

Svetlana Panasuk, Ruslan Kirczuk, Volodymyr Diduh*, Wojciech Przystupa**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОЧАТКА ПО ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Аннотация. Проведено анализ проблемы послеуборочной обработки початков кукурузы. Выбраны пути снижения затрат. Предложено механизм деления початков кукурузы на части длиной равной среднему диаметру. Разработано математическую модель перемещения початков по шероховатой цилиндрической поверхности.

Ключевые слова: математическая модель, початка кукурузы, цилиндрическая поверхность.

ВВЕДЕНИЕ

Сложность послеуборочной обработки початков кукурузы состоит в том, что их геометрические параметры не позволяют обеспечить необходимое ориентировочное размещение во время формирования объема материала или в любых других случаях, например, при обрушивании.

Особые сложности возникают при сушке початков кукурузы в случае, когда необходимо равномерно распределить материал по объему сушильной камеры. В противном случае резко возрастает расход сушильного агента, так как значительная экспозиция сушки ($\tau = 8-10$ часов при начальной влажности $W_n=30-40\%$) в большой степени зависит от пористости общего слоя материала [1, 2].

Равномерное размещение початков кукурузы можно достичь путем их деления на части длиной, равной среднему диаметра початка. В таком случае можно получить частицы материала с хорошей сыпучестью, которые приближенно будут иметь форму шара, что позволяет использовать весьма эффективные известные методы сушки [2].

* Dr hab. Volodymyr Diduh, dr Svetlana Panasuk, dr Ruslan Kirczuk, Lutsk State University of Technology, Ukraine

** Dr Wojciech Przystupa, Akademia Rolnicza w Lublinie

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Достичь положительного результата разделения початков кукурузы можно различными путями [2]. Однако, не все механизмы, кроме качественного выполнения процесса деления позволяют достичь высокой производительности.

Наиболее перспективным направлением исследований является направление разделения початков с помощью вращающихся дисков (рис. 1).

Использование цилиндрического барабана 3 для подачи початков на разделение позволяет использовать силы трения при их захвате и качественно выполнить технологическую операцию [5].

Теоретические исследования перемещения частиц по шероховатым поверхностям рассмотрены в монографии П.М. Василенко [6]. Исследование перемещения тел в сельскохозяйственных машинах наиболее полно представлено в работах П.М. Заики [7]. Однако движение некоторых материалов, которые имеют форму, приближенную к цилиндру, рассмотрено не полностью.

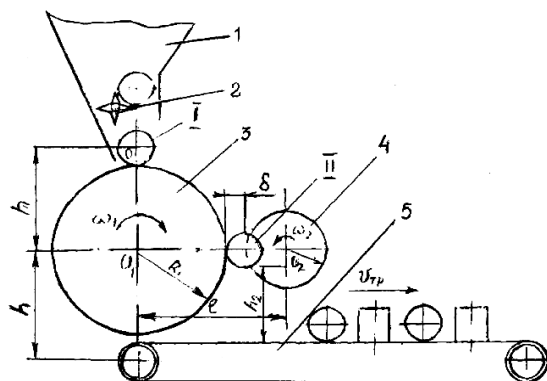


Рис.1 Схема расположения узлов и механизмов для деления початков:
1 – бункер; 2 – встряхиватель; 3 – барабан; 4 – диск; 5 – транспортер

Fig. 1. Arrangement of nodes and mechanisms for cutting corn-cobs:
1 – container; 2 – shaker; 3 – drum; 4 – disc; 5 – conveyor

Поэтому целью настоящей работы является построение математической модели, использование которой позволит проводить оптимизацию подобного типа рабочих органов таких, как механизм разделения початков на части.

КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Система, которую рассматриваем (рис. 2) состоит из направляющего барабана 1 и початка кукурузы 2. Такая система имеет две степени свободы: одну необходимо придать для определения положения барабана, другую – початка.

