

УДК 631.3:636

С.М. Луц<sup>1</sup>, асп., В.І. Харитонов<sup>1</sup>, мол. наук. співроб.

Відділ біоекотехнічних систем в тваринництві ННЦ «ІМЕСГ», м. Запоріжжя (Україна)

## Визначення параметрів кидання за умови зміни точки сходу матеріалу

Розглянуто методичний підхід розрахунку траєкторії польоту часток підстилкового матеріалу, який подається роторним розкидачем, при розподілі його по довжині стійла. Визначено залежність дальності її польоту від кута нахилу лопатей і перетину призми волочиння стружки роторний розкидач, підстилковий матеріал, стружка, призма волочиння

С.М. Луц, В.І. Харитонов

Отдел биоэкологических систем в животноводстве ННЦ «ИМЕСХ», г. Запорожье

Определение параметров бросания при смене точки схода материала

Рассмотрено методический подход расчета траектории полета частиц подстилочного материала, который подается роторным разбрасывателем, при распределении его по длине стойла. Определено зависимость дальности ее полета от угла наклона лопастей и сечения призмы волочения стружки роторный разбрасыватель, подстилочный материал, стружка, призма волочения

**Постановка проблеми.** При визначенні параметрів пневмотранспортування матеріалу розкидачами сільськогосподарських машинах майже не розглядається зміна траєкторій польоту часток маси, розташованої на їх лопатях. Це допустимо, наприклад, при подачі маси у напрямний кожух, який безпосередньо примикає до ротора. Проте, у ряді випадків при виконанні технологічного процесу вимагається подавати масу киданням, розпріділяючи, або навпаки концентруючи к деяких межах горизонтального чи вертикального простору [1]. Це вимагає врахування зміни траєкторії часток при сході маси, розташованої на лопаті, а також її кількості.

**Мета досліджень.** Визначення закономірностей руху вільного польоту часток маси, яка формується на лопаті у призму волочиння, і у результаті обертання ротора сходить з лопаті при змінюванні величини та напрямку швидкості та висоти сходу.

**Результати дослідження.** Сход часток стружки, яка, представляє собою призму волочиння з лопаті починається під час його виходу з маси і закінчується при повороті ротора на певний кут. Тобто початок сходу частки, яка розмішена в крайній точці стружки, характеризується напрямом швидкості, яка через відсутність відносної швидкості перпендикулярна уявному радіусу ротора, тобто має горизонтальний напрям. У цьому разі її величина рівна переносній швидкості, тобто лінійній швидкості кінця пальців ротора і становить  $V_0 = \omega R$ . Подальший схід часток стружки супроводжується збільшенням як висоти сходу, так і абсолютної швидкості у результаті появи відносної швидкості та зменшення кута між вектором абсолютної швидкості і уявним радіусом ротора, тобто частка сходить під деяким кутом до горизонту.

© С.М. Луц, В.І. Харитонов, 2013

<sup>1</sup> Науковий керівник – д.т.н., член-кореспондент НААН, професор Шевченко І.А.

Таким чином розглядаючи загальну закономірність зміни траєкторії вільного польоту частки виходимо з того, що вона сходить з пальця ротора на певній висоті  $h$  над поверхнею з початковою швидкістю  $V_{o1}$ , направленою під кутом  $\varphi_c=0^\circ$  до горизонту (рис. 1).

