

рассеивающих органов и физико-механических свойств минеральных удобрений.

Ключевые слова: *твердые минеральные удобрения, угол, влияние ветра, рассеивающий орган.*

THEORETICAL INVESTIGATIONS OF INFLUENCE OF WIND DIRECTION ON SOLID MINERAL FERTILIZER SCATTERING

A mathematical model of the range of solid mineral fertilizer scattering under wind conditions was developed. Investigated is the behavior of the process in view of direction and velocity of wind, parameters of scattering elements, and physical-mechanical properties of mineral fertilizers.

Key words: *solid mineral fertilizers, angle, influence of wind, scattering element.*

УДК 631. 333

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗГОНУ ДОБРІВ ДИСКОВИМ ВІДЦЕНТРОВИМ РОЗСІВАЛЬНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ З ПОХИЛОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ ТА РАДІАЛЬНО УСТАНОВЛЕНИМИ ЛОПАТКАМИ

О.В. Адамчук, ст.наук.співр., завідувач лабораторії
ННЦ “ІМЕСГ”

Теоретичним шляхом одержано залежності для визначення абсолютної швидкості добрив у момент їх сходження з поверхні дискового відцентрового розсівального робочого органу, вісь обертання якого розміщена похило до горизонтальної площини, а лопатки установлені радіально на його робочій поверхні.

Ключові слова: *дисковий відцентровий розсівальний робочий орган, похила вісь обертання, радіальна лопатка, мінеральні добрива, гранула добрив, абсолютна швидкість.*

Проблема. Ефективність роботи машин для поверхневого розсівання твердих мінеральних добрив, за умови дотримання агрономічних вимог до якості розподілу добрив по поверхні ґрунту, в значній мірі залежить від їх змінної продуктивності.

© О.В. Адамчук.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

В зв'язку з тим, що на сучасному етапі можливість підвищення продуктивності за рахунок збільшення робочої швидкості агрегатів і коефіцієнта використання змінного часу вичерпано, єдиним шляхом підвищення продуктивності залишається збільшення робочої ширини захвату машин.

Загальновідомо, що робоча ширина захвату машин залежить від величини абсолютної швидкості сходження добрив з поверхні дискового відцентрового розсівального робочого органу (РО) v_{ac} і кута між вектором останньої і горизонтальною площиною α_{ac} . Величина v_{ac} залежить від геометричних параметрів та кінематичних режимів роботи РО, а також фізико-механічних властивостей мінеральних добрив.

У результаті досліджень, проведених в ННЦ „ІМЕСГ”, було зроблено оптимізацію геометричних параметрів РО з урахуванням фізико-механічних властивостей мінеральних добрив [1]. При цьому було встановлено, що збільшення кінематичного режиму роботи РО обмежується міцністю гранул добрив.

Отже, при існуючих конструкційних матеріалах та міцності гранул добрив можливість збільшення робочої ширини захвату машин шляхом збільшення величини v_{ac} вичерпано. В зв'язку з цим збільшення робочої ширини захвату машин можливе тільки за рахунок досягнення раціональних значень кута α_{ac} .

Використання в конструкції машин для розсівання твердих мінеральних добрив РО, вісь обертання яких установлена похило до горизонтальної площини, дає можливість суттєво збільшити їх робочу ширину захвату [2].

При створенні РО з похилою віссю обертання важливо мати методику, яка б забезпечувала визначення відносної, а відповідно і абсолютної швидкостей сходження добрив з поверхні РО та кута між вектором останньої і горизонтальною площиною залежно від параметрів та режимів роботи РО, а також фізико-механічних властивостей добрив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Раніше не було спроб розробити таку методику. Однак, є методика Адамчука В.В., яка дозволяє визначити абсолютну швидкість сходження частинок добрив з поверхні РО з вертикальною віссю обертання [3] та методика Василенка П.М., яка дозволяє визначити абсолютну швидкість сходження частинок добрив з поверхні РО з горизонтальною віссю обертання [4].

