



Конструкція і теорія сільськогосподарських машин Construction and theory of agricultural machines

УДК 621.929.6:636.084.7

Моделювання динаміки переміщення сипкого матеріалу по конусному диску, що обертається

В.Т. Дмитрів, Р.В. Городняк, Г.М. Дмитрів

*Львівський національний аграрний університет (м. Дубляни, Україна),
Dmytriv_V@ukr.net*

Стаття присвячена проблемі моделювання конструкційно-технологічних параметрів конусного ротаційного дискового дозатора-змішувача сипких компонентів для приготування однорідної кормової суміші, зокрема комбікормів. Розроблена схема сил, що діє на частинку при її переміщенні по поверхні обертаючого конусного диска. Розглянута елементарна частинка, як матеріальна точка і диференціальне рівняння руху у векторній формі.

Особливістю математичної моделі є прийняття системи координат нерухомою. Початок відліку системи координат співпадає з вершиною конусного диска. Вісь X співпадає з твірною конуса диска, вісь Y направлена перпендикулярно твірній конуса і в сторону обертання. Система диференціальних рівнянь, яка характеризує динаміку переміщення частинки сипкого матеріалу по поверхні конусного ротаційного диска з врахуванням розкладеної сили тертя на взаємно перпендикулярні осі X і Y та динаміку зміни сили тертя в залежності від місця знаходження матеріальної частини на поверхні конусного диска.

Рішення диференціального рівняння руху частинки проведено чисельно і дозволяє моделювати рух дисперсного матеріалу по поверхні конусного ротаційного диска дозатора-змішувача сипких компонентів корму в залежності від куткової швидкості обертання конусного диска, кута твірної конуса і характеристики матеріалу частинки.

Ключові слова: математична модель, швидкість частинки, конусний диск, дисперсний матеріал, дозатор-змішувач, метод Рунге-Кутта.

Вступ. Проектування робочих елементів машин, зокрема конусних дискових ротаційних дозаторів-змішувачів можливо за умови визначення кінематичних і технологічних параметрів переміщення матеріалу по поверхні робочого органу. У випадку дискового дозатора-змішувача переміщення матеріалу вимагає визначення траєкторії руху окремої частинки сипкого матеріалу, з врахуванням конусності, параметрів взаємодії з рухомою поверхнею, що є важливою науковою задачею і дозволяє на етапі проектування забезпечити високі вимоги до їх точності.

Збільшення частоти обертання конусного диска призводить до зростання сил, зокрема сили Кориоліса, що веде до зниження технологічних параметрів процесу дозування.

Це зумовлює необхідність вивчення технологічного процесу методом математичного моделювання переміщення частинки сипкого матеріалу по поверхні ротаційного конусного робочого органу.

Аналіз останніх досліджень. Рух частинки на шорстких поверхнях проаналізовано в роботах П.М. Василенка [1], також дослідниками Смаглієм В.І. [2] і Гевком Б.М. [3]. При виведенні залежностей не враховано навантаження на частинку від додаткового матеріалу в завантажувальному бункері. При русі частинки по поверхні з прокручуванням широко використовується модель сфери. В публікаціях Заики П.М. [4] приведено рішення задачі руху сфери по до Вільній траєкторії. Ударна взаємодія сферичних частинок з робочими поверхнями машин розглянуто в роботах Морозова І.В. [5] і Рогатинського Р.М. [6]. Зокрема дослідниками Адамчук В.В. і Адамчук О.В. [7-9] розроблені аналітичні залежності на основі схеми дії сил на частинку для визначення відносної швидкості її руху вздовж лопатки і обґрунтування основних конструкційно-технологічних параметрів робочого органу. Також проведені дослідження руху частинки сипкого корму по

