

УДК 621.929.7

Дмитрів В.Т.
к.т.н., доцент
Городняк Р.В.
асистент

кафедра автоматизації тваринництва, якості та стандартизації
Факультет механіки та енергетики
Львівський національний аграрний університет
Дубляни, Україна

Дмитрів Г.М.
старший викладач

кафедра технології і організації будівництва
Факультет будівництва і архітектури
Львівський національний аграрний університет
Дубляни, Україна

E-mail: Dmytriv_V@ukr.net

Підлісний В.В.
к.т.н., доцент

кафедра машиновикористання в АПК
Інженерно-технічний факультет
Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна

E-mail: v.pidlisnyj@mail.ru

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЧАСТИНКИ КОНУСНИМ ДИСКОВИМ ДОЗАТОРОМ-ЗМІШУВАЧЕМ З КРИВОЛІНІЙНИМИ ЛОПАТКАМИ

Стаття присвячена проблемі моделювання конструкційно-технологічних параметрів конусного ротаційного дискового з криволінійними лопатками 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 диску. Розглянуто елементарну частинку, як матеріальну точку, і диференціальне рівняння руху у векторній формі. Особливістю математичної моделі є прийняття системи координат нерухомою. Початок відліку системи координат співпадає з вершиною конусного диску. Вісь X співпадає з твірною конуса диска, вісь Y направлена перпендикулярно твірній конуса і в сторону обертання, вісь Z направлена вертикально вгору і співпадає з віссю обертання конусного диску. Рішення диференціального рівняння руху частинки проведено чисельно і дозволяє моделювати рух дисперсного матеріалу по поверхні конусного диску з криволінійними лопатками дозатора-змішувача сипких компонентів корму в залежності від кутової швидкості ω обертання конусного диску, кута твірної конуса α і характеристики матеріалу частинки.

Ключові слова: конусний диск, дисперсний матеріал, дозатор-змішувач, кутова швидкість, коефіцієнт тертя, система координат, траєкторія частинки.

Вступ. Проектування робочих елементів машин, зокрема дискового дозатора-змішувача з криволінійними лопатками неможливо без визначення кінематичних і технологічних параметрів переміщення матеріалу по поверхні робочого органу. У випадку дискового дозатора-змішувача переміщення матеріалу вимагає визначення траєкторії руху з врахуванням криволінійності лопатки окремо мої частинки сипкого матеріалу, параметрів взаємодії з рухомою поверхнею, окремих деталей, що є важливою науковою задачею і дозволяє на етапі проектування забезпечити високі вимоги до їх точності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Рух частинки на шорстких поверхнях проаналізовано в роботах П.М. Василенка [1], а також в іншими дослідниками [2, 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 роботі [4] приведено рішення задачі руху сфери по довільній траєкторії. Ударна взаємодія сферичних частинок з робочими поверхнями машин розглянуто в роботах Морозова І.В. [5] і Рогатинського Р.М. [6]. Зокрема дослідниками Адамчуком В.В. і Адамчуком 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. Проведені дослідження руху частинки сипкого корму по поверхні подаючого ротаційного конуса [10-17].

Однак ряд питань обґрунтування параметрів руху матеріалу по конусних ротаційних поверхнях залишилися не дослідженими, не обґрунтовано радіус кривизни лопаток від кута конуса, частоти обертання і енергетичні показники дозування матеріалу, невстановлені оптимальні конструкційно-кінематичні параметри конусного дозуючого диска в залежності від технологічних факторів.

Мета. Метою цього дослідження є розроблення аналітичної моделі переміщення частинки по поверхні конуса з криволінійними лопатками дискового ротаційного дозатора-змішувача сипких матеріалів компонентів комбікорму.

Методологія. Для визначення характеру руху сипкого матеріалу по поверхні диску з криволінійними лопатками, твірною якого під кутом α до горизонталі, і диск обертається з кутовою швидкістю ω , розглянемо модель у вигляді руху матеріальної точки. Сили, які діють на частинку сипкого матеріалу, яка рухається по поверхні конусного диска з криволінійними лопатками, приведено на рис. 1.

