

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОРМОВОЇ СУМІШІ З РЕШІТКОЮ ПРИ ГІДРОДИНАМІЧНОМУ ПОДРІБНЕННІ

Мерінець Н.А., аспірант

(Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка)

В статті приведені результати теоретичного дослідження взаємодії кормової суміші з решіткою кормового агрегату при гідродинамічному подрібненні

Постановка проблеми та її актуальність. На сучасному етапі розвитку тваринництва першочерговим завданням є збільшення виробництва продуктів тваринництва, яке може бути досягнуто в результаті удосконалення засобів механізації приготування кормів. У свинарстві за обсягом споживаних кормів важливе місце займають зернові корми, на частку яких припадає приблизно 95% і способи їх раціонального використання відіграють важливу роль.

Рекомендації учених зводяться до того, що для тварин і птиці з прямою системою шлунково-кишкового тракту, корми повинні бути рідкими, злаки повинні бути подрібнені до розмірів 5...30 мкм і в процесі їх приготування повинне бути забезпечене протікання процесів ферментативного зброджування крохмалю з переходом його в такі форми, які легко засвоюються організмом тварин [1].

Тому удосконалення засобів механізації приготування рідких кормів, які будуть відрізнятися простотою конструкції, низькими енергоємністю і металоємністю є актуальною і перспективною науковою задачею для розвитку тваринницької галузі України.

Для вирішення поставленої задачі співробітниками кафедри технічних систем і технологій тваринництва Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка запропонована нова технологія і конструкція подрібнювального пристрою [2-4].

Викладення основного змісту. Відповідно викладеного математичного моделювання процесу подрібнення зернової суміші (зерна + вода) дробаркою [5], в якості дисперсного середовища розглядатимемо ячмінь. Вважаємо, що його форма є еліпсоїд, який обертається з більшою піввіссю l_z і меншою d_z . Припустимо, що весь ячмінь, що потрапляє в зону решітки (нерухомий ніж), руйнується цим ножем. Як ступінь подрібнення зерна λ в роботі [6] пропонується вибирати одну з характеристик

$$\lambda = S_{\text{кон}} / S_{\text{нач}}, \quad (1)$$

або

$$\lambda = d_{\text{нач}} / d_{\text{кон}}. \quad (2)$$

де $S_{кон}, S_{нач}$ – площі поверхонь частинок подрібненого і не подрібненого зерна в одиниці об'єму;

$d_{кон}, d_{нач}$ – середні діаметри частинок в подрібненому і не подрібненому стані.

Надалі зупинимося на другому виразі визначення λ . Припустимо, що зерна, що утворюються після руйнування частинки, мають сферичну форму. Для них середній діаметр $d_{кон}$ співпадає з діаметром сфери. Середній діаметр зерна до руйнування визначимо як діаметр деякої кулі, об'єм якої рівний об'єму зерна. Прирівнюючи об'єм еліпсоїда об'єму кулі

$$\frac{4}{3} \pi d_z^2 l_z = \frac{1}{6} \pi d_{нач}^3 \quad (3)$$

знайдемо вираз $d_{нач}$

$$d_{нач} = (8d_z^2 l_z)^{1/3} \quad (4)$$

Тоді розмір частинок зерна $d_{кон}$ після руйнування визначатиметься рівністю

$$d_{кон} = d_{нач} / \lambda = (8d_z^2 l_z)^{1/3} / \lambda \quad (5)$$

Ступінь подрібнення зерна λ , як згадувалося вище, залежить від діаметру $\text{Ш}d_n$ отворів решітки нерухомого ножа. Відповідна залежність приведена в таблиці 1 [7].

Таблиця 1. Ступінь подрібнення зерна в залежності від d_n решета

Діаметр отвору решета $\text{Ш}d_n$, мм	10	6	3	2
Ступінь подрібнення, λ	1.5	2.0-2.4	5-7	8.4-9.7

Може опинитися так, що діаметр подрібненого зерна, визначений по формулі (5), може бути більший діаметра отворів решітки $d_{кон} > d$ внаслідок того, що співвідношення (2) дає наближене значення для ступеня подрібнення. Тоді $d_{кон}$ вважатимемо рівними d_n .