поверхні ротаційного конуса, зокрема Бойко І.Г. та Попов О.А. [10] прийняли об'єм сипкого матеріалу, як стала величина і приймаючи ряд допущень, рішення диференціального рівняння одержали із обмеженнями. В дослідженнях Семенцова В.І. і Бойка І.Г. [11] наведено експериментальні дані абсолютної швидкості сходження частинки в залежності від конструкційно-технологічних параметрів з плоского ротаційного диска. Проводили дослідження Банга В.І. і Дмитрів В.Т. [12] з визначення конструкційно-технологічних параметрів ротаційного конусного дозатора сипких кормів з дозуючими прямолінійними лопатками. Дмитрів В., Городняк Р. і ін. [13; 14] провели моделювання руху частинки сипкого матеріалу по поверхні ротаційного конусного диска без лопаток, і з лопатками, при ряді обмежень, зокрема без врахування зміни сил тертя при зміні швидкостей із зміною положення частинки на конусі.

Ряд питань динаміки переміщення частинки сипкого матеріалу по конусному ротаційному диску залишилися не дослідженими, не враховувались зміна сил тертя при переміщенні частинки, а також зміна тиску матеріалу по твірній конуса, не встановлено залежність конструкційно-кінематичних параметрів конусного ротаційного диска при дозуванні сипкого матеріалу від технологічних факторів.

Мета роботи – розроблення аналітичної моделі переміщення частинки по поверхні ротаційного конуса з врахуванням динаміки зміни траєкторії положення і розподілу швидкостей частинки сипкого матеріалу.

Основна частина.

Для визначення характеру переміщення сипкого матеріалу по поверхні ротаційного конусного диска, твірна якого є під кутом α до горизонталі, і диск обертається з кутовою швидкістю ω , розглянемо модель у вигляді аналогічного руху матеріальної точки з масою m .

Розглянемо сили (рис. 1), які діють на частинку сипкого компонента дисперсного матеріалу, яка рухається по поверхні ротаційного конусного диска, схема відповідає запатентованій конструкції [15].

Вибираємо початок відліку системи координат з вершиною конусного диска. Вісь X співпадає з твірною конуса диска, вісь Y направлена перпендикулярно твірній конуса в сторону обертання. Розглянемо елементарну частинку, як матеріальну точку з масою m і складемо диференціальне рівняння руху в векторній формі [13; 14]

$$m \cdot \vec{a} = \vec{G} + \vec{F}_T + \vec{F}_Ц + \vec{N} + \vec{P} + \vec{F}_{КОР}, \quad (1)$$

де G – сила тяжіння, $G = m \cdot g$, Н; P – сила тиску вертикального складової сипкого компоненту корму, $P = \rho_{k1} \cdot g \cdot h \cdot \pi \cdot R^2$, Н; $F_Ц$ – відцент-

рова сила, $F_Ц = m \cdot \omega^2 \cdot r$, Н; N – сила нормальної реакції поверхні конусного диску, $N = G \cdot \cos \alpha$, Н; F_T – сила тертя частинки об поверхню диска, $F_T = f_3 \cdot N$, Н; $F_{КОР}$ – сила Кориоліса, Н; ω – кутова швидкість конусного диска, рад/с; r – радіус від осі обертання до частинки, $r = x \cdot \cos \alpha$, м; α – кут підйому твірної конуса диска, град.; ρ_{k1} – густина сипкого матеріалу, що рухається по конусу диска, кг/м³; h – товщину шару сипкого матеріалу, м; g – прискорення вільного падіння, м/с²; f_3 – зовнішній коефіцієнт тертя ковзання між частинкою сипкого матеріалу і поверхнею диска; \dot{y} – тангенціальна швидкість переміщення частинки, м/с. m – маса частинки, кг.