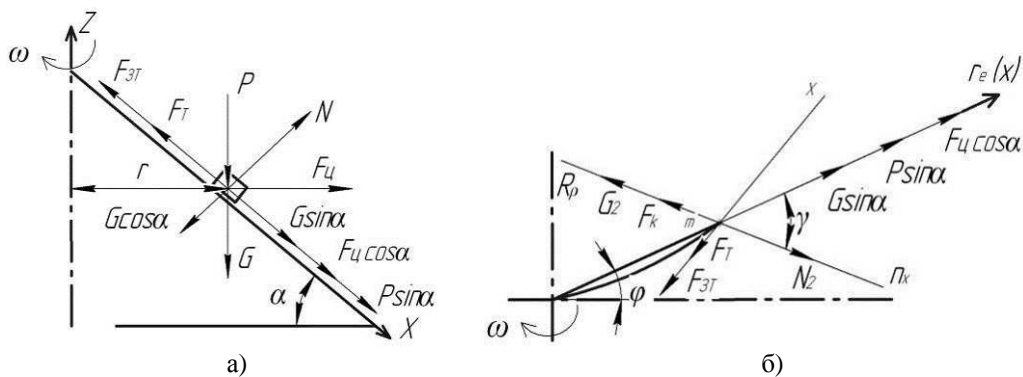


Рис. 1. Схема сил при русі частинки по похилій поверхні ротаційного конусного диска дозатора-змішувача з криволінійними лопатками:

а) у площині осі обертання диска та радіуса r ; б) вид зверху

Розглянемо елементарну частинку, як матеріальну точку і складемо диференціальне рівняння руху в векторній формі. Згідно прийнятої методики одержимо [15]:

$$m \cdot \vec{a} = \vec{G} + \vec{F}_T + \vec{F}_{\psi} + \vec{N} + \vec{P} + \vec{F}_{\text{КОР}} + \vec{F}_{3T} + \vec{N}_2 + \vec{G}_2, \quad (1)$$

де \vec{F}_{3T} – сила тертя частинки об бічну поверхню лопатки, $\vec{F}_{3T} = f_3 \cdot N_2 \mathbf{H}$;

\vec{N}_2 – сила нормальної реакції бічної поверхні лопатки, \mathbf{H} ;

\vec{G}_2 – сила тиску, що діє на бічну поверхню лопатки, Н;

G – сила тяжіння, $G = m \cdot g$, Н;

P – сила тиску вертикального складової сипучого компоненту корму,

$P = \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot g$, Н;

$F_{Ц}$ – відцентрова 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, $F_{КОР} = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{y}$, 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 сипучого матеріалу, що рухається по конусу диска, кг/м³;

V_{k1} – об'єм матеріалу над частинкою, що рухається по конусу диска, м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

f_3 – зовнішній коефіцієнт тертя ковзання між частинкою сипучого матеріалу і поверхнею конусного диска;

\dot{y} – швидкість переміщення частинки по вісі Y , м/с.

Оскільки, вісь x приймаємо співнапрявленою з радіусом диска r , то запишемо рівняння для однієї координати x , позначивши її r_e – твірна, що співпадає з напрямком радіуса:

$$\frac{d^2 r_e}{dt^2} - r_e \frac{d\varphi^2}{dt^2} = g \cdot \sin \alpha + \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} \cdot \sin \alpha + \omega^2 \cdot r_e \cdot \cos \alpha - g \cdot \cos \alpha \cdot f_3 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) -$$

$$- f_2 \cdot \left(2 \cdot \omega \cdot \vartheta_a + \omega^2 \cdot r_e \cdot \cos \alpha \right) \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) - 2 \cdot \omega \cdot \vartheta_a \cdot \cos \gamma - \omega^2 \cdot r_e \cdot \cos \alpha \cdot \cos \gamma$$

або

$$\frac{d^2 r_e}{dt^2} - r_e \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = g \cdot \sin \alpha + \frac{\rho_{k1} \cdot V_{k1}}{m} \cdot g \cdot \sin \alpha + \omega^2 \cdot r_e \cdot \cos \alpha - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) -$$

$$- f_2 \cdot 2 \cdot \omega \cdot \vartheta_a \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) - f_2 \cdot \omega^2 \cdot r_e \cdot \cos \alpha \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) - 2 \cdot \omega \cdot \vartheta_a \cdot \cos \gamma - \omega^2 \cdot r_e \cdot \cos \alpha \cdot \cos \gamma$$

де γ – кут між твірною конуса – віссю r_e , яка проходить через частинку в заданий момент часу і дотичною до лопатки в даній точці.