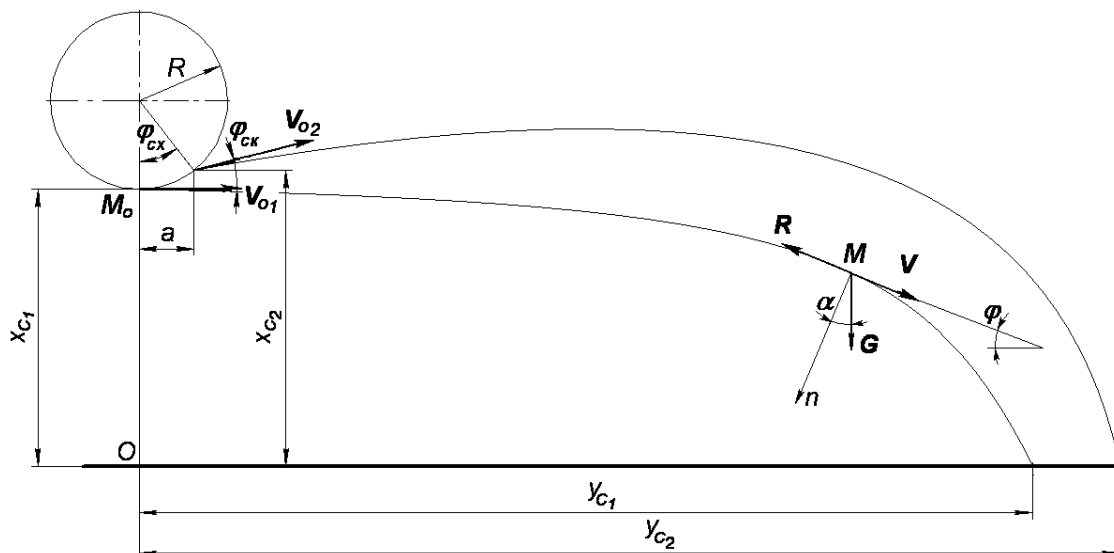


Рисунок 1 – Траєкторії вільного польоту часток після сходу з ротора

У прямокутній системі координат з центром, розташованим на осі обертання ротора, при горизонтальній осі абсцис, направлений вліво і спрямованій вгору осі ординаті (рис. 1) визначимо координати початку сходу стружки з лопаті (точка  $C_1$ ), які становлять

$$x_{C1}=0 \text{ і } y_{C1}=h \quad (1)$$

та кінця її сходу — (точка  $C_2$ ) відповідно

$$x_{C2}=R \cdot \sin \varphi_{cx} \text{ і } y_{C2}=h + R(1 - \cos \varphi_{cx}). \quad (2)$$

Будь яка частка, яка сходить з лопаті у вільному польоті повинна потрапити у найвіддаленішу точку поверхні стійла, тобто пролетіти по горизонталі відстань, яка у першому випадку дорівнює  $L_c$ , у другому —  $L_c - R \sin \varphi_{cx}$ , де  $L_c$  — відстань по горизонталі від осі барабана до найвіддаленішу точку поверхні стійла.

У прийнятій системі декартових координат зображених на рис. 1 початкові умови руху частки (при  $t=0$ ) будуть  $x=0$ ,  $y=0$ ,  $x'=V_o \cos \varphi_c$ ,  $y'=V_o \sin \varphi_c$ .

При знаходженні необхідної кутової швидкості обертання ротора нами прийнято квадратичну залежність сили опору повітря (формулу Ньютона) [2], яка справедлива для швидкості руху тіла зі швидкістю від 0.1 до 250 м/с [3].

Для визначення характеру руху частки у вільному польоті, використовуючи відомий метод [4], зобразимо її у проміжному положенні М. До частки масою  $m$  прикладені дві сили:  $G$  — сила ваги частки, спрямована вертикально вниз, яка дорівнює  $G=mg$ , і  $R$  — сила опору руху, спрямована по дотичній до траєкторії в даній точці в бік, протилежний руху, яка розраховується за виразом  $R=k_m v^2$ , де  $m$  — маса частки,  $V$  — її швидкість,  $k_n$  — постійний коефіцієнт (коефіцієнт парусності).

Початкова швидкість частки є результатом поштовху, що мав місце протягом досить малого проміжку часу, рівного тисячним часткам секунди. За початок відліку часу приймається момент кінця поштовху, коли частка набуває швидкості  $V_0$  (починає сходити з пальця).

Складемо диференціальні рівняння руху частки в проекціях на осі  $x$  і  $y$ :

$$m\ddot{y} = -G \quad \text{або} \quad \ddot{y} = -g; \quad (3)$$

$$R = -mk_n V^2. \quad (4)$$

Проектуючи на осі  $x$  і  $y$  отримаємо:

$$\ddot{x} = -k_n V \dot{x} \cdot \cos \varphi_c \quad \text{і} \quad \ddot{y} = -g - k_n V \dot{y} \cdot \sin \varphi_c. \quad (5)$$