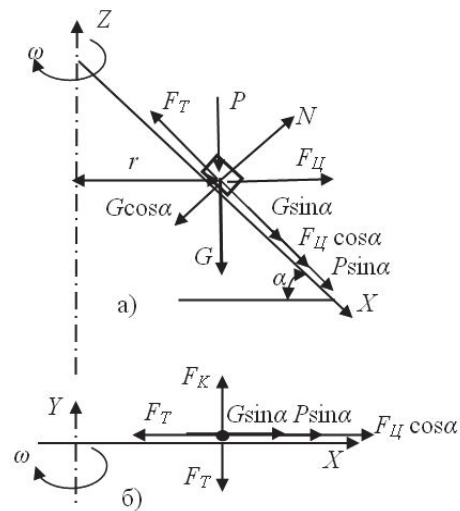


Рис. 1. Схема сил, що діють на матеріальну частинку при її переміщенні по похилій поверхні ротаційного конусного диска дозатора-змішувача: а) у площині осі обертання диска та радіуса r ; б) вигляд зверху

Проектуючи векторну рівність (1) на осі X , Y в першому наближенні одержимо систему диференціальних рівнянь руху частинки у вигляді:

$$\begin{cases} X: F_Ц \cdot \cos \alpha + G \cdot \sin \alpha + \\ + P \cdot \sin \alpha - F_T - F_{КОР} - m \cdot \ddot{x} = 0 \\ Y: F_{КОР} - F_T - P \cdot \cos \alpha - m \cdot \ddot{y} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Враховуємо, що сила тертя частинки об поверхню диска розкладається на нормальну і радіальну проекції. Проекції сили тертя на вісі X і Y будуть відповідно становити:

$$F_{Tx} = F_T \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}, \quad F_{Ty} = F_T \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}. \quad (2a)$$

Товщину шару сипкого матеріалу над диском розраховуємо, враховуючи залежності для визначення подачі компоненту. Знаючи діаметр бункера та зазор між поверхнею диску і торцем

бункера, запишемо залежність для визначення подачі, як:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h_0 \cdot v, \quad (3)$$

де R – радіус нижньої кромки бункера компонента, м; h_0 – зазор між торцем бункера і поверхнею конусного диска, м.

Враховуючи радіальну швидкість, подачу дозатора можна визначити за залежністю:

$$Q = x \cdot \cos \alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot h \cdot \dot{x}, \quad (4)$$

де h – товщина шару сипкого матеріалу над конусним диском, м.

Прирівнявши залежності (3) і (4) визначимо товщину шару сипкого матеріалу

$$h = \frac{R \cdot h_0 \cdot v}{x \cdot \cos \alpha \cdot \dot{x}}. \quad (5)$$

Враховуючи вираз для визначення абсолютної швидкості $v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$, залежність (5) буде мати вигляд

$$h = \frac{R \cdot h_0}{x \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}{\dot{x}}. \quad (6)$$

Розписавши в рівняннях системи (2) їх складові, рівняння руху частинки по осях X і Y набудуть вигляду:

$$m \cdot \ddot{x} = m\omega^2 x \cdot \cos^2 \alpha + mg \cdot \sin \alpha + \rho_{k1} \cdot g \cdot \frac{R \cdot h_0}{x \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}{\dot{x}} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sin \alpha - f_3 \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}, \quad (7)$$

$$m \cdot \ddot{y} = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{x} - f_3 \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} - f_3 \cdot \rho_{k1} \cdot g \cdot \frac{R \cdot h_0}{x \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}{\dot{x}} \times \pi \cdot R^2 \cdot \cos \alpha. \quad (8)$$

Врахуємо, що маса визначається залежністю $m = \rho_{k1} \cdot h_0 \cdot \pi \cdot R^2$, рівняння (7) і (8) набудуть вигляду і становлять систему:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} = \omega^2 \cdot x \cdot \cos^2 \alpha + g \cdot \sin \alpha + g \cdot \frac{R \cdot \sin \alpha}{x \cdot \cos \alpha} \times \\ \times \frac{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}{\dot{x}} - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}; \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = 2 \cdot \omega \cdot \dot{x} - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} - \\ - f_3 \cdot g \cdot \frac{R}{x} \cdot \frac{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}{\dot{x}}. \end{cases} \quad (9)$$

Дана система рівнянь (9) розв'язується числовим методом. Розв'язок даної системи приведено в середовищі математичного пакету MathCad методом Рунге-Кутта.

