



Механізація, електрифікація

УДК 631.333

© 2023

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ПОХИЛОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ РОЗСІЮВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

В.М. Булгаков¹, О.В. Адамчук², І.В. Головач³, В.Т. Надикто⁴

¹доктор технічних наук, професор, академік НААН

²кандидат технічних наук

^{3,4}доктори технічних наук, професори, члени-кореспонденти НААН

^{1,3}Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

²Державна служба України з питань безпеки харчових
продуктів та захисту споживачів (Держпродспожислужба)

вул. Б. Грінченка, 1, м. Київ, 01001, Україна

⁴Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь

Запорізької обл., 72312, Україна

e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²adamchuk-o-v@ukr.net,

³holovach.iv@gmail.com, ⁴volodymyr.nadykto@isatu.edu.ua

ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-2767-004X,

³0000-0003-1387-4789, ⁴0000-0002-1770-8297

Надійшла 24.04.2023

Мета. Дослідити можливість підвищення дальності розсіювання мінеральних добрив за шириною захвату машини завдяки теоретичному обґрунтуванню конструктивних й кінематичних параметрів відцентрового розсіюального робочого органу, напрямленого під кутом до горизонту. **Методи.** Теоретичні дослідження проводили із застосуванням методів математичного моделювання, теоретичної механіки, вищої математики, зокрема векторної алгебри, а також методів числових статистичних розрахунків на ПК і побудови графічних залежностей. **Результати.** Для запропонованої нової конструкції відцентрового розсіюального робочого органу, диск якого нахилений під кутом до горизонтальної площини, розроблено математичну модель процесу сходження частинки добрива з диска з урахуванням поступальної швидкості руху машини для розкидання мінеральних добрив. На підставі складеної еквівалентної схеми отримано аналітичні вирази для обчислення модуля вектора

абсолютної швидкості сходження частинки мінерального добрива з диска робочого органу та кута між зазначеним вектором і горизонтальною площиною (кут сходження) у будь-який момент часу. Висновки. Величина вектора абсолютної швидкості $\bar{V}_a$ сходження частинки мінерального добрива з диска похилого відцентрового розсівального робочого органу та величина кута ϕ між вектором $\bar{V}_a$ і горизонтальною площиною — це основні параметри, що визначають дальність польоту частинки після її сходження з диска робочого органу, а отже, і ширину захвату машини для внесення мінеральних добрив. Зі збільшенням коефіцієнта тертя f частинок мінеральних добрив від 0,1 до 0,7 кут ϕ зростає від 2 до 33 град за поступальної швидкості агрегату $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і від 2 до 37 град — за поступальної швидкості $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. При цьому деякі частинки добрива сходять з диска під кутом, більшим за кут α нахилу самого диска до горизонтальної площини, раціональні значення якого перебувають у межах 20 – 30 град. Зміна кутової швидкості ω обертального руху диска відцентрового робочого органу майже не впливає на кут ϕ . Поступальна швидкість руху V_n , навпаки, чинить певний вплив на величину абсолютної швидкості $\bar{V}_a$ і на кут ϕ між вектором $\bar{V}_a$ та горизонтальною площиною.

Ключові слова: мінеральні добрива, розкидання, відцентровий похилий розсівальний орган, еквівалентна схема, абсолютна швидкість, параметри.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202308-06>

Під час вирощування сільськогосподарських культур однією з найважливіших технологічних операцій, що сприяють підвищенню їх урожайності, вважається додавання мінеральних добрив, основна частка яких розсівається по поверхні ґрунту за допомогою розкидачів мінеральних добрив різноманітних конструкцій. Найбільшого поширення у провідних країнах світу набули машини, обладнані відцентровими розсівальними робочими органами, оскільки такі робочі органи є найпродуктивнішими, простими у конструкційному виконанні і надійними в роботі.

Слід зазначити, що теоретичні та експериментальні дослідження відцентрових дискових розсівальних робочих органів здійснювали багато як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Вони вивчали вплив на технологічний процес внесення мінеральних добрив форми дисків, лопаток та інших елементів конструкції розсівальних робочих органів, параметрів та режимів їх роботи, фізико-механічних властивостей мінеральних добрив, умов роботи машин, а також досліджували дальність розсівання,

нерівномірність внесення добрив, процес руйнування гранул добрив під час їх розкидання тощо [1–7].

