

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШНЕКА С ЗЕРНОМ В АГРЕГАТЕ «МОКРОГО» ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Наталія Меринец

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенка*

Ул. Артема 44, Харьков, Украина. E-mail: khstua@lin.com.ua

Nataliia Merinets

*Kharkov National Technical University of Agriculture after Peter Vasilenko
St. Artem 44, Kharkiv, Ukraine. E-mail: khstua@lin.com.ua*

Аннотация. В статье приведены результаты математического моделирования процесса взаимодействия шнека с зерном в агрегате «мокрого» измельчения и получены математические выражения для определения превращения механической энергии в тепловую и затрат мощности для осуществления технологического процесса измельчения.

Ключевые слова: шнек, диссипативные силы, измельчение, мощность, концентрированные корма.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Успешное ведение свиноводства возможно только при бесперебойном биологически полноценном кормлении свиней с использованием доброкачественных кормов [1]. Строение желудочно-кишечного тракта определяет «меню» животных и птицы и их способность переваривать те или иные корма. В практике кормления свиней применяют следующие физические формы кормов: сухие рассыпные, гранулированные, влажные и жидкие.

Сухой рассыпной комбикорм даже при соблюдении всех требований в какой-то мере негативно влияет на продуктивность свиней. Пылевидные части комбикорма, которые составляют до 20% его физического состава, раздражают верхние дыхательные пути и приводят к легочным заболеваниям [16].

Поэтому совершенствование средств механизации приготовления жидких кормов, которые будут отличаться простотой конструкции, низкой энергоемкостью и металлоемкостью является актуальной и перспективной научной задачей для развития животноводческой отрасли Украины.

Для реализации гидродинамической технологии измельчения зерновых кормов кафедрой технических систем и технологий

животноводства Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко предложена новая технология и конструкция измельчающего устройства [10,12,13].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Впервые способ изучения взаимосвязи между составом продукта измельчения и использованием энергии, необходимой для помола, выполнил Риттингер [17]. Дальнейшие исследования в этой области были продолжены Ребиндером [15], Свенсоном [20], Чарльзом [2] и другими учёными.

Несмотря вроде бы на достаточное исследование процесса измельчения при сухом трении сыпучих материалов [6], равномерной подачи зерна в рабочую камеру измельчителя [8], все теории есть узкоспециализированные, в том числе такие малоизученные виды, как «мокрое» комбинированное измельчение.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы - повышение эффективности процесса приготовления гомогенной кормовой смеси для животных путем разработки новых машинных технологий и технических средств механизации, которые обеспечат улучшение качества кормовой смеси, экономию трудовых затрат и электроэнергии

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО СОДЕРЖАНИЯ

Принципиальная схема машины для приготовления полужидких концентрированных кормов из зерна представлена следующей схемой (рис. 1).

Сначала в устройство заливают определенный объем жидкости (воды) через загрузочную

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШНЕКА С ЗЕРНОМ В АГРЕГАТЕ «МОКРОГО» ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

зочное окно в области шнека, затем равномерно подают зерно. Шнек, который вращается, транспортирует эту смесь в направлении неподвижного ножа 1 и подвижного ножа шнека 8 («область неподвижного ножа»). Здесь происходит первичное измельчение зерна и дальнейшее его проталкивание вместе с водой через круглые отверстия неподвижного ножа. Эта смесь попадает в полость 3 в область подвижного ножа 2 (вторичное измельчение), который выполняет одновременно функции центробежного насоса, откуда она транспортируется через отверстие 4 из дробилки в приемную емкость. Выбор подходящего диаметра отверстий неподвижного ножа определяет степень измельчения зерна [9].

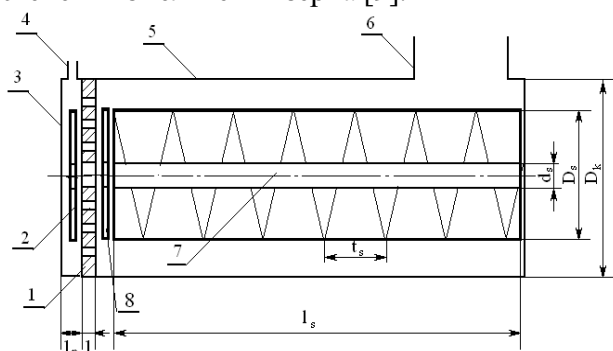


Рис. 1. Принципиальная схема машины для приготовления полужидких концентрированных кормов: 1 - неподвижный нож; 2 - подвижный нож, выполняющий одновременно функции центробежного насоса; 3 - корпус подвижного ножа; 4 - выходное отверстие для смеси измельченного зерна и воды; 5 - корпус шнека; 6 - загрузочное отверстие для смеси неизмельченного зерна и жидкости; 7 - вал шнека; 8 - подвижный нож шнека