Нам необхідно проаналізувати динаміку переміщення частинки сипкого компоненту по

поверхні конусного диска. Вихідними параметрами є конструкційні розміри диска: радіус конусного диска $R = 0,05$ м; радіус від вісі до початку переміщення частинки $r_0 = 0,005$ м; кут твірної конуса $\alpha = \pi \cdot \theta / 180$, де $\theta = 0, 10, 20$ – кут твірної конуса в град.; прискорення вільного падіння $g = 9,81$ м/с²; кутова швидкість обертання конусного диска $w = 0,2 \dots 1,5$ рад/с.

Варіант оформлення вихідних даних і початкових умов в математичному пакеті MathCad приведено на рис. 2

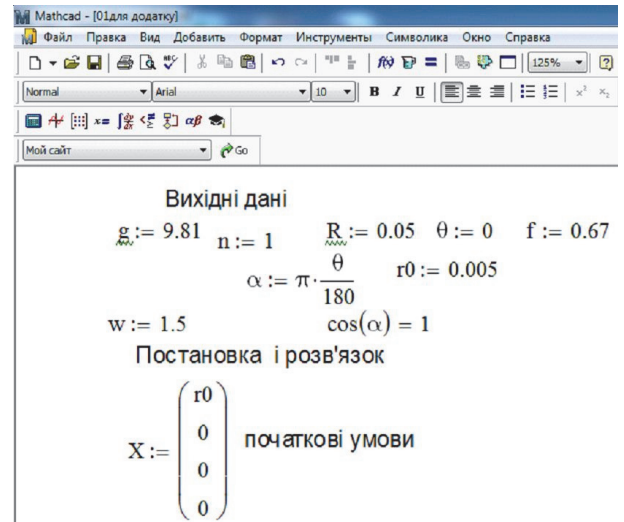


Рис. 2. Вихідні дані і початкові умови чисельного розв'язку системи рівнянь (9)

Для реалізації числового методу розв'язку системи диференціальних рівнянь (9), визначаємо вектор початкових умов (рис. 2) і оператор диференціювання $D(t, X)$ (рис. 3), який характеризує праву частину системи (9). Розв'язуємо систему рівнянь з допомогою функції MathCad $rkfixed(X, t1, t2, Npoint, D)$, аргументами якої є: X – вектор початкових умов; $t1$ і $t2$ – відповідно початкове і кінцеве значення змінної системи диференціальних рівнянь; $Npoint$ – число розбивок відрізка $[t1; t2]$; D – оператор диференціювання. Приклад реалізації наведено на рис. 3.

$$D(t, X) := \begin{bmatrix} X_2 \\ X_3 \\ w^2 \cdot \cos(\alpha)^2 \cdot X_0 + g \cdot \sin(\alpha) + g \cdot \frac{R \cdot \sqrt{(X_2)^2 + (X_3)^2}}{\cos(\alpha) \cdot X_2 \cdot X_0} - f \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \frac{X_2}{\sqrt{(X_2)^2 + (X_3)^2}} \\ 2 \cdot w \cdot X_2 - f \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \frac{X_3}{\sqrt{(X_2)^2 + (X_3)^2}} - f \cdot g \cdot \frac{R \cdot \sqrt{(X_2)^2 + (X_3)^2}}{X_0 \cdot X_2} \end{bmatrix}$$

$z := rkfixed(X, 0, 0.05, 100, D)$

Рис. 3. Приклад реалізації диференціювання системи рівнянь (9)

Алгоритм числового розв'язку диференціальних рівнянь функція `rkfixed` використовує метод Рунге-Кутта четвертого порядку точності, з вибором великої кількості точок розбиття відрізка змінного параметра (у нас це інтервал часу) забезпечується висока точність результатів розрахунку. Фрагмент результатів розв'язку системи рівнянь наведено на рис. 4.