Однак машини, обладнані найбільш поширеними відцентровими розсівальними робочими органами, вже не відповідають сучасним вимогам, особливо якщо врахувати теперішній стан розвитку індустріальних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Розробникам нових моделей машин для внесення мінеральних добрив слід постійно шукати нові можливості підвищення продуктивності їх роботи.

Загалом продуктивність машини для внесення мінеральних добрив залежить від її робочої ширини захвату, робочої швидкості агрегату та коефіцієнта використання змінного часу. Однак слід зазначити, що потенційні резерви підвищення продуктивності таких машин унаслідок збільшення поступальної швидкості агрегату і коефіцієнта використання змінного часу вже вичерпані. Підвищення продуктивності машини можливе лише завдяки збільшенню робочої ширини захвату. Проте, як свідчать результати численних досліджень,

існує також обмеження щодо збільшення частоти обертання дисків розсівальних робочих органів через можливе руйнування гранул мінеральних добрив і перетворення їх на пиловидну фракцію, що є небажаним [6]. До того ж існують обмеження на висоту встановлення робочих органів над поверхнею ґрунту із-за несуттєвого збільшення дальності польоту частинок добрив та невиправданого збільшення габаритних розмірів машин [8, 9]. У зв'язку з цим підвищення продуктивності машин для внесення мінеральних добрив внаслідок збільшення робочої ширини захвату є актуальною проблемою, яка потребує вирішення з проведенням необхідних наукових досліджень.

Під час експериментальних досліджень відцентрового похилого робочого органу для розсіювання мінеральних добрив було отримано результати, що свідчать про досягнення поставленої мети [10–13]. На підставі викладеної далі наукової гіпотези пропонується нова конструкція відцентрового розсівального робочого органу з диском, нахиленим під певним кутом до горизонтальної площини, який встановлюють на машину для розкидання мінеральних добрив на полі. На кожную машину прилаштовують два розсівальні робочі органи (рис. 1).



Рис. 1. Машина для розсіювання мінеральних добрив, обладнана двома відцентровими робочими органами, що напрямлені до горизонту (вигляд ззаду)

Наукова гіпотеза полягає в тому, що, встановивши вісь відцентрового розсівального робочого органу з певним нахилом до вертикалі, можна забезпечити збільшення кута між вектором переносної швидкості частинок мінеральних добрив у момент їх сходження з диска робочого органу і горизонтальною площиною. А це, своєю чергою, сприяє збільшенню кута між вектором абсолютної швидкості сходження частинок мінеральних добрив з диска і горизонтальною площиною, тобто кута сходження. В результаті не лише зростає дальність польоту частинок добрива, а й збільшується робоча ширина захвату машини для внесення мінеральних добрив, тобто підвищується її продуктивність.

Мета досліджень. Вивчити можливість підвищення дальності розсіювання мінеральних добрив за шириною захвату машини, здійснивши теоретичне обґрунтування конструктивних і кінематичних параметрів відцентрового розсівального робочого органу, напрямленого під кутом до горизонту.

Методи досліджень. Для проведення теоретичних досліджень застосовували методи математичного моделювання, теоретичної механіки, вищої математики, зокрема векторної алгебри, а також методи числових розрахунків на ПК, побудови графічних залежностей та їх аналізу.

Результати досліджень. Під час дослідження кінематики сходження частинки мінеральних добрив з диска відцентрового розсівального робочого органу головним завданням є визначення величини і напрямку вектора абсолютної швидкості сходження частинки з диска, оскільки від цих параметрів у першу чергу залежить дальність розсіювання мінеральних добрив.