Позначимо через l_n товщину решітки нерухомого ножа (рис.1). Частина суміші подрібненого зерна з водою із області (V_n) нерухомого ножа проходить через решітку в зону рухомого ножа, а частина, за певних умов, йде назад в зазор (V_z) між кожухом дробарки і поверхнею шнека S_s .

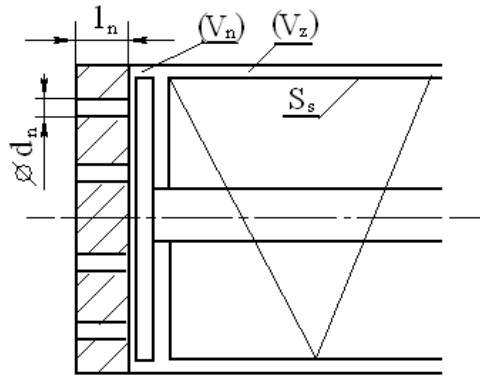


Рис. 1. Область решітки (нерухомого ножа)

Розглянемо процес проходження суміші через решітку. Позначимо через N_n кількість отворів в решітці. Очевидно, що число цих отворів повинне бути обмеженим. Для наближеного знаходження максимального числа отворів скористаємося схемою, запропонованою в роботі [7]. Розглянемо прямокутник шириною d_n і висотою H такий, що в ньому розташовується рівно k кругів діаметром d_n : $H=kd_n$. Площа прямокутника буде рівна $S=Hd_n=kd_n^2$. Відношення $\phi = kS_0 / S$, де $S_0 = \pi d_n^2 / 4$ площа круга, є концентрацією кругів на площині прямокутника. Видно, що $\phi = \pi / 4$ і відповідає найбільш щільній упаковці кругів на площині. Оскільки отвори на решітці розташовуються в області кільця $d_s \leq r \leq D_s$ з площею

$$S_{\text{реш}} = \pi (D_s^2 - d_s^2) / 4, \quad (6)$$

тоді максимальна кількість отворів визначатиметься як

$$N_{n,\text{max}} = \left[\tau S_{\text{реш}} / S_0 \right] = \left[\frac{\pi}{4} \frac{D_s^2 - d_s^2}{d_n^2} \right] \quad (7)$$

Тут квадратні дужки, що охоплюють вирази, означають взяття цілої частини від цього виразу.

Загальна витрата суміші Q_n через решітку буде рівна сумі витрат її через N_n отворів. Нехай Q_1 є витратою через один отвір. Тоді

$$Q_n = N_n Q_1 \quad (8)$$

Розглянемо рух суміші через один отвір решітки (нерухомого ножа) (рис.2). Припустимо, що частинки подрібненого зерна мають форму сфери S_p діаметру $d_{\text{кон}}$. Введемо позначення: $V_z, V_{ж}$ – швидкість руху частинки і середню швидкість руху рідини уздовж осі отвору, відповідно; n_o – число частинок в отворі (вважаємо, що частинки розташовуються уздовж осі отвору); $n_{o,\text{max}}$ – максимальне число частинок в отворі. Очевидно

$$n_{o,\text{max}} = \left[l_n / d_{\text{кон}} \right] n_o \leq n_{o,\text{max}}, \quad (9)$$

а середня швидкість рідини визначається притокою її до решітки (нерухомий ніж)

$$v_{жс} = \frac{4(1-\varepsilon)Q_n}{N_n \pi d_n^2} \quad (10)$$

Будемо вважати, що рух суміші в отворі постійна. Тоді сили, що діють на цей об'єм суміші, повинні бути в рівновазі, а необхідна умова рівноваги (головний вектор сил рівний нулю) і має вигляд

$$T_o N_n + F_{op} = 0. \quad (11)$$

де T_o – сила тертя рідини об стінку отвору,

F_{op} – проекція рівнодіючої сили тиску, що діє на вході і виході з отвору, на вісь отвору.