	t, c	$X(R), m$	Y, m	$v_x, m/c$	$v_y, m/c$	
	0	1	2	3	4	
$z =$	69	0.035	0.04	-0.022	1.427	-0.857
	70	0.035	0.041	-0.022	1.431	-0.858
	71	0.036	0.041	-0.023	1.435	-0.859
	72	0.036	0.042	-0.023	1.439	-0.86
	73	0.037	0.043	-0.024	1.443	-0.86
	74	0.037	0.043	-0.024	1.447	-0.861
	75	0.038	0.044	-0.025	1.451	-0.861
	76	0.038	0.045	-0.025	1.454	-0.862
	77	0.039	0.046	-0.025	1.458	-0.862
	78	0.039	0.046	-0.026	1.461	-0.863
	79	0.04	0.047	-0.026	1.465	-0.863
	80	0.04	0.048	-0.027	1.468	-0.863
	81	0.041	0.048	-0.027	1.471	-0.863
	82	0.041	0.049	-0.028	1.474	-0.863
	83	0.042	0.05	-0.028	1.477	-0.863
	84	0.042	0.051	-0.028	1.48	...

Рис. 4. Результати розв'язку системи диференціальних рівнянь (9)

Результати розв'язку приведені у вигляді матриці, перший стовпчик характеризує зміну часу (с), другий – зміну координати X частинки (м), третій – зміну координати Y (м), четвертий – радіальна швидкість частинки (м/с), п'ятий – тангенціальна швидкість частинки (м/с).

Моделювання швидкостей за різних значеннях кутової швидкості обертання і кута твірної диска-дозатора проводили за інтервали часу, що і при моделюванні траєкторії переміщення частинки по поверхні диска-дозатора. Результати моделювання наведено на рис. 5-7.

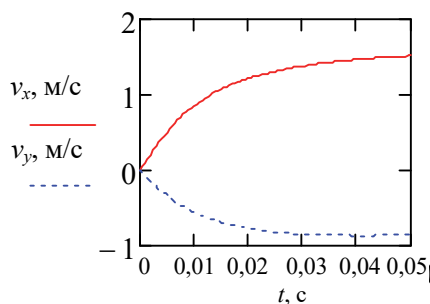


Рис. 5. Результати моделювання радіальної і тангенціальної швидкостей переміщення частинки сипкого матеріалу по поверхні ротаційного диска за частоти обертання $1,5 c^{-1}$

Результати моделювання дозволяють проаналізувати динаміку зміни положення

частинки сипкого матеріалу на поверхні конусного диска, визначити її траєкторію переміщення і зміну швидкостей.

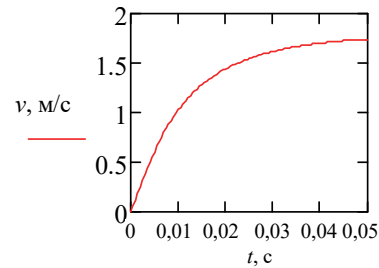


Рис. 6. Результати моделювання абсолютної швидкості переміщення частинки сипкого матеріалу по поверхні ротаційного диска за частоти обертання $1,5 c^{-1}$

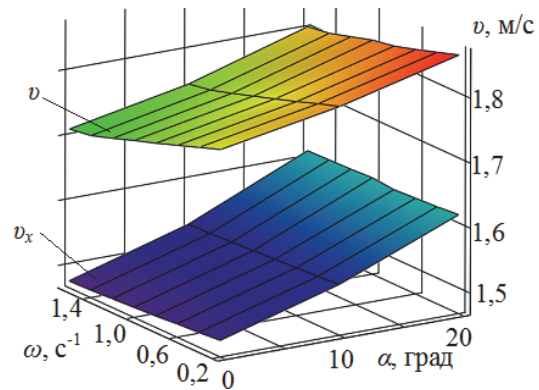


Рис. 7. Залежність абсолютної v і радіальної v_x швидкостей елементарної частинки компоненту від частоти обертання ω і кута конуса α конусного ротаційного дискового дозатора-змішувача

Висновок.