Мета досліджень. Отримання залежностей для визначення абсолютної швидкості сходження добрив з поверхні РО, стосовно випадку, коли його вісь обертання розміщена похило до горизонтальної площини, а лопатки встановлено радіально на його робочій поверхні.

Результати досліджень. Конструкція РО з похилою віссю обертання включає кінематично сполучений з механізмом приводу в обертальний рух плоский диск, з встановленими радіально на його робочій поверхні лопатками. Вісь обертання РО розміщена під кутом $\frac{\pi}{2} - \alpha$ до горизонтальної площини.

З метою спрощення задачі приймаємо допущення, що:

- коефіцієнт тертя частинок добрив по поверхні лопатки має постійне значення;
- характер руху кожної частинки однаковий і відповідає характеру руху всієї маси добрив вздовж лопатки;
- частинки добрив рухаються вздовж лопатки по відрітку, який є спільним для вертикальної стінки лопатки і її днища, без кочення;
- товщиною лопатки і діаметром частинки добрив нехтуємо.

Запишемо рівняння для визначення абсолютної швидкості сходження частинки добрив з поверхні РО:

$$v_{ac} = \sqrt{v_{oc}^2 + v_{nc}^2}, \quad (1)$$

де v_{oc} - відносна швидкість руху частинки добрив у момент її сходження з поверхні РО, м/с; $v_{nc} = \omega R$ - переносна швидкість руху частинки добрив у момент її сходження з поверхні РО, м/с; ω - кутова швидкість РО, рад./с; R - радіус РО, м.

Для визначення v_{ac} необхідно мати залежності для визначення v_{oc} . Проведемо дослідження, спрямовані на їх отримання.

В зв'язку з тим, що проекції складових сили ваги частинки добрив у процесі її руху вздовж лопатки змінюють напрямок вектора і величину, доцільно розділити РО на сектори таким чином, щоб напрямок вектора проекції складової ваги частинки в процесі її руху в межах кожного сектора не змінювався. Таким чином отримаємо чотири рівні між собою сектори (рис. 1): EOG - I; GOC - II; COD - III; DOE - IV. При цьому, відрізки EC і DG є взаємоперпендикулярними діаметрами плоского диска, а відрізок EC утворює з горизонтальною площиною кут α .