Fig. 1. Schematic scheme of the machine for the preparation of semi-concentrated feed:

1 - fixed knife; 2 - movable knife that performs both the functions of centrifugal pump; 3 - case moving knife 4 - outlet for the mixture of crushed grain and water; 5 - the case of the screw; 6 - filling opening for the mixture of unground grain and liquids; 7 - shaft of the screw, 8 - movable knife screw

Данная среда (вода + зерно) является многофазной средой (в данном случае двухфазная), где вода выполняет роль среды, которая транспортирует (диспергирующая), а зерно - роль дисперсной среды [18,19]. Обо-

значим через ε объемную плотность дисперсной среды:

$$\varepsilon = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta V_3}{\Delta V_0}, \quad (1)$$

где: ΔV_3 - объем зерна, который находится в выделенном объеме ΔV_0 многофазной среды.

Сначала проведем моделирование рабочего процесса в области шнека.

К области шнека отнесем объем дробилки, который ограничен цилиндрической поверхностью Σ_{s1} , длиной l_s и валом шнека Σ_{s2} (рис. 2).

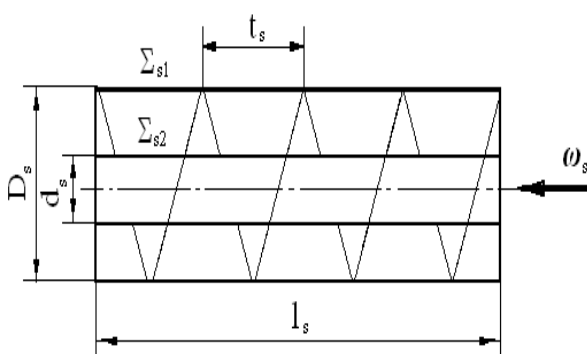


Рис. 2. Строение шнековой части агрегата для «мокрого» измельчения зерна
Fig. 2. The structure of screw machine parts for the "wet" grinding grain

Для подвижной между винтовыми поверхностями шнека смеси можно применить аналогию с подвижным русловым потоком, как это рассматривается в гидравлике [3,4]. На движущийся поток действует, в частности, сила сопротивления T_C :

$$T_C = \tau_0 P_s l, \quad (2)$$

где: τ_0 - средняя касательная напряжения на поверхности соприкосновения потока с руслом, P_s - смоченный периметр, l - длина русла потока.

Величина τ_0 связана со средней по сечению скоростью потока V_s соотношением:

$$\tau_0 = \rho \frac{\lambda_g}{8} V_s^2, \quad (3)$$

где: λ_g - гидравлический коэффициент трения, определяемый для гладких стенок русла формулой Блазиуса:

$$\lambda_g = \frac{0.3164}{\text{Re}^{1/4}}, \quad (4)$$

через число Рейнольдса Re :

$$\text{Re} = \frac{V_* L}{\nu}, \quad (5)$$

где: V_* - характерная скорость потока, L - характерный линейный размер поперечного сечения, ν - кинематическая вязкость жидкой среды, связанная с динамической вязкостью μ и плотностью среды соотношением $\mu = \nu\rho$.

Для случая, рассматриваемого здесь, характерную скорость V_* можно принять равной средней скорости потока в канале:

$$V_s = Q_s / \Sigma_s, \quad (6)$$

характерный размер L равный гидравлическому радиусу:

$$R_g = \Sigma_s / P_s, \quad (7)$$

где: Σ_s - площадь живого сечения потока.

Сила трения является диссипативной силой, приводящей к превращению механической энергии в тепловую. Мощность W_s энергии, переходящей в тепло в объеме всего потока, при этом равна:

$$W_s = T_C V_s. \quad (8)$$

В применении к области шнека руслом есть канал между винтовыми поверхностями Σ_1 и Σ_2 , а живым сечением является поперечное сечение ABCDEK канала плоскостью N_s , перпендикулярной к его оси (рис.3).

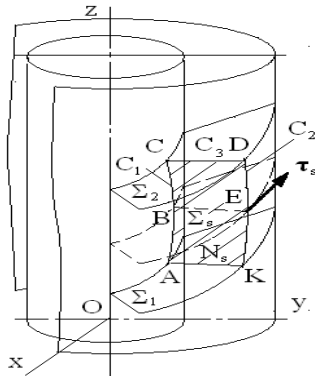


Рис. 3. Поперечное сечение канала шнека плоскостью перпендикулярной к его оси
Fig. 3. The cross section of the channel the screw plane perpendicular to its axis

Для определения площади и периметра этого пересечения выполним следующие построения. Введем декартову систему координат (x, y, z) с осью Oz , лежащей на оси вала шнека, и соответствующую цилиндрическую систему координат (x, y, z) .