стрелке поворачивается на угол $\delta\varphi$. Определим сумму работ активных сил и силы трения на возможном перемещении, что отвечает обобщенному возможному перемещению $\delta\varphi$:

$$\delta A_\varphi = -M_1\delta_\varphi - P_2(R+r)\cos\varphi \cdot \delta\varphi \quad (2)$$

Работа силы тяжести P_1 равна нулю, так как точка прикладывания силы неподвижна.

Обобщенной силой Q_φ является коэффициент, который размещен в формуле (2) перед $\delta\varphi$. То есть:

$$Q_\varphi = -[M_1 + P_2(r+R)\cos\varphi] \quad (3)$$

Для определения обобщенной силы Q_ψ зададим обобщенное возможное перемещение $\delta\psi$, считая, что $\delta\varphi$ равно нулю:

$$\delta\psi \neq 0 \text{ и } \delta\varphi = 0.$$

Это означает, что барабан находится в состоянии покоя, а початок вращается вокруг оси O_2 . Поэтому работа сил P_2 и N равны нулю, а работа силы трения F_{mp} на возможном перемещении, что соответствует обобщенному возможному перемещению $\delta\psi$, составит:

$$\delta A_\psi = -F_{mp} \cdot r \cdot \delta\psi \quad (4)$$

Обобщенная сила:

$$Q_\psi = -F_{mp}r. \quad (5)$$

Кинетическая энергия материальной системы, которая состоит из барабана и початка определяется как:

$$\begin{aligned} T &= T_1 + T_2 \\ T &= T_1 + T_2, \end{aligned} \quad (6)$$

где T_1 – кинетическая энергия барабана;

T_2 – кинетическая энергия початка.

Кинетическая энергия барабана T_1 , который вращается вокруг неподвижной оси, определяем по формуле:

$$T_1 = \frac{1}{2}I_{01} \cdot \dot{\varphi}^2, \quad (7)$$

а так как $I_{01} = \frac{PR^2}{2g}$, то:

$$T_1 = \frac{1}{4} \frac{P_1 R^2 \cdot \dot{\phi}^2}{g} . \quad (8)$$

Кинетическую энергию початка, который совершает сложное движение: переносное вместе с барабаном и относительное по отношению к барабану, находим по формуле:

$$T_2 = \frac{1}{2} I_{02} \cdot \varpi_2^2 + \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} v_{02}^2 , \quad (9)$$

где ϖ_2 – угловая скорость початка;

v_{02} – скорость центра тяжести початка.

Для определения абсолютной скорости v_{02} центра тяжести початка используем теорему суммы скоростей точки:

$$v_a = v_c + v_2 .$$

В нашем случае, так как мгновенный центр скоростей находится в т. А, будем иметь:

$$v_{02} = (R + r) \cdot \dot{\phi} + r \cdot \dot{\psi} . \quad (10)$$

Тогда формулу (9) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{1}{2} I_{02} \cdot \dot{\psi}^2 + \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} [(R + r) \cdot \dot{\phi} + r \cdot \dot{\psi}] \\ T_2 &= \frac{1}{2} I_{02} \cdot \dot{\psi}^2 + \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} [(R + r) \cdot \dot{\phi} + r \cdot \dot{\psi}]^2 , \end{aligned} \quad (11)$$

или

$$T_2 = \frac{1}{4} \frac{P_2 \cdot r^2}{g} \cdot \dot{\psi}^2 + \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} [(R + r) \cdot \dot{\phi} + r \cdot \dot{\psi}]^2 . \quad (12)$$

В общем, кинетическая энергия механической системы, которая рассматривается, равна:

$$T = \frac{1}{4} \frac{P_1 R^2}{g} \cdot \dot{\phi}^2 + \frac{1}{4} \frac{P_2 r^2}{g} \cdot \dot{\psi}^2 + \frac{P_2}{g} [(R + r) \cdot \dot{\phi} + r \cdot \dot{\psi}]^2 . \quad (13)$$