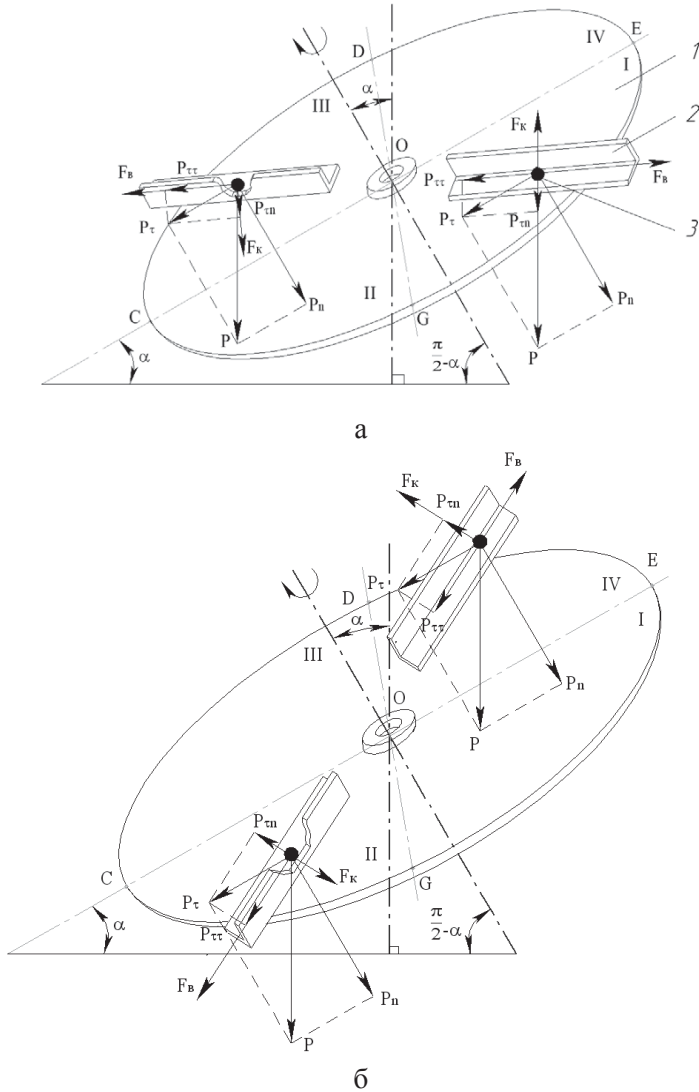


Рис. 1. Схема для визначення відносної швидкості руху частинки добрив вздовж лопатки PO а, б – відповідно частинка добрив рухається вздовж лопатки в межах секторів 1; 3 та 2; 4: 1 – диск; 2 – лопатка; 3 – частинка добрив

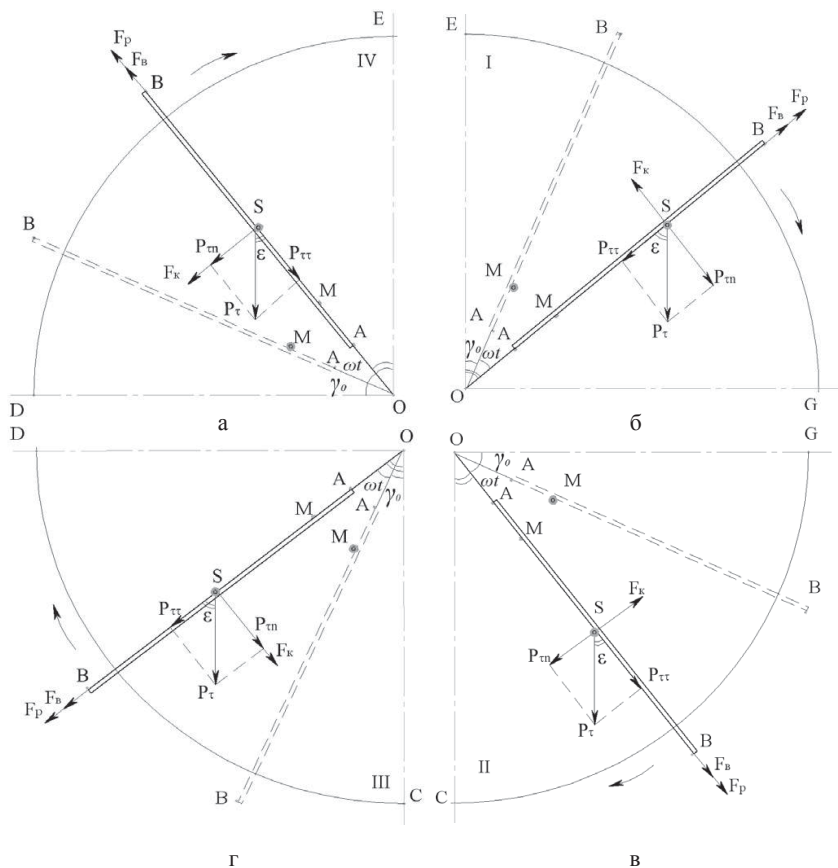


Рис. 2. Схема для визначення результуючої сили, під дією якої частинка добрив рухається вздовж лопатки PO: а, б, в, г – відповідно частинка добрив рухається вздовж лопатки в межах секторів 4; 1; 2; 3

Аналізуючи сили, що діють на частинку добрив запишемо загальне рівняння для визначення результуючої сили F_p , під дією якої частинка добрив рухається вздовж лопатки (рис. 1; 2):

$$F_p = F_\epsilon \mp P_{tt} - f_\lambda (F_k + P_n + P_{tn}), \quad (2)$$

де $F_p = m \frac{d^2 L}{dt^2}$ - результуюча сила, під дією якої частинка добрив ру-