Для інтегрування першого з диференціальних рівнянь (5) замінимо  $\ddot{x}$  на  $\frac{d\dot{x}}{dt}$ , а  $V$  на  $\frac{d\sigma}{dt}$ , де  $\sigma$  — дугова координата, вимірювана по траєкторії від початкової точки  $M_0$ . Після відділення змінних отримаємо:

$$\frac{d\dot{x}}{\dot{x}} = -k_n \cos \varphi_c \cdot d\sigma, \quad (6)$$

звідки після інтегрування отримаємо

$$\ln(\dot{x}) = -k_n \sigma \cdot \cos \varphi_c + C. \quad (7)$$

При визначенні постійної інтегрування виходимо з того, що у початковому положенні частки, тобто при  $\sigma = 0$ , проекція швидкості становить  $\dot{x} = V_0 \cos \varphi_c$ , звідки маємо  $C = \ln(V_0 \cos \varphi_c)$ . Підставивши отримане значення  $C$  в рівняння (7), знаходимо

$$\dot{x} = V_0 e^{-k_n \sigma \cdot \cos \varphi_c} \cdot \cos \varphi_c. \quad (8)$$

Для спрощення рішення задачі замість диференціального рівняння (5) скористаємося диференціальним рівнянням руху частки в проекції на головну нормаль  $n$  до її траєкторії в точці  $M$ . При цьому проекція сили опору  $R$  на головну нормаль дорівнює нулю

$$m \frac{V^2}{\rho} = G \cos \alpha, \quad (9)$$

де  $\rho$  — радіус кривизни кривої.

Так як  $\alpha = 2\pi - \varphi$ , де  $\varphi$  — кут між віссю  $x$  і дотичною, то  $\cos \alpha = \cos \varphi$ , тобто

$$\frac{V^2}{\rho} = g \cos \varphi. \quad (10)$$

Як відомо з курсу диференційної геометрії, кривизна кривої  $k$  в даній точці становить

$$k = \frac{1}{\rho} = -\frac{d\varphi}{d\sigma}, \quad (11)$$

знак мінус узятий тому, що зі зростанням  $\sigma$  кут  $\varphi$  убуває. Так як  $\operatorname{tg} \varphi = y'_x$ , то  $\varphi = \operatorname{arctg} y'_x$ .

Таким чином отримуємо

$$\frac{d\varphi}{d\sigma} = \frac{d}{d\sigma}(\operatorname{arctg} y'_x) = \frac{1}{1 + y_x'^2} \cdot y_x'' \cdot \frac{dx}{d\sigma}. \quad (12)$$

Враховуючи, що,  $d\sigma = \sqrt{1 + y_x'^2} dx$  знаходимо  $\frac{d\varphi}{d\sigma} = \frac{y_x''}{(1 + y_x'^2)^{3/2}}$  вираз, який представляє кривизну кривої.

Підставивши отримане значення  $\frac{d\varphi}{d\sigma}$  в формулу (11), маємо

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{y_x''}{(1 + y_x'^2)^{3/2}} = -\frac{y_x''}{(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)^{3/2}}, \quad \text{тобто} \quad \frac{1}{\rho} = -y_x'' \cos^3 \varphi. \quad (13)$$

Скориставшись формулою (13), перепишемо рівняння (10) у вигляді:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} V^2 \cos^2 \varphi = -g. \quad (14)$$

Враховуючи, що  $V \cdot \cos \varphi = x'$ , а також формулу (8), отримаємо

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{g}{V_o^2 \cos^2 \varphi_c} e^{2k_n \sigma \cdot \cos \varphi_c}. \quad (15)$$

Приймаючи ділянку траєкторії  $M_0 M_1$ , безпосередньо прилеглою до початкового положення точки  $M_0$ , настільного і близькою до горизонтальної, то, вважаючи  $\sigma$  величиною першого порядку малості, ми можемо з точністю до складових першого порядку малості включно замінити в рівнянні (15)  $\sigma$  на  $x$  (різниця  $x - \sigma$  є величиною другого порядку малості). Тепер диференційне рівняння (15) набуде вигляду

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{g}{V_o^2 \cos^2 \varphi_c} e^{2k_n x \cdot \cos \varphi_c}. \quad (16)$$

Після інтегрування цього наближеного диференційного рівняння маємо

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{g}{2k_n V_o^2 \cos^2 \varphi_c} e^{2k_n x \cdot \cos \varphi_c} + C_1. \quad (17)$$