Для проведення аналітичного дослідження була побудована еквівалентна схема похило встановленого під кутом α до горизонтальної площини відцентрового розсівального робочого органу в момент сходження з нього частинки M мінерального добрива (рис. 2). При цьому диск відцентрового робочого органу виконує обертальний рух з кутовою швидкістю ω і разом із машиною, яка розсіває добрива, здійснює поступальний рух поверхнею

з кінця лопатки з урахуванням поступального руху агрегату і горизонтальною площиною, то спочатку слід ввести таке розташування декартової системи координат $xOyz$, за якого точка O (початок системи координат) міститиметься у центрі диска, а осі Ox і Oy лежатимуть у горизонтальній площині, яка проходить крізь точку O . В такому разі вісь Oy напрямлена у протилежний бік від напрямку поступального руху агрегату, вісь Ox — перпендикулярно до осі Oy і спрямована вправо від неї (або ліворуч від напрямку поступального руху агрегату), вісь Oz напрямлена вертикально вгору.

Далі, враховуючи ту обставину, що диск нахилений під кутом α до горизонту, потрібно обрати іншу декартову систему координат, а саме $x_1Oy_1z_1$, координатна площина x_1Oy_1 якої розташована у площині диска, а вісь Oz_1 збігається з віссю обертання диска. Як видно з еквівалентної схеми, поданої на рис. 2, ця система координат утворюється внаслідок повороту системи координат $xOyz$ навколо точки O на кут α (кут нахилу диска до горизонту) у вертикальній площині yOz проти ходу стрілки годинника. Водночас горизонтальна площина xOy опиняється у площині диска, утворюючи площину x_1Oy_1 декартової системи координат $x_1Oy_1z_1$, вісь Oz повертається на кут α , утворюючи вісь Oz_1 , перпендикулярну до площини диска.

Отже, виявляється, що диск обертається навколо осі Oz_1 з постійною кутовою швидкістю ω в напрямку руху годинникової стрілки. Рух частинки добрива по диску здійснюватиметься у площині x_1Oy_1 , а тому визначити проєкції векторів швидкостей переміщення вказаної частинки у зазначеній системі координат $x_1Oy_1z_1$ досить просто.

Дійсно, як видно з еквівалентної схеми, вектор відносної швидкості $\bar{V}_{BC}$ переміщення частинки по площині диска (вздовж лопатки) в момент перебування на краю диска (точка C) буде спрямований вздовж радіуса диска, а тому в довільний момент часу t сходження частинки M з диска у разі його повороту на кут ωt проєкції вектора $\bar{V}_{BC}$ на осі Ox_1 і Oy_1 у системі координат $x_1Oy_1z_1$ відповідно дорівнюватимуть $V_{BC} \cdot \sin \omega t$ та $V_{BC} \cdot \cos \omega t$, а проєкція цього

самого вектора на вісь Oz_1 — нулю. А тому цей вектор, як прийнято у векторній алгебрі, може бути поданий у загальному вигляді так:

$$\bar{V}_{BC} = \{V_{BC} \sin \omega t, V_{BC} \cos \omega t, 0\}, \quad (1)$$

де в фігурних дужках записані зазначені проєкції.

Оскільки вектор переносної (колової) швидкості $\bar{V}_{NC}$ частинки буде спрямований по дотичній до диска (тобто перпендикулярно до його радіуса) в напрямку обертання диска, то його проєкції на осі Ox_1 і Oy_1 дорівнюватимуть відповідно $V_{NC} \cdot \cos \omega t$ та $-V_{NC} \cdot \sin \omega t$. Проєкція цього вектора на вісь Oz_1 дорівнюватиме нулю. Тому цей вектор можна подати у такому загальному вигляді:

$$\bar{V}_{NC} = \{V_{NC} \cos \omega t, -V_{NC} \sin \omega t, 0\}. \quad (2)$$

Сумарна швидкість $\bar{V}_{GO}$ сходження частинки M мінерального добрива з диска розсіювального робочого органу дорівнюватиме геометричній сумі попередніх векторів:

$$\bar{V}_{GO} = \bar{V}_{BC} + \bar{V}_{NC}, \quad (3)$$

або, враховуючи (1) і (2), такому вектору:

$$\bar{V}_{GO} = \{V_{BC} \sin \omega t + V_{NC} \cos \omega t, V_{BC} \cos \omega t - V_{NC} \sin \omega t, 0\}. \quad (4)$$