хається вздовж лопатки, Н; m – маса частинки добрив, кг; L – шлях, який пройшла частинка добрив вздовж лопатки, м; t – час руху частинки добрив вздовж лопатки, с; $F_g = mr\omega^2$ – відцентрова сила, Н; r – відстань від центра обертання РО до поточного положення частинки добрив, м; ω – кутова швидкість РО, рад./с; $P_{\tau\tau} = P_\tau \cos \varepsilon$ – проекція складової сили ваги частинки добрив P_τ на відрізок АВ, Н; АВ – відрізок, вздовж якого рухається частинка добрив по РО, утворений вертикальною стінкою лопатки і її днищем; $P_\tau = P \sin \alpha$ – складова сили ваги частинки добрив, що діє вздовж поверхні диска паралельно відрізьку ЕС, Н; $P = mg$ – сила ваги частинки добрив, Н; g – прискорення вільного падіння, м/с²; α – кут між віссю обертання РО та вертикальною площиною, рад.; ε – кут між складовою сили ваги P_τ та її проекцією на відрізок АВ, рад.; f_a – коефіцієнт тертя добрив по лопатці;

$F_\kappa = 2m\omega \frac{dL}{dt}$ – сила Кориоліса, Н; $P_n = P \cos \alpha$ – складова сили ваги

частинки добрив, що діє по нормалі до днища лопатки, Н; $P_{\tau n} = P_\tau \sin \varepsilon$ – проекція складової сили ваги частинки добрив P_τ на нормаль до відрізка АВ, Н.

Якщо добрива надходять на поверхню РО в межах сектора I або IV в рівнянні (2) перед $P_{\tau\tau}$ ставимо знак « - », а якщо в межах сектора II або III ставимо знак « + ».

Підставивши значення сил у рівняння (2), одержимо диференціальне рівняння руху частинки добрива вздовж лопатки:

$$m \frac{d^2 L}{dt^2} = mr\omega^2 \mp mg \sin \alpha \cos \varepsilon - f_a \left(2m\omega \frac{dL}{dt} + mg \cos \alpha + mg \sin \alpha \sin \varepsilon \right) \quad (3)$$

Розглянувши (рис. 2), де точка М – початкове положення частинки добрив на лопатці, точка S – поточне положення частинки добрив на поверхні лопатки, точка О – центр обертання РО, нескладно прийти до висновку, що залежно від того, в якому секторі буде відбуватися подача добрив на поверхню РО, визначення кута ε здійснюватиметься за відповідним рівнянням, а саме:

- $\varepsilon = \gamma_0 + \omega t$ – для випадку, коли добрива подаються на поверхню РО в межах сектора I, рад.,

де γ_0 – кут, утворений відрізками ОЕ та ОВ, в момент контакту частинки добрив з лопаткою, рад.;

- $\varepsilon = \frac{\pi}{2} - (\gamma_0 + \omega t)$ - для випадку, коли добрива подаються на по-

верхню РО в межах сектора II, рад.,

де γ_0 - кут, утворений відрізками OG та OB, в момент контакту частинки добрив з лопаткою, рад.;

- $\varepsilon = \gamma_0 + \omega t$ - для випадку, коли добрива подаються на поверхню РО в межах сектора III, рад.,

де γ_0 - кут, утворений відрізками OC та OB, в момент контакту частинки добрив з лопаткою, рад.;

- $\varepsilon = \frac{\pi}{2} - (\gamma_0 + \omega t)$ - для випадку, коли добрива подаються на по-

верхню РО в межах сектора IV, рад.,

де γ_0 - кут, утворений відрізками OD та OB, в момент контакту частинки добрив з лопаткою, рад.

Запишемо рівняння для визначення r :

$$r = r_0 + L, \quad (4)$$

де r_0 - радіус подачі частинки добрив на РО, м.