При  $x=0$  маємо  $\frac{dy}{dx} = tg \varphi_c$  (дотична до траєкторії в точці  $M_0$  розташована під кутом  $\varphi_c$  до горизонту). Підставивши ці початкові умови в рівняння (17), знаходимо, що  $C_1 = \frac{g}{2k_n V_o^2 \cos^2 \varphi_c} + tg \varphi_c$ . Отже, рівняння (17) набуває вигляду

$$\frac{dy}{dx} = \frac{g}{2k_n V_o^2 \cos^2 \varphi_c} - \frac{g}{2k_n V_o^2 \cos^2 \varphi_c} e^{2k_n x \cdot \cos \varphi_c} + x \cdot tg \varphi_c. \quad (18)$$

Інтегруванням диференційного рівняння (18), отримуємо:

$$y = \frac{g}{2k_n V_o^2 \cos^2 \varphi_c} x - \frac{g}{4k_n^2 V_o^2 \cos^2 \varphi_c} e^{2k_n x \cdot \cos \varphi_c} + C_2. \quad (19)$$

Так як при  $x=0$   $y=h$ , то  $C_2 = h + \frac{g}{4k_n^2 V_o^2}$  і рівняння (19) набуває вигляду

$$y = h + \left( \frac{g}{2k_n V_o^2 \cos^2 \varphi_c} + tg \varphi_c \right) x + \frac{g}{4k_n^2 V_o^2 \cos^2 \varphi_c} (1 - e^{2k_n x \cdot \cos \varphi_c}). \quad (20)$$

Це – шукане наближене рівняння ділянки траєкторії  $M_0M_1$ .

Висота підйому точки є точкою екстремуму функції (20) і визначається із залежності

$$\frac{g}{2k_n V_o^2} (1 - e^{2k_n x \cdot \sin \varphi_c}) + ctg \varphi_c = 0. \quad (21)$$

Підстановка значень виразів (1) у (20) дає змогу знайти початкову абсолютну швидкість (яка у даному випадку рівна переносній) необхідну для подачі частки відокремленої маси у задану точку і, відповідно, кутову швидкість обертання ротора.

Сход часток маси з лопаті закінчується при поверненні ротора на кут  $\varphi_{cx}$ . У цьому разі кут між горизонтом і вектором абсолютної швидкості, величина якої визначається з використанням виразів (2) і (20), становить  $\pi/2 + \varphi_{cx} - \gamma$ , де  $\gamma$  — кут між лопаттю і вектором швидкості сходу частки.

У якості прикладу розглянемо роботу розкидача продуктивністю 2 т/год., який встановлено на кормороздавачі, поперечний транспортер якого шириною 400 мм встановлений на висоті 780 мм над поверхнею стійла що подає поперечним транспортером шириною 400 мм шар соломи щільністю у 25 кг/м<sup>3</sup> зі швидкістю 1 м/с. Лопатевий роторний барабан розкидач фізичним діаметром 500 мм має вздовж осі чотири ряди лопатей і обертаючись з частотою 375 об/хв. киданням подає солому до стійла глибиною 2.5 м. Середня швидкість витання часток соломи взята 3 м/с, коефіцієнт її тертя по матеріалу пальця прийнято рівним 0.4.

Приймаючи установку лопатей зі змогою відхилення як назад, так і вперед на 16° з використанням програму Mathcad [5] за наведеними вище виразами було

визначено межі вільного польоту часок соломи для різних кутів установки лопатей і перетинів стружки, розташованої на них (табл. 1).

Таблиця 1 – Довжина польоту часток соломи, м

Кут нахилу лопаті, град	Розташування перетину у частках довжини лопаті				
	p = 0	p = 0.25	p = 0.5	p = 0.75	p = 1.0
-30	2.889	2.845	2.759	2.635	2.473
-15	2.828	2.799	2.744	2.579	2.379
0	2.752	2.746	2.661	2.515	2.256
15	2.657	2.682	2.600	2.434	2.091
30	2.533	2.589	2.537	2.333	1.851

Знак мінус використовується для лопатей відхилених назад, знак плюс — вперед.

За даними, табл. 1 наведено рис. 2, у якому представлено відсоткову зміну довжини польоту часток для різних перетинів довжини стружки та зміні кута установки лопаті.