Далі визначаємо величину вектора швидкості $\bar{V}_n$ поступального руху машини для розкидання мінеральних добрив в системі координат $x_1Oy_1z_1$. Його через проєкції на осі цієї системи координат можна подати у такому загальному вигляді:

$$\bar{V}_n = \{0, -V_n \cos \alpha, V_n \sin \alpha\}. \quad (5)$$

Вектор абсолютної швидкості $\bar{V}_a$ сходження частинки M добрива з диска робочого органу з урахуванням поступального руху машини для розкидання мінеральних добрив дорівнюватиме:

$$\bar{V}_a = \bar{V}_{GO} + \bar{V}_n, \quad (6)$$

або, враховуючи (4) і (5):

$$\bar{V}_a = \left\{ V_{BC} \sin \omega t + V_{NC} \cos \omega t, \right. \\ \left. V_{BC} \cos \omega t - V_{NC} \sin \omega t - V_{\Pi} \cos \alpha, V_{\Pi} \sin \alpha \right\}. \quad (7)$$

Модуль вектора $\bar{V}_a$ (тобто величина абсолютної швидкості) становитиме:

$$V_a = \left[(V_{BC} \sin \omega t + V_{NC} \cos \omega t)^2 + \right. \\ \left. + (V_{BC} \cos \omega t - V_{NC} \sin \omega t - V_{\Pi} \cos \alpha)^2 + \right. \\ \left. + (V_{\Pi} \sin \alpha)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

Далі визначимо кут нахилу вектора абсолютної швидкості $\bar{V}_a$ до горизонтальної площини в довільний момент часу t сходження частинки M з диска розсівального робочого органу.

Очевидно, що цей кут нахилу можна визначити як кут між вказаним вектором $\bar{V}_a$ і його проєкцією на горизонтальну площину в довільний момент часу t сходження частинки M з диска похилого розсівального робочого органу (див. рис. 2).

Однак проєкції вектора $\bar{V}_a$ визначені в системі координат $x_1 O y_1 z_1$ (вираз 7), осі якої Oz_1 і Oy_1 відхилені від осей Oz і Oy системи координат $xOyuz$ на кут α . У такому разі осі Ox_1 і Ox збігаються. Тому слід визначити проєкції вектора $\bar{V}_a$ в системі координат $xOyuz$. Як зазначалося вище, система координат $x_1 O y_1 z_1$ утворюється внаслідок повороту системи координат $xOyuz$ на кут α навколо точки O у напрямку проти ходу стрілки годинника. Отже, для визначення проєкцій вектора $\bar{V}_a$ в системі координат $xOyuz$ можна використати метод перетворення декартової системи координат у результаті її повороту на деякий кут α в точці початку координат.

Якщо за вихідну систему координат прийняти систему $x_1 O y_1 z_1$, в якій визначені проєкції вектора $\bar{V}_a$, то система координат $xOyuz$ утворюється поворотом системи координат $x_1 O y_1 z_1$ на кут $-\alpha$ (на кут α за ходом годинникової стрілки).

Очевидно, що поворот системи координат $x_1 O y_1 z_1$ на кут $-\alpha$ виконаний навколо осі Ox_1 , тому координата x_1 будь-якої точки за такого повороту зберігається, тобто $x = x_1$.

Відносно координат y_1 і z_1 , будь-якої точки слід зауважити, що вони перетворюються відповідно до наведених далі виразів за умови повороту проти годинникової стрілки на кут α [14]:

$$\left. \begin{aligned} y &= y_1 \cos \alpha + z_1 \sin \alpha, \\ z &= -y_1 \sin \alpha + z_1 \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Оскільки наразі поворот здійснено на кут $-\alpha$, то, замінивши у виразах (9) α на $-\alpha$, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} y &= y_1 \cos \alpha - z_1 \sin \alpha, \\ z &= y_1 \sin \alpha + z_1 \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Використовуючи вираз (10) із урахуванням (7), отримаємо подання вектора $\bar{V}_a$ абсолютної швидкості сходу частинки M з диска в декартовій системі координат $xOyuz$ через його координати в системі $x_1 O y_1 z_1$:

$$\bar{V}_a = \left\{ V_{BC} \sin \omega t + V_{NC} \cos \omega t, \right. \\ \left. (V_{BC} \cos \omega t - V_{NC} \sin \omega t - V_{\Pi} \cos \alpha) \cos \alpha - \right. \\ \left. - V_{\Pi} \sin^2 \alpha, \right. \\ \left. (V_{BC} \cos \omega t - V_{NC} \sin \omega t - V_{\Pi} \cos \alpha) \sin \alpha + \right. \\ \left. + V_{\Pi} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right\}. \quad (11)$$

Проєкцію $\bar{V}_{анп.}$ вектора $\bar{V}_a$ на горизонтальну площину xOy можна подати в такому вигляді:

$$\bar{V}_{анп.} = \left\{ V_{BC} \sin \omega t + V_{NC} \cos \omega t, \right. \\ \left. (V_{BC} \cos \omega t - V_{NC} \sin \omega t - V_{\Pi} \cos \alpha) \times \right. \\ \left. \times \cos \alpha - V_{\Pi} \sin^2 \alpha, 0 \right\}. \quad (12)$$

Косинус кута $\varphi = (\bar{V}_a, \bar{V}_{анп.})$ між вектором $\bar{V}_a$ і горизонтальною площиною xOy у довільний момент часу t дорівнюватиме:

$$\cos \varphi = \frac{\bar{V}_a \cdot \bar{V}_{анп.}}{V_a \cdot V_{анп.}}, \quad (13)$$

де у чисельнику $\bar{V}_a \cdot \bar{V}_{анп.}$ — скалярний добуток векторів $\bar{V}_a$ і $\bar{V}_{анп.}$; у знаменнику V_a і $V_{анп.}$ — модулі векторів $\bar{V}_a$ і $\bar{V}_{анп.}$ відповідно.

Обчислимо спочатку скалярний добуток векторів $\bar{V}_a$ і $\bar{V}_{анп.}$. Матимемо:

$$\begin{aligned} \bar{V}_a \cdot \bar{V}_{\text{анр.}} = & (V_{\text{BC}} \sin \omega t + V_{\text{NC}} \cos \omega t)^2 + \\ & + [(V_{\text{BC}} \cos \omega t - V_{\text{NC}} \sin \omega t - V_{\text{п}} \cos \alpha) \times \\ & \times \cos \alpha - V_{\text{п}} \sin^2 \alpha]^2. \end{aligned} \quad (14)$$

Далі знайдемо модулі векторів $\bar{V}_a$ та $\bar{V}_{\text{анр.}}$.
Модуль вектора швидкості $\bar{V}_a$ визначати-
меться згідно з таким виразом:

$$\begin{aligned} V_a = & \{(V_{\text{BC}} \sin \omega t + V_{\text{NC}} \cos \omega t)^2 + \\ & + [(V_{\text{BC}} \cos \omega t - V_{\text{NC}} \sin \omega t - V_{\text{п}} \cos \alpha) \times \\ & \times \cos \alpha - V_{\text{п}} \sin^2 \alpha]^2 + \\ & + [(V_{\text{BC}} \cos \omega t - V_{\text{NC}} \sin \omega t - V_{\text{п}} \cos \alpha) \sin \alpha + \\ & + V_{\text{п}} \sin \alpha \cdot \cos \alpha]^2\}^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Відповідно модуль вектора швидкості
 $\bar{V}_{\text{анр.}}$ дорівнюватиме:

$$\begin{aligned} V_{\text{анр.}} = & \{(V_{\text{BC}} \sin \omega t + V_{\text{NC}} \cos \omega t)^2 + \\ & + [(V_{\text{BC}} \cos \omega t - V_{\text{NC}} \sin \omega t - \\ & - V_{\text{п}} \cos \alpha) \cos \alpha - V_{\text{п}} \sin^2 \alpha]^2\}^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (16)$$