Підставивши в рівняння (3) значення r і провівши ряд елементарних перетворень, отримаємо:

$$\frac{d^2 L}{dt^2} = r_0 \omega^2 + \omega^2 L \mp g \sin \alpha \cos \varepsilon - f_n 2\omega \frac{dL}{dt} - f_n g \cos \alpha - f_n g \sin \alpha \sin \varepsilon. \quad (5)$$

Розглянемо випадок, коли добрива подаються на поверхню РО в межах сектора I (EOG). Тоді рівняння (5) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 L}{dt^2} + f_n 2\omega \frac{dL}{dt} - \omega^2 L = r_0 \omega^2 - g \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) - \\ - f_n g \cos \alpha - f_n g \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t) \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином, отримано лінійне рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами і правою частиною. Характеристичне рівняння матиме вигляд:

$$\lambda^2 + 2f_n \omega \lambda - \omega^2 = 0, \quad (7)$$

а його корені відповідно:

$$\lambda_1 = \omega \left(\sqrt{f_n^2 + 1} - f_n \right) \text{ та } \lambda_2 = \omega \left(-\sqrt{f_n^2 + 1} - f_n \right). \quad (8)$$

Запишемо значення розв'язку \bar{L} рівняння (6) без правої частини:

$$\bar{L} = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}, \quad (9)$$

де C_1 та C_2 - довільні сталі.

Знайдемо частковий розв'язок L^* рівняння (6):

$$L^* = T,$$

де T - довільна стала.

Якщо $T = const$, то $\frac{d^2 L}{dt^2} = \frac{dL}{dt} = 0$. Після підстановки їх значень у рівняння (6) отримаємо:

$$T = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} \left[\sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) + f_n \cos \alpha + f_n \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t) \right]. \quad (10)$$

Частковий розв'язок L^* рівняння (6) матиме вигляд:

$$L^* = \theta = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} \left[\sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) + f_n \cos \alpha + f_n \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t) \right]. \quad (11)$$

Загальний розв'язок рівняння (6) може бути записаний наступним чином:

$$L = \bar{L} + L^* = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + \theta. \quad (12)$$

Початкові умови для визначення C_1 та C_2 будуть: $t=0$, $L=0$, $\frac{d^2 L}{dt^2} = \frac{dL}{dt} = 0$.

З урахуванням початкових умов знаходимо довільні сталі C_1 та C_2 :

$$C_1 = -\frac{\lambda_2 \theta}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad C_2 = \frac{\lambda_1 \theta}{\lambda_2 - \lambda_1}. \quad (13)$$

Підставивши довільні сталі C_1 та C_2 в рівняння (12) та виконавши елементарні перетворення, отримаємо рівняння руху частинки добрив вздовж лопатки РО:

$$L = \frac{\theta}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\lambda_2 (1 - e^{\lambda_1 t}) - \lambda_1 (1 - e^{\lambda_2 t}) \right]. \quad (14)$$

Продиференціювавши рівняння (14), отримаємо рівняння для визначення відносної швидкості руху частинки добрив вздовж лопатки РО:

$$v_{\theta} = \frac{\lambda_2 \lambda_1 \theta}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[e^{\lambda_2 t} - e^{\lambda_1 t} \right], \quad (15)$$

v_{θ} - відносна швидкість руху частинки добрив вздовж лопатки РО, м/с.

Проаналізувавши (рис. 2), визначимо шлях, який пройшла частинка добрив вздовж лопатки від точки її подачі (т. М) до точки її сходження з поверхні РО (т. В):

$$L = R - r_0. \quad (16)$$

Для визначення часу руху частинки добрив вздовж лопатки та її відносної швидкості у момент сходження з поверхні РО запишемо рівняння (14) та (15) у вигляді системи з урахуванням рівнянь (8), (11), (16). Після елементарних перетворень отримаємо:

$$\begin{cases} R - r_0 = \frac{\theta}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\lambda_2 (1 - e^{\lambda_1 t}) - \lambda_1 (1 - e^{\lambda_2 t}) \right], \\ v_{\theta} = \frac{\lambda_2 \lambda_1 \theta}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[e^{\lambda_2 t} - e^{\lambda_1 t} \right]. \end{cases} \quad (17)$$

де v_{θ} - відносна швидкість руху частинки добрив у момент її сходження з поверхні РО, м/с.

