріваються до температури 75-90°C [3], яка при охолодження повітрям зі швидкістю 0,4-0,5 м/с знижується до 20-30°C. При використанні гвинтових машин перед пресуванням застосовують зволоження кормосуміші до 30-35% гарячою водою з температурою 70-80°C, що дозволяє підвищити ефективність робочого процесу. За даними [1, 3] оптимальна температура нагрівання комбікорму становить 70-80°C.

Однак, якщо температура нагрівання комбікорму перевищує 82°C, починаються незворотні реакції [3], що погіршують якість білка: утворюються нові хімічні зв'язки, стійкі до дії травних протеолітичних ферментів.

Як бачимо, температура кормосуміші в процесі гранулювання має істотний вплив на якісні властивості кормових гранул та показники робочого процесу, а отже, встановлення закономірностей її зміни є актуальною задачею.

*Мета досліджень* полягає у встановленні закономірностей зміни кінетичної енергії та температури пластифікованої кормосуміші за час проходження її через канал гвинта гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами.

*Результати досліджень.* Згідно методичних підходів та даних [4], отриманих на основі аналізу дисипації кінетичної енергії  $E_k$  нестискуваної рідини, вираз її зміни за одиницю часу  $\tau$  в деякому об'ємі  $V$  в загальному вигляді можна записати так:

$$\frac{\partial E_k}{\partial \tau} = -\frac{\eta}{2} \int_V \left( \frac{\partial V_z}{\partial y} \right)^2 dx dy dz, \quad (1)$$

де  $V_z$  – швидкість руху пластифікованої кормосуміші вздовж каналу гвинта, м/с;

$x, y, z$  – координати, які характеризують, відповідно, ширину, висоту та довжину каналу гвинта (рисунок 1), м;

$\eta$  – в'язкість пластифікованої кормосуміші, Па·с.

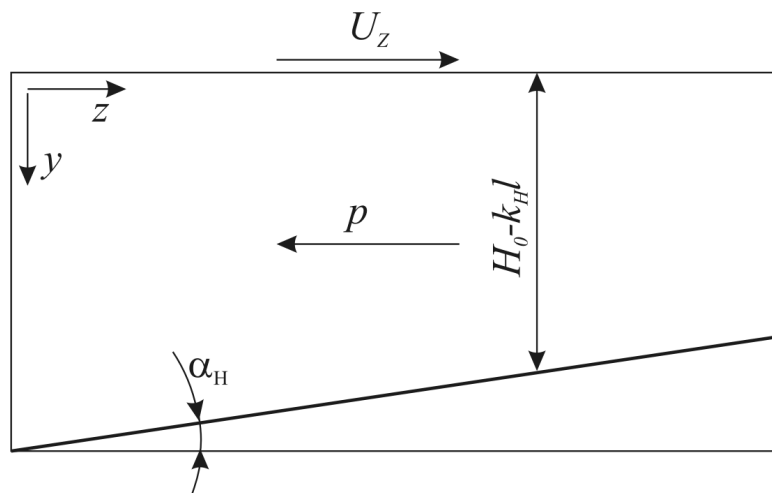


Рис. 1. Схема перерізу каналу гвинта гранулятора (вздовж осі розгортки каналу гвинта):  $U_z$  – відносна швидкість руху робочої камери гранулятора в напрямку осі каналу гвинта, м/с;  $p$  – тиск у каналі гвинта, Па;  $\alpha_H$  – кут нахилу основи каналу гвинта гранулятора, рад.;  $H_0$  – початкове значення глибини каналу гвинта, м;  $k_H$  – коефіцієнт зміни глибини каналу гвинта за його довжиною;  $l$  – довжина гвинта гранулятора, м.