Величина T_o визначається співвідношеннями (3-5) [6], де одночасно, в якості P_s, l, V_* необхідно взяти величини, які пов'язані з даними отворами

$$P_s = \pi d_n, \quad l = l_n, \quad V_* = v_{жс} \quad (12)$$

В цьому випадку сила опору дорівнює

$$T_o = 0.1896 \rho \frac{(1-\varepsilon)^2 Q_n^2 l_n}{N_n^2 d_n^3} \left(\frac{v N_n d_n}{(1-\varepsilon) Q_n} \right)^{1/4} \quad (13)$$

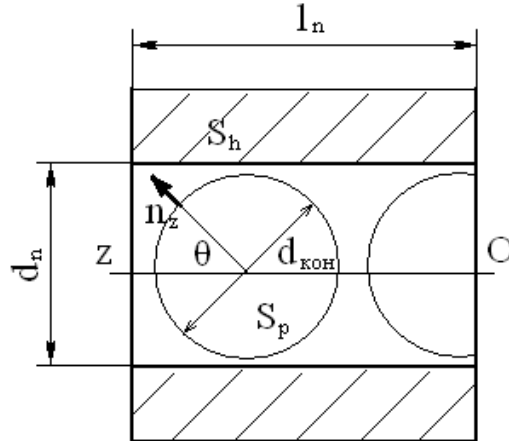


Рис. 2. Рух частинки корму через отвори решітки

Величина F_{op} визначається перепадом тиску $P - p_1$ на довжині отвору, де P – тиск в області решітки (нерухомого ножа), p_1 – тиск в області рухомого ножа (за решіткою)

$$F_{op} = -(P - p_1) \frac{\pi}{4} d_n^2. \quad (14)$$

Співвідношення (12) приводить до наступного рівняння щодо різниці тиску $\Delta p = P - p_1$

$$T_o = 0.1896\rho \frac{(1-\varepsilon)^2 Q_n^2 l_n}{N_n d_n^3} \left(\frac{\nu N_n d_n}{(1-\varepsilon) Q_n} \right)^{1/4} - \frac{\pi}{4} d_n^2 \Delta p = 0 \quad (15)$$

Звідки витікає вираз для Δp

$$\Delta p = 0.2414\rho \frac{(1-\varepsilon)^2 Q_n^2 l_n}{N_n d_n^5} \left(\frac{\nu N_n d_n}{(1-\varepsilon) Q_n} \right)^{1/4} \quad (16)$$

Розглянемо тепер рух окремої частинки усередині отвору. У разі стаціонарного руху середовища сила опору F_c рівна по величині і протилежна по знаку рівнодіючій силі тиску F_d , що діє на кулю. Сила опору визначається формулою Стоксу [8]

$$F_c = 3\pi\mu d_{\text{кон}} (v_{\text{ж}} - v_3). \quad (17)$$

а сила тиску – інтегралом [9]

$$\begin{aligned} F_d &= \int_{S_p} p n_z dS = \int_{S_p} \left(P - \frac{\Delta p}{l_n} z \right) n_z dS = \\ &= 2\pi d_{\text{кон}}^2 \int_0^\pi \left[P - \frac{\Delta p}{l_n} \left(\frac{d_{\text{кон}}}{2} \cos \theta + z_0 \right) \right] \cos \theta \sin \theta d\theta = \\ &= -\frac{\pi d_{\text{кон}}^3}{3l_n} \Delta p, \end{aligned} \quad (18)$$

де $n_z = \cos u$ – проекція одиничної нормалі \vec{n} до поверхні частинки;

u – кут між нормаллю \vec{n} і віссю Oz ;

p – тиск усередині отвору;

z_0 – координата центру кулі.