Виразимо конуси кутів і відносну швидкість в рівнянні (2) через диференціали, одержимо:

$$\frac{d^2 r_e}{dt^2} - r_e \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = g \cdot \sin \alpha + \frac{\rho_{k1} \cdot V_{k1}}{m} \cdot g \cdot \sin \alpha + \omega^2 \cdot r_e \cdot \cos \alpha - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\frac{dr_e}{dt}}{\sqrt{\left(\frac{dr_e}{dt} \right)^2 + \left(r_e \frac{d\varphi}{dt} \right)^2}} -$$

$$- f_2 \cdot 2 \cdot \omega \cdot \frac{dr_e}{dt} - f_2 \cdot \omega^2 \cdot r_e \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\frac{dr_e}{dt}}{\sqrt{\left(\frac{dr_e}{dt} \right)^2 + \left(r_e \frac{d\varphi}{dt} \right)^2}} - 2 \cdot \omega \cdot r_e \cdot \frac{d\varphi}{dt} - \omega \cdot \cos \alpha \cdot r_e \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\text{де } g_a \cdot \cos \gamma = r_e \cdot \frac{d\varphi}{dt}; \quad \omega \cdot r_e = g_a; \quad g_a \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) = \frac{dr}{dt}; \quad \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) = \frac{\frac{dr}{dt}}{\sqrt{\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \left(r \frac{d\varphi}{dt}\right)^2}}$$

В нашому випадку криволінійні лопатки виконані у формі круга з радіусом R_p , який задається рівнянням в полярній системі координат:

$$r_e = 2 \cdot R_p \cdot \cos(\Theta - \varphi), \quad (4)$$

де R_p – радіус лопатки, виконаний у вигляді круга, м.

Загальний вигляд знаходження частинки на лопатці диска приведено на рис. 2.

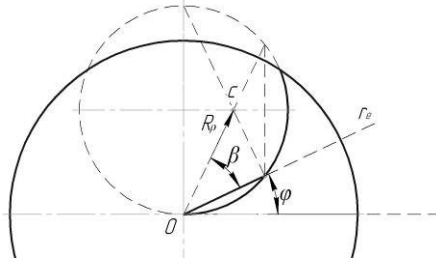


Рис. 2. Схема знаходження частинки на лопатці диска

З виразу (4) визначимо кут і першу похідну:

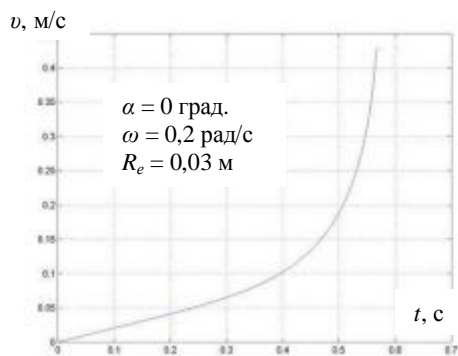
$$\varphi = \Theta - \arccos \frac{r_e}{2 \cdot R_p}; \quad \varphi' = \frac{dr_e/dt}{\sqrt{4 \cdot R_p^2 - r_e^2}} \quad (5)$$

З врахуванням рівняння (4) і (5) одержимо:

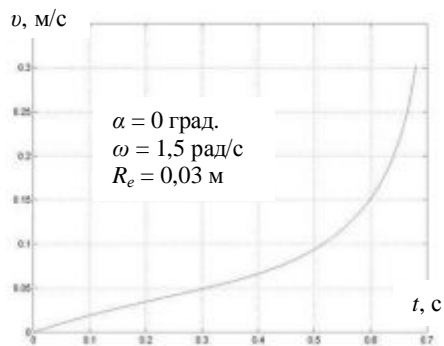
$$\begin{aligned} \frac{d^2 r_e}{dt^2} - \frac{r_e \cdot (dr_e/dt)^2}{4 \cdot R_p^2 - r_e^2} &= g \cdot \sin \alpha + \frac{\rho_{k1} \cdot V_{k1}}{m} \cdot g \cdot \sin \alpha + \omega^2 \cdot r_e \cdot \cos \alpha - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\sqrt{4 \cdot R_p^2 - r_e^2}}{2 \cdot R_p} - \\ &- f_2 \cdot 2 \cdot \omega^2 \cdot \frac{dr_e}{dr} - f_2 \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha \cdot r_e \cdot \frac{\sqrt{4 \cdot R_p^2 - r_e^2}}{2 \cdot R_p} - 2 \cdot \omega \cdot \frac{r_e \cdot dr_e/dt}{\sqrt{4 \cdot R_p^2 - r_e^2}} - \omega \cdot \cos \alpha \cdot \frac{r_e \cdot dr_e/dt}{\sqrt{4 \cdot R_p^2 - r_e^2}} \quad (6) \end{aligned}$$