З урахуванням отриманого раніше [5] виразу швидкості руху пластифікованої маси в каналі гвинта гранулятора та підстановки значень параметрів каналу гвинта гранулятора залежність (1) набуде вигляду:



$$\frac{\partial E_k}{\partial \tau} = -\frac{\eta}{2} \int_0^{l_s} \int_0^{H_0 - k_H l} \int_0^{W_0 - k_W l} \left( \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial z} (y^2 - y[H_0 - k_H l]) + U_z \left( 1 - \frac{y}{H_0 - k_H l} \right) \right) \right)^2 dx dy dz, \quad (2)$$

де  $W_0$  – початкове значення ширини каналу (кроку) гвинта, м;  
 $k_W$  – коефіцієнт зміни ширини каналу гвинта за довжиною гвинта;  
 $l_s$  – довжина гвинтової лінії, описаної центром мас перерізу каналу гвинта за довжиною гвинта (довжина розгортки каналу гвинта гранулятора), м.

У свою чергу, вираз відносної швидкості  $U_z$  запишеться як:

$$U_z = \frac{\pi D n}{\sqrt{1 + \frac{(W_0 - k_W l - t)^2}{\pi^2 D^2}}}, \quad (3)$$

де  $D$  – діаметр гвинта, м;  
 $t$  – ширина витка гвинта, м;  
 $n$  – частота обертання гвинта,  $\text{с}^{-1}$ .

Розв'язання інтегралу (2) дає змогу записати вираз зміни кінетичної енергії пластифікованої маси в каналі гвинта гранулятора:

$$\frac{\partial E_k}{\partial \tau} = -\frac{\eta l_s (W_0 - k_W l)}{2} \left( \frac{U_z^2}{H_0 - k_H l} + \frac{(H_0 - k_H l)^3}{12\eta^2} \left( \frac{\partial p}{\partial z} \right)^2 \right). \quad (4)$$

Використавши вираз середньої швидкості  $\bar{V}_z$  руху пластифікованої кормосуміші у каналі гвинта [5], запишемо:

$$\left( \frac{\partial p}{\partial z} \right)^2 = (12\bar{V}_z - 6U_z)^2 \frac{\eta^2}{(H_0 - k_H l)^4}. \quad (5)$$

Після підстановки виразу (5) залежність (4) набуде вигляду:

$$\frac{\partial E_k}{\partial \tau} = -\frac{2\eta l_s (W_0 - k_W l)}{H_0 - k_H l} \left( U_z^2 - 3U_z \bar{V}_z + 3\bar{V}_z^2 \right). \quad (6)$$



Отриманий вираз (6) дає змогу визначити витрати енергії на розігрів пластифікованої маси при її русі в каналі гвинта гранулятора за рахунок роботи сил в'язкості.

У відповідності до першого начала термодинаміки [6] зменшення внутрішньої енергії маси постійного об'єму дорівнює кількості виділеної теплоти та пропорційно зміні температури маси:

$$\frac{\partial E_k}{\partial \tau} = -\frac{\partial Q}{\partial \tau} = -c_V \rho V \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (7)$$

де  $c_V$  – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·К);  
 $\rho$  – щільність матеріалу, кг/м<sup>3</sup>.

За усталеними даними низки дослідників [7, 8, 9] питому теплоємність харчових та кормових матеріалів можна визначити за залежністю:

$$c_V = 1,424m_g + 1,549m_n + 1,675m_{жс} + 0,837m_z + 4,187m_{H_2O}, \quad (8)$$

де  $m_g$  – масова частка вуглецю у кормосуміші;  
 $m_n$  – масова частка протеїну у кормосуміші;  
 $m_{жс}$  – масова частка жиру у кормосуміші;  
 $m_z$  – масова частка золи у кормосуміші;  
 $m_{H_2O}$  – масова частка води у кормосуміші.

Коефіцієнти перед членами рівняння (8) є значеннями питомої теплоємності відповідних складових.