Вважаємо, що тиск усередині отвору розподіляється по лінійному закону, відповідному перебігу Пуазейля в трубі

$$p = P - z\Delta p / l_n. \quad (19)$$

Тоді умова рівноваги сил $F_c + F_d = 0$ дає співвідношення для визначення швидкості частинки V_3

$$v_3 = 1.2732 \frac{(1-\varepsilon) Q_n}{d_n^2 N_n} - 0.1637 \rho d_{\text{кон}}^2 \left(\frac{(1-\varepsilon)^2 Q_n^2}{\mu d_n^5 N_n} \right) \left[\frac{\nu N_n d_n}{(1-\varepsilon) Q_n} \right]^{1/4} \quad (20)$$

Витрата суміші через шнек дорівнює

$$Q_s = Q_n + Q_o, \quad (21)$$

де Q_n – визначає витрату через отвори решітки;

Q_0 – витрата, пов'язана із зворотним потоком суміші між шнеком і кожухом дробарки.

Домовимося вважати $Q_0 > 0$, зворотний потік направлений від решітки, і $Q_0 > 0$ зворотний потік направлений до решітки. Тоді суміш, що проходить через решітку, приносить за одиницю часу певну кількість зерен не подрібненого зерна становить

$$n_3 = [\varepsilon Q_n / V_3], \quad (22)$$

де

$$V_3 = \pi d_{нач}^2 l_3 / 3, \quad (23)$$

об'єм одного зерна. Або після подрібнення кількість подрібнених частинок, що поступають до одного отвору решітки за одиницю часу, буде дорівнювати

$$n_{кон} = \left[\frac{6\varepsilon Q_n}{\pi d_{кон}^3 N_n} \right]. \quad (24)$$

Кількість частинок, що проходять через отвір, можна визначити так. Максимальне число частинок n_{max} , що проходять через отвір решітки за одиницю часу, буде тоді, коли вони йдуть одна за одною. Тому максимальне число частинок, що одночасно знаходяться в отворі буде рівне

$$N_{max} = l_n / d_{кон}.$$

Час проходу однієї серії таких куль $t_{сер}$ через отвір буде рівний $t_{сер} = l_n / v_3$. Тоді максимальна кількість частинок n_{max} , що проходять через отвір за одиницю часу, можна записати у вигляді $n_{max} = t_{сер} N_{max}$, або з урахуванням формули (20) у формі

$$n_{max} = \frac{4(1-\varepsilon)Q_n}{\pi d_n^2 N_n d_{кон}} - 0.2811 v^{-3/4} d_{кон} d_n^{-5/4} \left[\frac{(1-\varepsilon)Q_n}{\pi d_n^2 N_n} \right]^{7/4}. \quad (25)$$

Очевидно, кількість частин, що поступають до отвору за одиницю часу повинне бути менше максимального числа, що пропускаються через отвір решітки, що згідно виразам (24), (25) приводить до необхідності виконання нерівності

$$\begin{aligned} & \Phi(Q_n) \equiv \\ & \equiv \frac{4(1-\varepsilon)Q_n}{\pi d_n^2 N_n d_{кон}} - 0.2811 v^{-3/4} d_{кон} d_n^{-5/4} \left[\frac{(1-\varepsilon)Q_n}{\pi d_n^2 N_n} \right]^{7/4} - \left[\frac{6\varepsilon Q_n}{\pi d_{кон}^3 N_n} \right] \geq 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Потужність W_n , що витрачається в області нерухомого ножа, складається з потужності диссипативних сил W_{ng} , споживаної при русі суміші через отвори

решітки, і потужності W_{nd} , що витрачається ножом при подрібненні зерна. Величина W_{ng} визначається так само, як і у разі руху суміші по каналу шнека

$$W_{ng} = T_c N_n v_{ж}, \quad (27)$$

де T_c визначається співвідношенням (13);

$v_{ж}$ – виразом (10).