Аналіз результатів моделювання показує, що швидкість вильоту частинки з конусного диска залежить від кута конуса і частоти обертання, при цьому спостерігається зменшення швидкості на плоскому диску, в т.ч. і із збільшенням частоти обертання диска. Це пояснюється силою Кориоліса, яка при збільшенні частоти обертання зростає та діє в протилежну сторону до напрямку обертання диска, що відповідно зменшує абсолютну і радіальну швидкості частинки сипкого матеріалу.

Моделювання показує, що елементарна частинка рухається на конусному диску по колу, тому доцільно розмістити на конусному диску заокруглені лопатки.

Література

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяй-

ственных машин / П.М. Василенко. – К.: УАСХН, 1960. – 283 с.

2. Смаглий В.І. Рух матеріальної частинки по шерохуватих дисках [Електронний ресурс] / В.І. Смаглий // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка і енергетика АПК. Вип. 185(1). 2013. – С.117 -126. – Режим доступу [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnau_tech_2013_185\(1\)_16.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnau_tech_2013_185(1)_16.pdf)

3. Гевко Б.М. Математична модель руху зерна по рухомих поверхнях висівних апаратів / Б.М. Гевко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. № 11, т. 1 (65), 2012. – С. 113 -118.

4. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики / П.М. Заика. – К.: УСХА, 1992. – 512 с.

5. Морозов І.В. Модель траєкторії руху зерна по поверхнях сільськогосподарських машин / І.В. Морозов, О.В. Дудін // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства «Механізація сільськогосподарського виробництва». Вип. 21. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – С. 124 -131.

6. Рогатинський Р.М. Модель контактної взаємодії частинки вантажу з робочими поверхнями сільськогосподарських машин/Р.М. Рогатинський // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства “Механізація сільськогосподарського виробництва”. Вип.21. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – С. 222 - 228.

7. Адамчук О. Теория разгона удобрений рассеивающим рабочим органом центробежного типа / О. Адамчук // Научни трудове на Русенския университет. – Т. 52, серия 1, 2013. – С. 22 - 30.

8. Адамчук В.В. Вплив параметрів і режимів роботи розсіювального органу на сходження з нього частинок мінеральних добрив / В.В. Адамчук // Вісник аграрної науки. №12, 2004. – С. 42 - 45.

9. Адамчук В.В. Теорія відцентрових робочих органів машин для внесення мінеральних добрив / В.В. Адамчук. – К.: Аграрная наука, 2010. – 117 с.

10. Бойко И.Г. Исследование движения частицы сыпучего корма по поверхности подающего конуса ротационного дозатора / И.Г. Бойко, О.А. Попов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства «Сучасні проблеми удосконалення технічних систем і технологій в тваринництві». Вип. 95. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – С. 72 -77.

11. Семенов В.И. Методика и результаты исследования скорости схода частицы схода с диска центробежного смесителя / В.И. Семенов, И.Г. Бойко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства «Технічні системи і технології тваринництва». Вип. 157. – Харків: ХНТУСГ, 2015. – С. 52 - 56.

12. Банга В. Теоретичні дослідження індивідуального роздавача-дозатора комбікормів / В. Банга, В. Дмитрів // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, 2007, № 76. – С.115 -118.

13. Дмитрів В. Аналітична модель руху частинки по поверхності конуса дискового ротационного дозатора-смесителя дисперсних матеріалів / В. Дмитрів, Р. Городняк, Г. Дмитрів // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin-Rzeszow, 2015. – Vol.17, № 9. – P. 79 - 82.