Прийнявши припущення, що  $\partial T/\partial t \approx \Delta T/\Delta t$ , а  $\Delta t \approx l_s/\bar{V}_z$  можемо записати вираз підвищення температури пластифікованої кормосуміші за час проходження її через канал гвинта гранулятора:

$$\Delta T \approx \frac{l_s}{c_V \rho V \bar{V}_z} \frac{2\eta l_s (W_0 - k_W l)}{H_0 - k_H l} \left( U_z^2 - 3U_z \bar{V}_z + 3\bar{V}_z^2 \right). \quad (9)$$

Після підстановки виразу середньої швидкості руху пластифікованої кормосуміші у каналі гранулятора [5] залежність (9) запишеться так:

$$\Delta T \approx \frac{l_s}{c_V \rho V \left( \frac{(H_0 - k_H l)^2}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{2} U_z \right)} \frac{2\eta l_s (W_0 - k_W l)}{H_0 - k_H l} \times \left[ U_z^2 - 3U_z \left( \frac{(H_0 - k_H l)^2}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{2} U_z \right) + 3 \left( \frac{(H_0 - k_H l)^2}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{2} U_z \right)^2 \right]. \quad (10)$$



Складова залежності (10) – відносна швидкість  $U_z$  – визначається за залежністю (3). Для здійснення практичних розрахунків вираз градієнту тиску у каналі гвинта гранулятора  $\partial p / \partial z$  можна замінити співвідношенням тиску у передматричному просторі гранулятора до довжини каналу гвинта.

*Висновок.* В результаті теоретичних досліджень було отримано вирази, які характеризують зміну кінетичної енергії та температури пластифікованої кормосуміші за час проходження її через канал гвинта гранулятора в залежності від конструкційно-технологічних параметрів робочих органів гранулятора та властивостей кормової сировини.

*Література.*

1. Гранулирование комбикормов / *А.И. Абрамов, Н.И. Полунина, Н.Я. Зицерман.* – М.: Колос, 1969. – 103 с.
2. *Ситько О.М.* Удосконалення технології збагачення комбікормової продукції високолізиновими добавками : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. сільськогосп. наук: спец. 05.18.01 «Зберігання і технологія переробки зерна, виготовлення зернових і хлібопекарських виробів та комбікормів» / *О.М. Ситько.* – Одеса, 2008. – 19с.
3. *Беляевский Ю.И., Сазонова Т.Н.* Полнорационные брикеты и гранулы для жвачных / *Ю.И. Беляевский, Т.Н. Сазонова.* – М.: Россельхозиздат, 1977. – 240 с.
4. *Черняк В.Г., Суетин П.Е.* Механика сплошных сред: Учеб. пособ.: Для вузов. / *В.Г. Черняк, П.Е. Суетин.* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с.
5. *Братішко В.В.* Швидкість руху кормосуміші та продуктивність гвинтового гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами гвинта / *В.В. Братішко* // Матеріали ІХ-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». – Вип. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2013 р. – С. 145-147.
6. *Стромберг А.Г., Семченко Д.П.* Физическая химия: Учеб. для хим.-тех. спец. вузов / Под ред. *А.Г. Стромберга.* – 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Высшая школа, 1988г. – 496 с.
7. Математическое моделирование течения аномально-вязких сред в каналах экструдеров [Текст] : монография / *А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, В.Н. Василенко, А.С. Попов.* – Воронеж : Изд-во ВГУ, 2010. – 237 с.
8. *Singh, R.P. and Heldman, D.R.* Introduction to Food Engineering. – 2 nd. ed. – San Diego: Academic Press, 1993. – 768 p.
9. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов / *Валентас К. Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П.* (ред.) / пер. с англ. под общ. науч. ред. *А.Л. Ишевского.* – СПб: Профессия, 2004 – 848 с., ил., табл., сх. – (Серия: Справочник)



## **ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ В КАНАЛЕ ВИНТОВОГО ГРАНУЛЯТОРА КОРМОВ**

**В.В. Братишко**

***Аннотация*** – выполнены теоретические исследования и получены зависимости, характеризующие изменение кинетической энергии и температуры пластифицированной кормосмеси за время прохождения ее через канал винта гранулятора в зависимости от конструкционно-технологических параметров рабочих органов гранулятора и свойств кормового сырья.

## **ENERGY DISSIPATION IN THE CHANNEL OF SCREW PELLET MILL**

**V. Bratishko**

### ***Summary***

**In this article shows the results of the theoretical studies of the changing kinetic energy and temperature of plasticized forage during its passage through the channel screw pellet mill according to the constructional and technological parameters of pellet mill and properties of pellet feed materials.**