Підставивши вирази (14)–(16) у (13),
отримаємо значення $\cos \varphi$. Тоді сам кут φ

між вектором $\bar{V}_a$ і горизонтальною площи-
ною в будь-який момент часу t сходження
частинки добрива з диска визначатиметься
з такого остаточного виразу:

$$\begin{aligned} \varphi = \arccos \left\{ \right. & \left\{ (V_{\text{BC}} \sin \omega t + V_{\text{NC}} \cos \omega t)^2 + \right. \\ & + [(V_{\text{BC}} \cos \omega t - V_{\text{NC}} \sin \omega t - \\ & - V_{\text{п}} \cos \alpha) \cos \alpha - V_{\text{п}} \sin^2 \alpha]^2 \times \\ & \times \{(V_{\text{BC}} \sin \omega t + V_{\text{NC}} \cos \omega t)^2 + \\ & + [(V_{\text{BC}} \cos \omega t - V_{\text{NC}} \sin \omega t - V_{\text{п}} \cos \alpha) \times \\ & \times \cos \alpha - V_{\text{п}} \sin^2 \alpha]^2 + \\ & + [(V_{\text{BC}} \cos \omega t - V_{\text{NC}} \sin \omega t - V_{\text{п}} \cos \alpha) \times \\ & \times \sin \alpha + V_{\text{п}} \sin \alpha \cdot \cos \alpha]^2 \}^{\frac{1}{2}} \times \\ & \times \{(V_{\text{BC}} \sin \omega t + V_{\text{NC}} \cos \omega t)^2 + \\ & + [(V_{\text{BC}} \cos \omega t - V_{\text{NC}} \sin \omega t - V_{\text{п}} \cos \alpha) \times \\ & \times \cos \alpha - V_{\text{п}} \sin^2 \alpha]^2 \}^{\frac{1}{2}} \left. \right\}. \end{aligned} \quad (17)$$

Отже, як видно з виразів (15) і (17),
поступальна швидкість руху $V_{\text{п}}$ машини

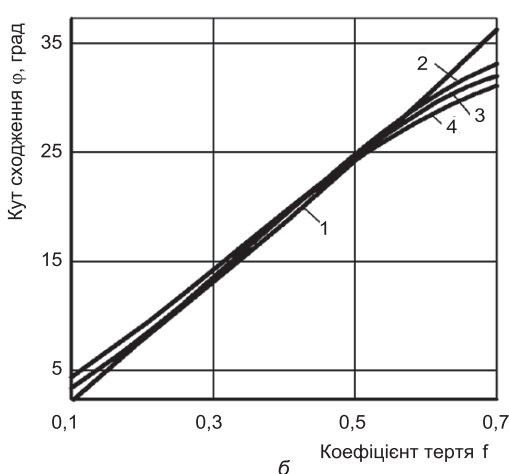
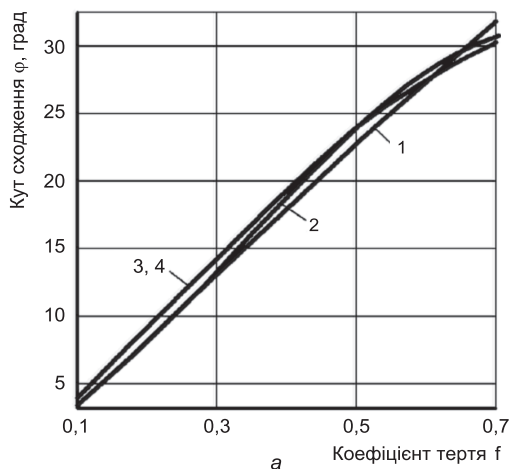


Рис. 3. Залежності кута φ сходження частинки з диска від коефіцієнта тертя f і кутової швидкості ω за поступальної швидкості машини $\omega = 30 \text{ с}^{-1}$ (1); 60 (2); 90 (3) та 120 с^{-1} (4) $V_{\text{п}} = 2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (а) та $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (б)

для розкидання мінеральних добрив впливає на величину абсолютної швидкості $\bar{V}_a$ сходження частинки М добрива з диска похилого розсівального робочого органу і на кут φ між вектором $\bar{V}_a$ та горизонтальною площиною. На рис. 3 подано отримані за допомогою розрахунків на ПК графіки залежностей кута φ від коефіцієнта тертя f частинки М добрива по поверхні диска (лопатки) і кутової швидкості ω обертального руху диска.