14. Дмитрів В.Т. Моделювання переміщення частинки конусним дисковим дозатором-змішувачем з криволінійними лопатками/ В.Т. Дмитрів, Р.В. Городняк, Г.М. Дмитрів, В.В. Підлісний // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету: технічні науки. – Кам'янець-Подільський, Подільський держ. аграрнотехн. університету, 2016. – Вип. 24, ч. 2. – С. 80 - 88.

15. Патент України на винахід № 97118, Україна МПК В01F7/16, В01F3/18, В01F15/04 (2006.01). Дозатор-змішувач / Дмитрів В.Т., Городняк Р.В.; заявник і патентовласник Дмитрів В.Т., Городняк Р.В.; заявл. 13.04.2009; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.

Аннотация

Моделирование динамики перемещения сыпкого материала по конусному диску, который вращается

В.Т. Дмитрів, Р.В. Городняк, Г.М. Дмитрів

Статья посвящена проблеме моделирования конструктивно-технологических параметров конусного ротационного дискового дозатора-смесителя сыпких компонентов для приготовления однородной кормовой смеси, в частности комбикормов. Разработана схема сил, действующих на частицу при ее перемещении по поверхности вращающегося конусного диска. Рассмотрена элементарная частица, как материальная точка и дифференциальное уравнение движения в векторной форме.

Особенностью математической модели есть принятие системы координат неподвижной. Начало отсчета системы координат совпадает с вершиной конусного диска. Ось X совпадает с образующей конуса диска, ось Y направленная перпендикулярно образующей конуса и в сторону вращения.

Система дифференциальных уравнений, которая характеризует динамику перемещения частицы сыпкого материала по поверхности конусного ротационного диска с учетом разложенной силы трения на взаимно перпендикулярные оси X, Y и динамики изменения силы трения в зависимости от расположения материальной частицы на поверхности конусного диска.

Решение дифференциального уравнения движения частицы проведено числительно и разрешает моделировать движение дисперсного материала по поверхности конусного ротационного диска дозатора-смесителя сыпких компонентов корма в зависимости от угловой скорости вращения конусного диска, угла образующей конуса и характеристики материала частицы.

Ключевые слова: *математическая модель, скорость частицы, конусной диск, дисперсный материал, дозатор-смеситель, метод Рунге-Кутты.*

Abstract

Modeling the dynamics of moving bulk material on the cone disk that rotates

V.T. Dmytriv, R.V. Gorodnyak, H.M. Dmytriv

The article is devoted to the problem of modeling the constructional and technological parameters of a conical rotary disc-feeder-mixer for bulk components for the preparation of a homogeneous feed mixture, in particular, mixed fodders. A scheme is developed for the forces acting on the particle as it moves along the surface of the rotating cone disk. An elementary particle is considered as a material point and a differential equation of motion in vector form.

A feature of the mathematical model is the adoption of a coordinate system fixed. The origin of the coordinate system coincides with the vertex of the cone disk. The X axis coincides with the generator of the disk cone, the Y axis directed perpendicular to the cone generator and in the direction of rotation. A system of differential equations that characterizes the dynamics of the movement of a particulate material on the surface of a conical rotary disk, taking into account the decomposed friction force perpendicular to the X and Y axes and the dynamics of frictional force variation, depending on the location of the material particle on the surface of the cone disk.

The solution of the differential equation of motion of the particle is numerically determined and allows to simulate the movement of dispersed material over the surface of the cone rotary disk of the feeder-mixer of loose feed components depending on the angular velocity of rotation of the conical disk, the angle of the cone forming and the material characteristics of the particle.

Keywords: *mathematical model, particle velocity, cone disk, disperse material, batcher-mixer, Runne-Kutta method.*

Представлено від редакції: В.Ф. Ужик / Presented on editorial: V.F. Uzhik

Рецензент: С.В. Мягkota / Reviewer: S.V. Myagkota

Подано до редакції / Received: 26.05.2017