Остаточо

$$W_{ng} = 0.2414 \rho \frac{[(1-\varepsilon)Q_n]^3 l_n}{N_n^2 d_n^5} \left[\frac{v N_n d_n}{(1-\varepsilon)Q_n} \right]^{1/4} \quad (28)$$

Потужність W_{nd} розраховується по наближеній формулі [6] W_{nd}

$$W_{nd} = C_{np} \left[C_v \lg(\lambda_g^3) + C_s (\lambda_g - 1) \right] \varepsilon \rho_3 Q_n. \quad (29)$$

що містить щільність зерна ρ_3 , емпіричні коефіцієнти C_{np} , C_v , C_s , значення яких для ячменю приведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Значення емпіричних коефіцієнтів c_3 , C_{np} , C_v , C_s для ячменю

Ячмінь	ρ_3 , кг/м ³	d_n , мм	C_{np}	C_v , кДж/кг	C_s , кДж/кг
	$1.3 \cdot 10^3$	4.2	1.2 ± 0.3	8.5	7.5

Таким чином, потужність, що витрачається в області решітки (нерухомого ножа), становить

$$W_n = 0.1757 \rho v^{1/4} l_n d_n^{3/4} N_n \left(\frac{4(1-\varepsilon)Q_n}{N_n \pi d_n^2} \right)^{11/4} + C_{np} \left[C_v \lg(\lambda_g^3) + C_s (\lambda_g - 1) \right] \varepsilon \rho_3 Q_n. \quad (30)$$

Висновки. В результаті теоретичного моделювання процесу взаємодії руху частинок (корм + вода) через отвори решітки (нерухомого ножа), визначений вираз ступеня подрібнення, кількість частин корму, яке поступає в отвори решітки за одиницю часу і отримано вираз розрахунку потужності, яка витрачається в області решітки.

Список використаних джерел

1. Гильман, З.Ф. Свиноводство. [Текст]/ З.Ф.Гильман. - Мн.: Ураджай, 1989. - 311 с.
2. Подрібнювальний пристрій для приготування рідких кормів [Текст]: пат. 73370 Україна, МПК В02С 7/02, А01F 29/00. / Дзюба Н.А., Дзюба А.І.,

Троянов М.М., Нанка О.В., Бойко І.Г., заявники і патентовласники - №2003032165; заявл.12.03.03; опубл. 15.07.05, Бюл. № 7.

3. Мерінець, Н.А. Сучасні технології приготування гомогенної кормової суміші [Текст]/ Мерінець Н.А., Дзюба А.І., Троянов М.М., Нанка О.В., Фісяченко О.І., Семенов В.І. // Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій тваринництва: Вісник ХНТУСГ ім. П.М. Василенка. - Харків: ХНТУСГ, 2010. - Вип.. 95. - С. 199-204.

4. Подрібнювальний пристрій для приготування рідких кормів [Текст]: пат. 93769 Україна, МПК А01F 29/00, В02С 18/30, В02С 7/02/ Дзюба Н.А., Дзюба А.І., Троянов М.М., Нанка О.В., Семенов В.І.; Дзюба О.А. заявники і патентовласники - №200908083; заявл.31.07.09; опубл. 10.03.11, Бюл. № 5.

5. Мерінець, Н.А Математичне моделювання процесу взаємодії шнека з зерном в агрегаті «мокрого» подрібнення [Текст]/Мерінець Н.А.// Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ ім. П.М. Василенка. - Харків: ХНТУСГ, 2011. - Вип.. 119. - С. 96-108.

6. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм [Текст]/ С.В. Мельников. - Л.: Колос, 1978. – 560 с.

7. Гольдштик, М.А. Процессы переноса в зернистом слое [Текст] / Гольдштик М.А.//Новосибирск: СО АН СССР. Ин-т теплофиз., 1984.- 163 с.

8. Соу С. Гидродинамика многофазных систем [Текст]/ С. Соу. - М.: Мир, 1971. - 536 с.

9. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа [Текст]/ Л.Г.Лойцянский. М.: Наука, - 1978. - 727 с.

Аннотация

Теоретические исследования взаимодействия кормовой смеси с решеткой при гидродинамическом измельчении

Мерінець Н.А.

В статье приведены результаты теоретического исследования взаимодействия кормовой смеси с решеткой кормового агрегата при гидродинамическому измельчению

Abstract

Theoretical researches of co-operation of feed mixture with a grate at the hydrodynamic growing shallow

N. Merinets

In the article are resulted the theoretical research of co-operation of feed mixture with the grate of feeding unit at the hydrodynamic growing shallow