Чтобы составить уравнения Лагранжа, вычислим частные производные кинетической энергии T по обобщенным скоростям $\dot{\phi}$ и $\dot{\psi}$:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} = \frac{1}{2} \frac{P_1 R^2}{g} \cdot \dot{\phi} + \frac{P_2 (R + r)}{g} \cdot \dot{\phi} + \frac{P_2}{g} (R + r) \cdot r \cdot \dot{\psi} ; \quad (14)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} = \frac{1}{2} \frac{P_2 r^2}{g} \cdot \dot{\psi} + \frac{P_2}{g} r^2 \cdot \dot{\psi} + \frac{P_2 (R + r)}{g} \cdot r \cdot \dot{\phi} . \quad (15)$$

Соответственно производные по времени будут равны:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \left[\frac{1}{2} \frac{P_1 R^2}{g} + \frac{P_2 (R+r)^2}{g} \right] \cdot \ddot{\varphi} + \frac{P_2}{g} (R+r) \cdot \ddot{\psi} \cdot r \quad (16)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} = \left[\frac{1}{2} \frac{P_2 r^2}{g} + \frac{P_2 r^2}{g} \right] \cdot \ddot{\psi} + \frac{P_2}{g} \cdot r \cdot (R+r) \cdot \ddot{\varphi} \quad (17)$$

Кинетическая энергия T материальной системы, которая определяется формулой (13) не зависит от обобщенных координат φ и ψ , поэтому

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = \frac{\partial T}{\partial \psi} = 0. \quad (18)$$

Подставив формулы (3), (5), (16), (17), (18) в формулу (1), получим:

$$\left. \begin{aligned} \left[\frac{1}{2} \frac{P_1 R^2}{g} + \frac{P_2 (R+r)^2}{g} \right] \cdot \ddot{\varphi} + \frac{P_2}{g} (R+r) \cdot \ddot{\psi} \cdot r &= M_1 + P_2 (r+R) \cos \varphi \\ \left[\frac{1}{2} \frac{P_2 r^2}{g} + \frac{P_2 r^2}{g} \right] \cdot \ddot{\psi} + \frac{P_2}{g} r (R+r) \cdot \ddot{\varphi} &= F_{mp} \cdot r \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Интегрирование системы уравнений (19) представляет определенные трудности. Поэтому их решение лучше проводить числовым методом с использованием соответственного программного обеспечения.

ВЫВОДЫ

Сложные практические проблемы, связанные с выполнением операции послеуборочной обработки початков кукурузы зависят от их геометрических параметров, особенно, это проявляется при сушке початков. Решение поставленной задачи можно достичь путем деления початков на части длиной близкой к среднему их диаметру.

В свою очередь качество выполнения операции зависит от правильного выбора необходимых параметров механизма.

Разработанная математическая модель позволит провести параметрическую оптимизацию механизма деления початков кукурузы, а также использовать ее для разработки механизмов аналогичного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Атаназевич В.И.**, 1989: Сушка зерна. - М.: Агропромиздат, 239 с.
2. **Дідух В.Ф.**, 2002: Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських матеріалів. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 165 с.

3. **Лыков А.В.**, 1968: Теория сушки. М.: Энергия, 471 с.
4. **Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А.**, 1981: Справочник по математике: Пер с нем. – М.: Наука, 719 с.
5. Пат. № 59303 МКИ А01F25/18. Пристрій для подачі качанів кукурудзи. Кужель Е.В, Фесенко О.О., Панасюк С.Г., Дідух В.Ф., Голячук С.Є. Заявл. 26.12.2002. Опубл. 15.08.2003. Бюл.№8
6. **Василенко П.М.**, 1982: О методике математических изысканий при разработке проблем сельскохозяйственной техники. М.: ГОСНИТИ, 144 с.
7. **Запка П.М.**, 1992: Избранные задачи земледельческой механики. Киев: Изд-во УСХА, 507 с.

THE MATHEMATICAL MODELLING OF CORN-COB MOVING ON CYLINDRICAL SURFACE

Summary. The problem of analysis of corn-cobs processing was considered and the methods of cost reduction selected. A mechanism of cutting corn-cobs to pieces equal to an average of their diameters was offered. A mathematical model of corn-cobs moving on shaggy cylindrical surface was shown

Keywords: mathematical model, corn-cobs, cylindrical surface

Recenzent: prof. dr hab. inż. Kazimierz Dreszer