Дане диференціальне рівняння (6) другого порядку є нелінійним і розв'язуємо числовим методом з допомогою програмного пакету MatLab. Початкові і граничні умови даного рівняння визначили для конкретного дозатора-змішувача: радіус лопатки, виконаний у вигляді круга $R_p = 0,03 \dots 0,07$ м; твірна конуса диска $r_e = 0 \dots 0,05$ м; кут між твірною конуса диска і горизонталлю $\alpha = 0 \dots 20$ град.; кутова швидкість обертання конусного диска дозатора-змішувача $\omega = 0,2 \dots 1,5$ рад/с.

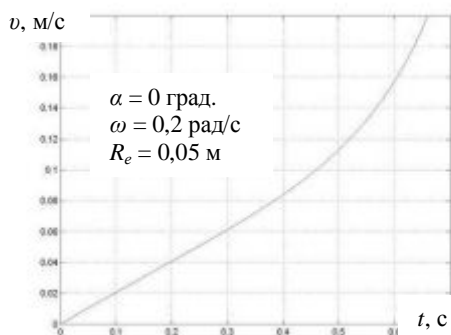
Результати. Моделювання абсолютної швидкості руху елементарної частинки на плоскому диску з лопатками радіусом $R_e = 0,03, 0,05$ і $0,07$ м показує різний характер зміни швидкості (рис. 3, 4). На плоскому диску з лопатками $R_e = 0,03$ м швидкість в часі змінюється по експоненті і з зростанням частоти обертання швидкість вильоту частинки зменшується (рис. 3,а, 3,б).



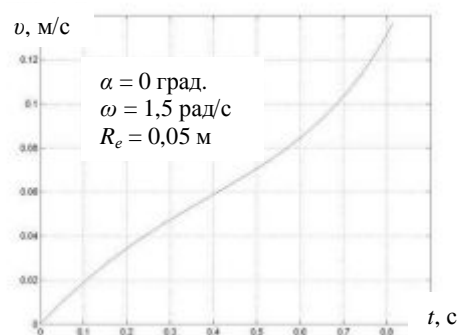
а)



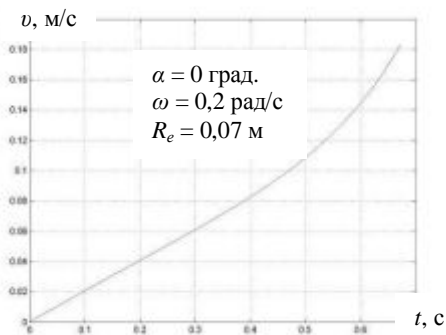
б)



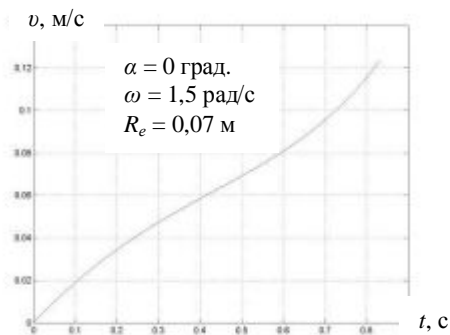
в)



г)



д)



е)

Рис. 3. Графіки зміни абсолютної швидкості v переміщення частинки на плоскому дисковому дозаторі-змішувачі з лопатками при заданих частоті обертання ω диска і радіусі лопатки R_e