Линии пересечения плоскости N_s с поверхностями Σ_1 , Σ_2 располагаются симметрично относительно оси $O\xi$ (или Ox). Поэтому при определении как площади живого сечения, так и смоченного периметра достаточно рассмотреть только фигуру BCDE, что является криволинейным четырехугольником:

$$\begin{aligned} \xi &= r \sin \varphi, \\ -\zeta t_s / \pi &= r \sin \varphi, \\ \sqrt{4D_s^2 + \left(\frac{t_s}{\pi}\right)^2} &= r \sin \varphi, \\ \frac{2D_s \zeta}{\sqrt{4D_s^2 + \left(\frac{t_s}{\pi}\right)^2}} &= \frac{t_s}{\pi} \varphi + \frac{t_s}{2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Исключая из данных соотношений переменные r, φ , получим уравнение кривой C_3 в переменных ξ и ζ .

$$\xi = \frac{t_s \zeta}{\sqrt{4D_s^2 \pi^2 + t_s^2}} \text{ctg} \left(\frac{4D_s \pi^2 \zeta}{t_s \sqrt{4D_s^2 \pi^2 + t_s^2}} \right). \quad (10)$$

Для определения ζ -вой координаты точек пересечения C_3 с C_1 (или C_2) нужно в соотношение (10) подставить значения $\xi = d_s$ (или $\xi = D_s$) и решить полученное уравнение относительно ζ . Правая часть функции (10) имеет асимптоту, ближайшая из которых до $\zeta = 0$, является вертикальной прямой, определяемой уравнением:

$$\frac{4D_s \pi^2 \zeta}{t_s \sqrt{4D_s^2 \pi^2 + t_s^2}} = \pi, \quad (11)$$

Откуда находим величину ζ^* :

$$\zeta^* = \frac{t_s \sqrt{4D_s^2 \pi^2 + t_s^2}}{4D_s \pi}, \quad (12)$$

значение которой можно принять за приближенное значение ζ -вой координаты линии C_3 . В этом случае смоченный периметр

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ШНЕКА С ЗЕРНОМ В АГРЕГАТЕ «МОКРОГО» ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

P_s и площадь \sum_s живого сечения канала шнека будут равны:

$$P_s = 2 \left(D_s - d_s + \frac{t_s \sqrt{4D_s^2 \pi^2 + t_s^2}}{4D_s \pi} \right), \quad (13)$$

$$\sum_s = \frac{t_s \sqrt{4D_s^2 \pi^2 + t_s^2}}{2D_s \pi} (D_s - d_s).$$

Для определения мощности W_s энергии, что превращается в тепло в шнеке, необходимо найти длину l канала – длину кривой L_s , определенной ранее на интервале $\left[0 \leq \varphi \leq \frac{2\pi l_s}{t_s} \right]$,

$$\begin{cases} x = D_s \cos \varphi \\ y = D_s \sin \varphi \\ z = t_s \varphi / 2\pi \end{cases} \quad (14)$$

Длина кривой, как известно, определяется интегралом [5,7,11,14]:

$$l = \int_0^{2\pi l_s / t_s} \frac{ds}{d\varphi} d\varphi. \quad (15)$$

Окончательно:

$$l = \int_0^{2\pi l_s / t_s} \frac{ds}{d\varphi} d\varphi = \sqrt{D_s^2 + \left(\frac{t_s}{2\pi} \right)^2} \frac{2\pi l_s}{t_s}. \quad (16)$$

Определим среднюю скорость V_s через производительность шнека Q_s :

$$V_s = \frac{Q_s}{\sum_s}. \quad (17)$$

Тогда, используя формулы (2)-(8), (13), (16) получим выражение для мощности W_s :

$$W_s = 0.03955 \rho \frac{Q_s^3 P_s l}{\sum_s^3} \left(\frac{P_s V}{Q_s} \right)^{1/4}, \quad (18)$$

где: P_s, \sum_s определяются соотношениями (13).