Як видно з характеру зміни кривих на вказаних графіках, зі збільшенням коефіцієнта тертя f частинок добрива по поверхні диска (лопатки диска) від 0,1 до 0,7 кут φ зростає від 2 до 33 град за поступальної швидкості машини для розкидання добрив $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ і від 2 до 37 град за поступальної швидкості

$4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. При цьому деякі частинки добрива сходять з диска під кутом, більшим за кут α нахилу самого розсівального диска до горизонтальної площини, раціональні значення якого перебувають у межах 20–30 град. Зміна кутової швидкості ω обертального руху диска робочого органу фактично не впливає на зміну кута φ . Поступальна швидкість руху $V_{\text{п}}$, навпаки, чинить певний вплив на величину абсолютної швидкості $\bar{V}_a$ і на кут φ між вектором $\bar{V}_a$ та горизонтальною площиною.

Отже, знайдені умови, за якими визначаються параметри, що чинять вплив на дальність польоту частинок мінеральних добрив після їх сходження з диска похилого відцентрового розсівального робочого органу.

Висновки

Вектор абсолютної швидкості $\bar{V}_a$ сходження частинки мінерального добрива з диска похилого відцентрового розкидального робочого органу та кут φ між вектором $\bar{V}_a$ і горизонтальною площиною є основними параметрами, що визначають дальність польоту частинки після її сходження з диска, а отже, і ширину захвату машини для внесення мінеральних добрив.

Зі збільшенням коефіцієнта тертя f частинок мінеральних добрив від 0,1 до 0,7 кут φ зростає від 2 до 33 град за поступальної швидкості машини $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ і від 2 до 37 град — за її поступальної

швидкості $4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. При цьому деякі частинки добрива сходять з диска під кутом, більшим за кут нахилу α самого розсівального робочого органу до горизонтальної площини, раціональні значення якого перебувають у межах 20–30 град.

Зміна кутової швидкості ω обертального руху диска відцентрового робочого органу майже не впливає на зміну кута φ . Поступальна швидкість руху $V_{\text{п}}$, навпаки, чинить певний вплив на величину абсолютної швидкості $\bar{V}_a$ і на кут φ між вектором $\bar{V}_a$ та горизонтальною площиною.

Bulgakov V.¹, Adamchuk O.², Holovach I.³, Nadykto V.⁴

¹, ³National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine; ²State Service of Ukraine on Food Safety and consumer protection (State Consumer Service), 1 B. Hrinchenko Str., Kyiv, 01001, Ukraine; ⁴Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, 18 B. Khmelnytskogo Ave., Melitopol, Zaporizhzhia region, 72312, Ukraine; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²adamchuk-o-v@ukr.net, ³holovach.iv@gmail.com, ⁴volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua; ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-2767-004X, ³0000-0003-1387-4789, ⁴0000-0002-1770-8297

Theoretical study of kinematic parameters central inclined spreading working body of mineral fertilizers

Goal. Increasing the spread range of mineral fertilizers across the machine's gripper width by theoretically substantiating the structural and kinematic parameters of the centrifugal spreading working body, inclined at an angle to the horizon. **Methods.** When conducting theoretical research, the methods of mathematical modeling, theoretical mechanics, higher mathematics, in particular vector algebra, as well as methods of numerical calculations on a PC and construction of graphical dependencies were applied. **Results.** For the proposed new design of the centrifugal spreading working body, the disc of which is inclined at some angle to the horizontal plane, a mathematical model of the process of the fertilizer particle coming off the disc has been developed, taking into account the translational speed of the machine for spreading mineral fertilizers.