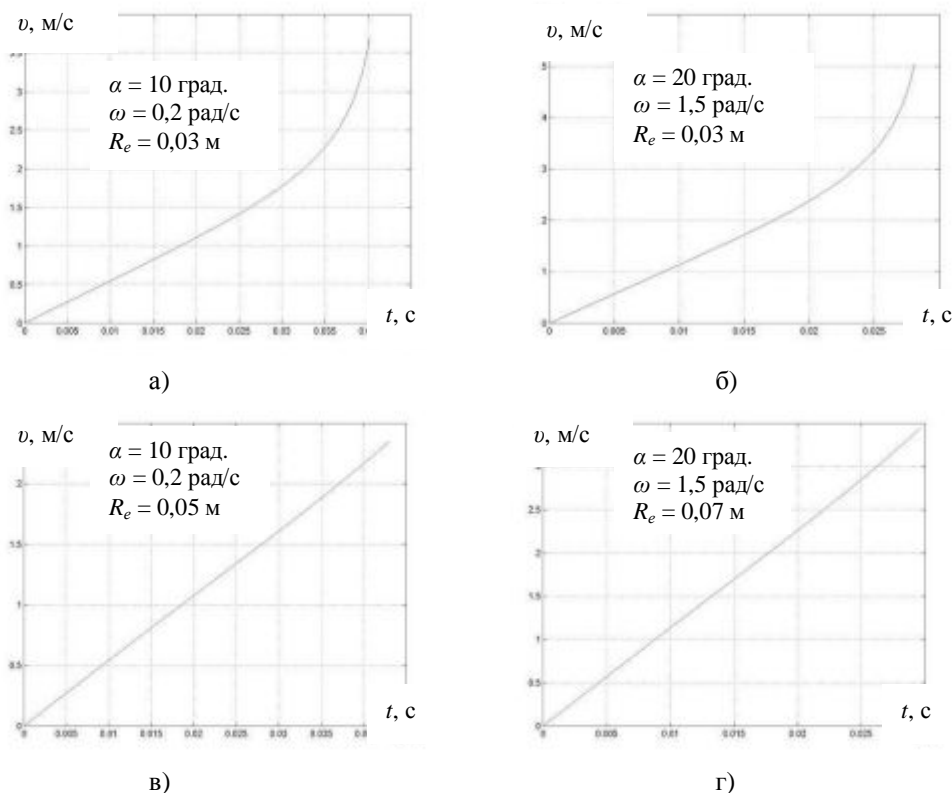


Рис. 4. Графіки зміни абсолютної швидкості v переміщення частинки на конусному дисковому дозаторі-змішувачі з лопатками при заданих частоті обертання ω диска і радіусі лопатки R_e

Результати моделювання абсолютної швидкості v сходження частинки з конусного дискового дозатора-змішувача з криволінійними лопатками при заданих частоті обертання ω диска і куті конуса для радіусів лопатки R_e приведено у вигляді 3-D моделей на рис. 5.

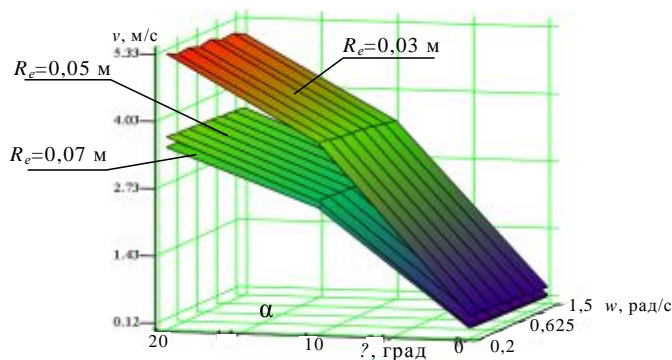


Рис. 5. Залежність абсолютної швидкості v сходження частинки з конусного дискового дозатора-змішувача з лопатками від частоти обертання ω диска і кута конуса α при заданому радіусі лопатки R_e

Висновки. Найбільш ефективним за абсолютною швидкістю виходу частинки з нього є конусний дисковий дозатор-змішувач з лопаткою радіусом 0,03 м на всіх кутах конуса. Абсолютна швидкість вильоту частинки для конусного диска з лопаткою радіусом 0,03 м змінюється в межах від 0,301 м/с при $\alpha=0$ град. і $\omega=1,5$ рад/с до 5,33 м/с при $\alpha=20$ град. і $\omega=0,2$ рад/с. Тенденція зберігається, при зростанні частоти обертання, абсолютна швидкість вильоту частинки зменшується.