Таким чином, отримуємо систему рівнянь для визначення часу руху частинки добрив вздовж лопатки та її відносної швидкості у момент сходження частинки з поверхні РО для випадку, коли добрива подаються на поверхню РО в межах сектора I (EOG).

Система рівнянь (17) може бути використано для визначення часу руху частинки добрив вздовж лопатки та її відносної швидкості у момент сходження частинки з поверхні РО для випадку, коли добрива подаються на поверхню РО в межах одного з інших трьох секторів. Для цього потрібно в рівняння (17) підставити значення θ , яке визначається для кожного випадку окремо. Зокрема, якщо:

- добрива подаються на поверхню РО в межах сектора II (GOC)

$$\theta = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} \left[f_n \cos \alpha + f_n \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) - \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t) \right];$$

- добрива подаються на поверхню РО в межах сектора III (COD)

$$\theta = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} \left[f_n \cos \alpha + f_n \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t) - \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) \right];$$

- добрива подаються на поверхню РО в межах сектора IV (DOE)

$$\theta = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} \left[f_n \cos \alpha + f_n \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) + \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t) \right].$$

Висновки

Отримано математичну модель, яка описує рух частинки добрив вздовж, радіально установленної, лопатки РО з похилою віссю обертання.

Використання зазначеної математичної моделі дає можливість визначити час руху частинки добрив вздовж лопатки та її відносну і абсолютну швидкості у момент сходження частинки з поверхні РО.

Використання отриманої математичної моделі та методики для визначення кута між вектором абсолютної швидкості частинки добрив у момент її сходження з поверхні РО та його проекцією на горизонтальну площину дасть можливість отримати вихідні дані для розрахунку дальності польоту частинки добрив після її сходження з поверхні РО.

Визначення дальності польоту частинки добрив дасть змогу обґрунтувати раціональні параметри та режими РО з похилою віссю обертання та радіально установленними лопатками.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Адамчук В.В.* Вплив параметрів і режимів роботи розсівального органу на сходження з нього частинок мінеральних добрив//Вісник аграрної науки.-2004.-№12.-С.42-45.
2. *Адамчук О.В.* Підвищення ефективності роботи машин для розсівання мінеральних добрив//В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства.-Глеваха.-ННЦ"ІМЕСГ".-2005.-Вип.89.-С. 207-212.
3. *Адамчук В.В.* Теория центробежных рабочих органов машин для внесения минеральных удобрений.-К.: Аграрна наука.-2010.-С. 89-117.
4. *Василенко П.М.* Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – К., УАСХН,-1960.-С. 256-260.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗГОНА УДОБРЕНИЙ
ДИСКОВЫМ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ РАССЕИВАЮЩИМ РАБОЧИМ
ОРГАНОМ С НАКЛОННОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ И РАДИАЛЬНО
УСТАНОВЛЕННЫМИ ЛОПАТКАМИ**

Теоретическим путем получены зависимости для определения абсолютной скорости удобрений в момент их схождения с поверхности дискового центробежного рассеивающего рабочего органа, ось вращения которого установлена наклонно к горизонтальной плоскости, а лопатки установлены радиально на его рабочей поверхности.

Ключевые слова: *дисковый центробежный рассеивающий рабочий орган, наклонная ось вращения, радиальная лопатка, минеральные удобрения, гранула удобрений, абсолютная скорость.*

**THEORETICAL STUDY INTO MINERAL FERTILIZER
ACCELERATION BY DISK CENTRIFUGAL DISTRIBUTING
WORKING MEMBER WITH OBLIQUE AXIS OF ROTATION AND
RADIAL BLADES**

Relationships are theoretically obtained for calculation of the absolute velocity of mineral fertilizers at the moment of their leaving the surface of a disk centrifugal distributing working member with an oblique axis of rotation towards the horizontal plane and radial blades on the surface.

Key words: *disk centrifugal distributing working member; oblique axis of rotation, radial blade, mineral fertilizer; fertilizer granule, absolute velocity.*