Analytical expressions for calculating the vector modulus of the absolute velocity of the ascent of a particle of mineral fertilizers from the disk of the working body and the angle between the specified vector and the horizontal plane (angle of ascent) at any moment of time were obtained on the basis of the composite equivalent scheme. **Conclusions.** The magnitude of the vector of the absolute rate of descent of a particle of mineral fertilizer from the disc of an inclined centrifugal spreading working body and the angle between the vector and the horizontal plane are the main parameters that determine the flight range of the particle after its descent from the disc of the working body, and, therefore, the width of the machine for applying mineral fertilizers. As the friction coefficient f of mineral fertilizer particles increases from 0.1 to 0.7, the angle φ increases from 2 to 33 deg. at a

translational speed of the unit of $2.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and from 2 to 37 deg. at a translational speed of $4.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. At the same time, some fertilizer particles will leave the disk at an angle greater than the angle α of the inclination of the disk itself to the horizontal plane, the rational values of which are within 20–30 deg. A change in the angular velocity of the rotational movement of the disk of the centrifugal working body has almost no effect on the change in the angle. The progressive speed of movement V_0 , on the contrary, has some influence on the magnitude of the absolute speed and on the angle between the vector and the horizontal plane.

Key words: mineral fertilizers, spreading, centrifugal inclined sowing body, equivalent scheme, absolute speed, parameters.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202308-06>

Бібліографія

1. Адамчук В.В. Дослідження руху частинки технологічного матеріалу в повітряному середовищі в умовах вітру і супроводжуючого повітряного струменя. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2005. Вип. 89. С. 27–49.
2. Адамчук В.В., Мойсєєнко В.К. Землеробство майбутнього і техніка для нього. *Вісник аграрної науки*. 2001. № 11. С. 55–60.
3. Адамчук В.В., Мойсєєнко В.К. Руйнування гранул мінеральних добрив відцентровим розсіювальним органом. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 5. С. 53–57.
4. Адамчук В.В. Обґрунтування методики визначення параметрів відцентрового розсіювального органу. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 2. С. 45–48.
5. Адамчук В.В. Теория центробежных рабочих органов машин для внесения минеральных удобрений. Київ: Аграрна наука, 2010. 185 с.
6. Лысенко А.Т., Михайленко В.А. Факторы, влияющие на дробление гранулированных удобрений при высеве их разбрасывателями. *Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства*: труды ХСХИ. Харьков: ХСХИ, 1971. Т. 150. С. 109–112.
7. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев: УАСХН, 1960. 283 с.
8. Штуков М.К., Гіліс Р.М., Ярошенко В.Ф. Динамічний аналіз руху частинки вздовж прямолінійної напрямної диска, що обертається. *Механізація та електрифікація сільськогосподарства*: Республ. міжвід. темат. наук.-техн. зб. Київ: УНДІМЕСГ, 1991. Вип. 73. С. 66–71.
9. Adamchuk V., Bulgakov V., Beloev Hr., Korenko M. Mineral fertilisation theory and working tools of fertiliser spreading machines. Sofia: Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2017. 165 p.
10. Булгаков В.М., Адамчук О.В. Результати експериментального дослідження та випробувань машини для поверхневого внесення мінеральних добрив із похило розташованими відцентровими розсіювальними апаратами. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: загальнодерж. зб. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2020. Вип. № 12 (112). С. 10–18.
11. Bulgakov V., Adamchuk O., Pascuzzi S. et al. Experimental research into uniformity in spreading mineral fertilizers with fertilizer spreader disc with tilted axis. *Agronomy Research*. 2021. V. 19. N 1. P. 28–41.
12. Bulgakov V., Adamchuk O., Rucins A., Pascuzzi S. Experimental investigations in distribution process of ammonia nitrate by working body with inclined axis. 20th International Scientific Conference «Engineering for rural development». Proceedings. 2021. V. 20. May 26–28. Jelgava. P. 220–226.
13. Bulgakov V., Adamchuk O., Ivanovs S., Olt J. Experimental investigations on the surface application of superphosphate by the fertiliser spreading tool with inclined axis. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020. V. 64. N. 2. P. 307–316.
14. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике. Киев: Наукова думка, 1972. 743 с.