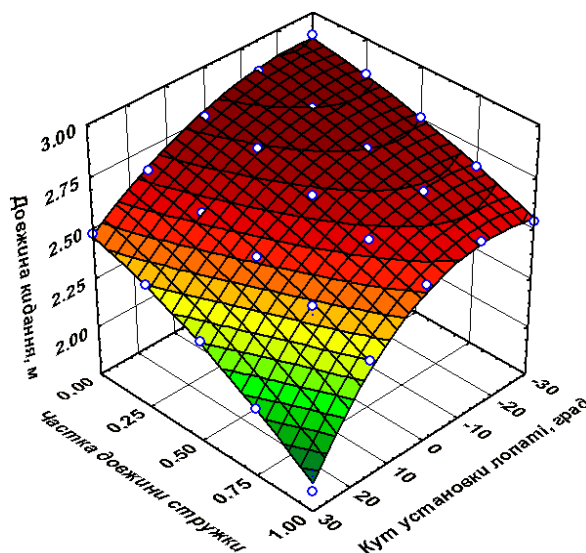


Рисунок 2 – Траєкторії вільного польоту часток після сходу з ротора

**Висновки.** В результаті теоретичних досліджень встановлено залежність дальності кидання стружки соломи від частки її довжини та кута установки лопаті роторного розкидача. Аналіз отриманої залежності показує що при діапазоні кута нахилу установки лопаті роторного розкидача від -30 до -10 град. спостерігається найбільша дальність кидання стружки соломи при будь-якій частки її довжини. Більш точне значення кута установки лопаті буде отримано в ході подальших експериментальних дослідженнях.

### Список літератури

1. Харитонов В. І. “Змішувач-аератор гное-компостних сумішей” / В. І. Харитонов // Аграрна наука та практика на сучасному етапі розвитку народногосподарського комплексу: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення. Міжнародна науково-практична конференція, – Львів : «Львівська аграрна фундація», 2012. – С. 25-27.

2. Ковалев Н. Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). / Ковалев Н. Г., Хайлнс Г. А., Ковалев М. М. – М.: ИК "Родник" // журнал "Аграрная наука", 1998.—208 с., ил. 113. – (Учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений).
3. Никитин Е. М. Краткий курс теоретической механики / Е. М. Никитин – Главн. ред. физ.-мат. лит. изд-ва "Наука", 1971 – 400 с.
4. Теоретическая механика в примерах и задачах, т. II (динамика), Бать М. И., Джанелидзе Г. Ю., Кельзон А. С. М., Наука – 1972. – 624 с. с илл.
5. Алексеев Е. Р. Matcad 12 / Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова. - М.: НТ Пресс, 2005. - 347, 7 с.: ил.

**S. Luts, V. Kharitonov**

*National Scientific Center "Institute of Agricultural Engineering and Electrification" of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Department Biocotechnical systems in animal husbandry, Zaporozhye*

#### **Defining the parameters of throwing when changing the vanishing point of the material**

The calculation of the methodical approach flight path of the particles of bedding material that is fed rotary spreader, with its distribution along the length of the stall. Determined the dependence of its flight range of the angle of inclination of the blades and section Drawing prism chips.

**rotary spreader, bedding material, shavings, drawing prism**

Одержано 16.09.13

**УДК 631. 363**

**Д.О. Мілько, доц., канд. техн. наук**

*Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь*

## **Визначення основних параметрів шнекового відокремлення рослинної сировини при боковій подачі**

В статті наведено теоретичні аспекти щодо визначення основних параметрів, що характеризують процес шнекового відокремлення рослинної сировини при боковій подачі.

**фрезерний робочий орган, фрезерування, різання, рослинна сировина, шнековий робочий орган**

**Д.А. Мілько**

*Таврийский государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь*

**Определение основных параметров шнекового отделения растительного сырья при боковой подаче**

В статье рассмотрены теоретические аспекты определения основных параметров характеризующих процесс шнекового отделения растительного сырья при боковой подаче.

**фрезерный рабочий орган, фрезерование, резание, растительное сырье, шнековый рабочий орган**

**Актуальність.** На сучасному етапі взаємодія шнекових пристроїв із матеріалами, що транспортуються вивчена в достатній мірі. Однак застосування шнеків не обмежується лише транспортуванням. Шнеки застосовують у багатьох процесах,