Список використаних джерел

1. Василенко, П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин [Текст] / П. М. Василенко. – Киев : УАСХН, 1960. – 283 с.
2. Смаглій, В. І. Движение материальной частицы по шероховатым дисках [Електронний ресурс] / В. І. Смаглій // Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. Серия : Техника и энергетика АПК. Вип. 185(1), 2013. – С. 117-126. (Украина). – Режим доступа : [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) (дата звернення 6.02.2016). – Назва з екрана.
3. Гевко, Б. М. Математична модель руху зерна по рухомих поверхнях висівних апаратів [Текст] / Б. М. Гевко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2012. – № 11. – т. 1 (65). – С. 113-118.
4. Заика, П. М. Избранные задачи земледельческой механики [Текст] / П. М. Заика. – К. : УСХА, 1992. – 512 с.
5. Морозов, І. В. Модель траєкторії руху зерна по поверхнях сільськогосподарських машин [Текст] / І. В. Морозов, О. В. Дудін // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – 2003. – Вип. 21. – С. 124–131.
6. Рогатинський, Р. М. Модель контактної взаємодії частинки вантажу з робочими поверхнями сільськогосподарських машин [Текст] / 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 [Текст] / О. Адамчук // Научни трудове на Русенския университет. – 2013. – Т. 52, серия 1. – С. 22–30.
8. Адамчук, В. В. Вплив параметрів і режимів роботи розсіювального органу на сходження з нього частинок мінеральних добрив [Текст] / В. В. Адамчук // Вісник аграрної науки. –2004. – № 12. – С. 42–45.
9. Адамчук, В. В. Теорія відцентрових робочих органів машин для внесення мінеральних добрив [Текст] / В. В. Адамчук. – К. : Аграрна наука, 2010. – 117 с.
10. Бойко, І. Г. Дослідження руху частинки сипучого корму по поверхні подаючого конуса ротатійного дозатора [Текст] / І. 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. Райхман, Д. Обоснование параметров грузочного устройства роторно-центробежной мельницы для фуражного зерна [Текст] / Д. Райхман, А. Симонов // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – № 5. – С. 123–128.
12. Семенцов, В. І. Методика і результати дослідження швидкості сходження частинки з диску відцентрового змішувача [Текст] / В. І. Семенцов, І. Г. Бойко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства “Технічні системи і технології тваринництва”. – 2015. – Вип. 157. – С. 52–56.
13. Batluk, V. Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow / V. Batluk, M. Basov, V. Klymets // Econtechmod. An International Quarterly Journal – 2013. – Vol. 2. № 3. – С. 17–24.
14. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики. Ч. II. Динамика [Текст] / А.А. Яблонский. – М. : Высшая школа, 1966. – 411 с.
15. Банга, В. Теоретичні дослідження індивідуального роздавача-дозатора комбікормів [Текст] / В. Банга, В. Дмитрів // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2007. – № 76(99). – С. 115–118.

16. Садов, В. В. Обоснование параметров разгонного диска на дробилках с вертикальными валами [Текст] / В.В. Садов, В. А. Садовая // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 1 (51). – С. 43-46.

17. Войтюк, Д. Г. Теоретичні дослідження руху матеріальних частинок в відцентрових апаратах з криволінійними лопатками і змінним кутом їх підйому [Текст] / Д. Г. Войтюк, С. Ф. Пилипака // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – 2006. – Вип. 39. – С. 11-20.

References

1. Vasilenko, P. M. (1960). *Teoriya dvizheniya chasticy po sherohovatym poverhnostjam sel'skohozyajstvennyh mashin* [Theory of motion of a particle on the surface roughness of agricultural machines]. Kiev : UASHN.

2. Smaglij, V. I. (2013). Dvizhenie material'noj chasticy po sherohovatyh diskah [Movement of material particles on the rough disks]. *Nauchnyj vestnik Nacional'nogo universiteta bioresursov i prirodopol'zovanija Ukrainy. Serija : Tehnika i jenergetika APK* [Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Technique and energy agriculture], 185(1), 117-126. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnu_tech_2013_185\(1\)_16.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnu_tech_2013_185(1)_16.pdf)

3. Gevko, B. M. (2012). Matematychna model' ruhu zerna po ruhomykh poverhnjah vysivnyh aparativ [Mathematical model for the movement of grain sowing machines moving surfaces]. *Zbirnyk naukovykh prac' Vinnyts'kogo nacional'nogo agrarnogo universytetu* [Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University], 11(65), 113-118.

4. Zayka, P. M. (1992). *Yzbrannye zadachy zemledel'cheskoj mehaniky* [Selected problems of agricultural mechanics]. Kiev : USHA.