ВЫВОДЫ

В результате математического моделирования процесса взаимодействия шнека с зерном в агрегате «мокрого» измельчения и получены математические выражения для определения превращения механической энергии в тепловую и затрат мощности для осуществления технологического процесса измельчения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kozlovskiy V. G. 1981. Tekhnologiya promyshlennogo svinovodstva. – М. : Kolos, – 240.
2. Callcott T., Lunch A. 1962. An analysis breake processes with in rod mills. Proc. Austzinstm in metal, , v.3, 109-131.
3. Goldshtik M. A. 1984. Protsessi perenosa v zernistom sloe / Novosibirsk: SO AN SSSR. In-t teplofiz., – 163.
4. Konstantinov Yu. M. 1988. Gidravlika. – К : Vyshcha shkola. – 398.
5. Koshlyakov N. S., Gliner E. B, Smirnov M. M. 1970. Uravneniya v chastnykh proizvodnykh matematicheskoy fiziki. - М. : Izd-vo "Vyisshaya shkola", – 712.
6. Kovbasa V., Solomka V., Solomka A. 2012. Analiz protsessa podachi zerna v rabochuiu kameru izmelchitelia. Motrol – Motoryzacja I energetyka rolnictva. – Lublin. Tom 14, №3, 47-55.
7. Loitsianskiy L. G. 1978. Mehanika zhidkosti i gaza. - М. : Nauka. – 727.
8. Loveikin V., Chovniuk Yu., Kulyk V. 2012. Optimizatsiia rezhimov kolebani zernovykh smesei pri nalichii suchogo treniia. Motrol – Motoryzacja I energetyka rolnictva. Lublin, Tom 14, №3, 140-147.
9. Melnikov S. V. 1978. Mekhanizatsiia i avtomatizatsiia zhivotnovodcheskikh ferm. L. : Kolos, Leningradsk.otd., – 560.
10. Merinets N. A, Dziuba A. I., Troianov M. M, Nanka O. V, Fisiachenko O. I, Sementsov V. I. 2010. Suchasni tekhnologii prigotuvannia gomogennoi kormovoï sumishi / Suchasni problemy vdoskonalennia tekhnichnikh system i tekhnologii tvarinnitstva : Visnik KHNTUSG im. P. M. Vasilenka. – Kharkiv: KHNTUSG, Vip. 95, 199-204.
11. Mikheyev M. A., Mikheyeva I. M. 1973. Osnovy teploperedachi / М. : Energiia, – 320.
12. Pat. 73370 Ukraina, MPK V02S 7/02, A01F 29/00. Podribniuvalni pristrii dlia prigotuvannia ridkikh kormiv / Dziuba N. A., Dziuba A. I., Troianov M. M., Nanka O. V., Boiko I. G. ; zaiavniki i patentovlasniki Dziuba N. A., Dziuba A. I., Troianov M. M., Nanka O. V., Boiko I.G. - №2003032165; zaiavl.12.03.03 ; opubl. 15.07.05, Biul. № 7.
13. Pat. 93769 Ukraina, MPK V02S 18/30, V02S 7/302. Podribniuvalni pristrii dlia prigotuvannia ridkikh kormiv / Merinets N. A., Dziuba A. I., Nanka O. V., Troianov M. M., Se-

- mentsov V. I., Dziuba O. A. ; zaiavniki i patentovlasniki Merinets N. A., Dziuba A. I., Nanka O. V., Troianov M. M., Sementsov V. I., Dziuba O. A.. - №a200908083 ; zaiavl.31.07.09 ; opubl. 10.03.11, Biul. № 5.
14. Pogorelov A. V. 1967. Lektsii po differentsial'noi geometrii. - Kharkov : Izd-vo Kharkovskogo. gos. universiteta, – 163.
15. Rebinder P. A., Akunov V. I. 1959. Fiziko-khimicheskiye osnovy zakonov tonkogo izmelcheniia tverdykh tel / Zhurnal prikladnoi khimii., t.28 ; - 312.
16. Tsarenko O. M., Kriatov O. V., Kriatova R. Ye., Bondarchuk L. V. 2004. Resursozberigaiuchi tekhnologii virobnitstva svinini: teoriya i praktika / Sumy: VTD «Universitetska kniga», – 269.
17. Rittinger P. R. 1867. Lehrbuch der Aufbereitungskunde/ Berlin, – 341.
18. Sedov L. I. 1976. Mekhanika sploshnykh sred. T. 1. M. : Nauka. – 536.
19. Sou S. 1971. Hidrodinamika mnogo-faznykh system. - M. : Mir, – 536.
20. Swensson J., Murkes J., 1957. An Empirical Relationship Between Work Input and Particle Size Distribution Before and After Grinding. Int. Mineral Dressing. Congress, Stockholm, 37-66.

**MATHEMATICAL MODELING OF
PROCESS OF THE INTERACTION
SCREW WITH GRAIN IN THE
AGGREGATE OF "WET" GRINDING**

Abstract. The article presents results of mathematical modeling of process of the interaction screw with grain in the aggregate of "wet" grinding and obtained mathematical expressions for the conversion of mechanical energy into heat and power costs for the implementation of the technological process of grinding.

Key words: auger, dissipative forces, grinding, power, concentrated feed.