5. Morozov, I.V., Dudin, O. V. (2003). Model' trajektorii' ruhu zerna po poverhnjah sil'skogospodars'kyh mashyn [Trajectory of movement of grain surfaces Model agricultural machines]. *Visnyk Harkivs'kogo derzhavnogo tehničnogo universytetu sil'skogo gospodarstva "Mehanizacija sil'skogospodars'kogo vyrobnyctva"* [Herald of Kharkiv State Technical University of Agriculture "Mechanization of agricultural production"], 21, 124-131.

6. Rogatyns'kyj, R. M. (2003). Model' kontaktnoi' vzajemodii' chastynky vantazhu z robochymy poverhnjamy sil'skogospodars'kyh mashyn [Model of contact interaction of the particles with a cargo worktops agricultural machines]. *Visnyk Harkivs'kogo derzhavnogo tehničnogo universytetu sil'skogo gospodarstva "Mehanizacija sil'skogospodars'kogo vyrobnyctva"* [Herald of Kharkiv State Technical University of Agriculture "Mechanization of agricultural production"], 21, 222-228.

7. Adamchuk, O. (2013). Teoryja razgona udobrenij rassevyvajushhym robochym organom centrezhnogo typu [Theory acceleration fertilizer scattering working body of the centrifugal type]. *Nauchnyj trudove na Rusens'kija universytet [Scientific Labor at Ruse University]*, 52, 22-30.

8. Adamchuk, V. V. (2004). Vplyv parametriv i rezhymiv roboty rozsijuval'nogo organu na shodzhennja z n'ogo chastynok mineral'nyh dobryv [Influence of parameters and operating modes of the scattering body to climb out of it fertilizer particles]. *Visnyk agrarnoi' nauky [Bulletin of agrarian science]*, 12, 42-45.

9. Adamchuk, V. V. (2010). *Teoriya vidcentrovyyh robochyh organiv mashyn dlja vnesennja mineral'nyh dobryv* [Theory of centrifugal machines working bodies for the application of mineral fertilizers]. – K. : Agrarnaja nauka [Agricultural Science].

10. Bojko, Y.G., & Popov O.A. (2010). Doslidzhennja ruhu chastynky sypuchogo kormu po poverhni podajuchogo konusa rotacijnogo dozatora [Study of motion of a particle on the surface of the bulk feed cone rotary dispenser]. *Visnyk Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu sil'skogo gospodarstva "Suchasni problemy udoskonalennja tehničnyh system i tehnologij v tvarynnyctvi"* [Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture "Modern problems of improving the technical systems and technologies in animal husbandry"], 95,72-77.

11. Rajhman, D., & Symonov, A. (2013). Obosnovanye parametrov zagruzochnogo ustrojstva rotorno-centrezhnoj mel'nycy dlja furazhnogo zerna [Rationale for the parameters feeder rotary centrifugal mill for coarse grains]. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 5, 123-128.

12. Semencov, V. I., & Bojko I. G. (2015). Metodyka i rezul'taty doslidzhennja shvydkosti shodzhennja chastynky z dysku vidcentrovogo zmishuvacha [Methods and results of the study ascent speed particles from the disk centrifugal mixer]. *Visnyk Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo*

universytetu sil's'kogo gospodarstva "Tehnichni systemy i tehnologii' tvarynnyctva", 157, 52-56.

13. Batluk, V., Basov, M., & Klymets, V. (2013). Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*, 3, 17–24.

14. Jablonskyj, A. A. (1966). *Kurs teoretycheskoj mehaniky. Ch. II. Dynamyka* [Course of theoretical mechanics. In Part II. Dynamics]. Moscow : Vysshaja shkola [Higher School].

15. Banga, V., & Dmytriv, V. (2007). Teoretychni doslidzhennja indyvidual'nogo rozdavachadozatora kombikormiv [Theoretical studies of individual animal feed dispenser dosing]. *Zbirnyk naukovykh prac' Lugansk'kogo nacional'nogo agrarnogo universytetu. Serija: Tehnichni nauky* [Collection of scientific works of Lugansk National Agrarian University. Series: Engineering], 76(99), 115-118.

16. Sadov, V. V., & Sadovaja, V. A. (2009). Obosnovanye parametrov razgonnogo dyska na drobyl'kah s vertikal'nymy valamy [Justification overlocking parameters on disk crushers with vertical shafts]. *Vestnyk Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo unyversyteta* [Herald of Altai State Agrarian University], № 1 (51), 43-46.

17. Vojtjuk, D. G., & Pylypaka, S. F. (2006). Teoretychni doslidzhennja ruhu material'nykh chastynok v vidcentrovyyh aparatah z kryvolinijnymy lopatkamy i zminnym kutom i'h pidjomu [Theoretical studies of the motion of material particles in centrifugal devices with curved blades and a variable angle of their ascent]. *Praci Tavrijs'koi' derzhavnoi' agrotehnicnoi' akademii'* [Proceedings Taurian state agrotechnical academy], 39, 11-20.

Дата надходження статті до редакції : 09.02.2016.

рецензування : 22.02.2016, прийняття в друк 29.02.2016.

Received : 09.02.2016 1st Revision: 22.02.2016 Accepted: 29.02.2016

Basil Dmytriv

PhD (Techn.),

Associate Professor

Roman Horodnyak

Assistant Lecturer

Department of Livestock Automation

Quality and Standardization Department of Mechanics and Energy

Lviv National Agrarian University

Dubliany, Ukraine

E-mail: Dmytriv_V@ukr.net

Galina Dmytriv

Senior Instructor

Department of Technology and organization of construction

Faculty of Engineering and Architecture

Lviv National Agrarian University

Dubliany, Ukraine

Vitalij Pidlisnyj

PhD (Techn.),

Associate Professor

Department of to use a machine in AIC

Engineering Faculty

State Agrarian and Engineering University in Podilya

Kamenets-Podilsky, Ukraine

E-mail : v.pidlisnyj@mail.ru

PARTICLE MOVEMENT MODELING OF CIRCULAR CONE DISPENSER-MIXER WITH CURVED SCOOP

The article deals with the modeling design and technological parameters of conical rotary disc with curved blades dispenser-mixer loose components for the preparation of a homogeneous mixture of feed, in particular animal feed.

A scheme of forces acting on the particle as it moves along the conical surface of the rotating disk was shown. An elementary particle as a material point, and the differential equation of motion in vector form were highlighted. A feature of the mathematical model is the adoption of a fixed coordinate system. The origin of the reference frame coincides with the apex of the cone disc. Here X is the same x the cone drive, Y-axis is perpendicular to the cone in the direction of rotation, Z axis is directed vertically upward and coincides with the rotation axis of the conical disk. differential equations of motion of the particle solution was obtained numerically modeled and allows movement of the particulate material on the

surface of the conical disc with curved blades of the mixer-dispenser bulk food components depending on the rotation angular velocity ω conical disc of the cone angle α and material characteristics of the particle.

Keywords: cone drive, particulate material dispenser-mixer, angular velocity, friction, coordinate system, the trajectory of the particle.

Василий Дмитров

к.т.н., доцент

Роман Городняк

ассистент

кафедра автоматизации животноводства, качества и стандартизации

Факультет механики и энергетики

Львовский национальный аграрный университет

Дубляны, Украина

E-mail: Dmytriv_V@ukr.net

Галина Дмитров

старший преподаватель

кафедра технологии и организации строительства

Факультет строительства и архитектуры

Львовский национальный аграрный

Дубляны, Украина

Виталий Подлесный

к.т.н., доцент

кафедра машиноиспользования в АПК

Инженерно-технический факультет

Подольский государственный аграрно-технический университет

Каменец-Подольский, Украина

E-mail: y.pidlisnyj@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ КОНУСНЫМ ДИСКОВЫМ ДОЗАТОРОМ-СМЕСИТЕЛЕМ С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ЛОПАТКАМИ

Статья посвящена проблемам моделирования конструктивно-технологических параметров конусного ротационного дискового с криволинейными лопатками дозатора-смесителя сыпучих компонентов для приготовления однородной кормовой смеси, в частности комбикормов.

Разработана схема сил, действующая 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 является принятие системы координат неподвижной. Начало отсчета системы координат совпадает с вершиной конусного диска. Ось X совпадает с образующей конуса диска, ось Y направлена перпендикулярно образующей конуса и в сторону вращения, ось Z направлена вертикально вверх и совпадает с осью вращения конусного диска. Решение дифференциального уравнения движения частицы произведено численно и позволяет моделировать движение дисперсного материала по поверхности конусного диска с криволинейными лопатками дозатора-смесителя сыпучих компонентов корма в зависимости от угловой скорости ω вращения конусного диска, угла образующей конуса α и характеристик материала частицы.

Ключевые слова: конусный диск, дисперсный материал, дозатор-смеситель, угловая скорость, коэффициент трения, система координат, траектория частицы.