

УДК 631.816.33

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.12-19>

В.А. Дейкун, доц., канд. техн. наук, **Д.Ю. Артеменко**, доц., канд. техн. наук,
С.І. Дейкун, фахівець
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: viktor.deikyn@gmail.com

Вплив параметрів розподільника на якість розсіювання добрив у підлаповому просторі

У статті представлені результати теоретичного дослідження процесу транспортування та розподілу гранул мінеральних добрив після відбиття від площини розподільника у підлаповому просторі плоскоріжучого робочого органу. Обґрунтовані геометричні параметри та кути розташування площини відбиття.

швидкість частинки, розподільник, поверхня відбиття, дальність польоту

В.А. Дейкун, доц., канд. техн. наук, **Д.Ю. Артёменко**, доц., канд. техн. наук, **С.И. Дейкун**, специалист
Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

Влияние параметров распределителя на качество рассеивания удобрений в подлаповом пространстве

В статье представлены результаты теоретического исследования процесса транспортировки и распределения гранул минеральных удобрений после отражения от плоскости распределителя в подлаповом пространстве плоскорезущего рабочего органа. Обоснованы геометрические параметры и углы расположения плоскости отражения.

скорость частицы, распределитель, поверхность отражения, дальность полета

Постановка проблеми. Отримання стабільних врожаїв в рослинництві в даний час неможливе без застосування встановлених доз мінеральних добрив. Існуючі ж способи внесення, в більшості випадків, не забезпечують їх ефективного засвоєння рослинами, так як, в кращому випадку відповідні робочі органи нерівномірно розподіляють добрива по всій глибині загортання в ґрунт. Більш ефективним може бути спосіб внутрішньогрунтового внесення з використанням лапових або плоскоріжучих робочих органів. У цьому випадку виникає проблема рівномірного розподілу добрив по ширині захвату і, відповідно, по площі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На вирішення даної проблеми направлено праці багатьох конструкторів та авторів [3, 6, 7, 8], але більшість з них ставлять за мету забезпечити рівномірний розподіл посівного матеріалу або добрив по площі оброблюваної поверхні за рахунок конструктивних та інших параметрів одного елемента в послідовності транспортування їх в ґрунт – розподільника. Конструкторами запропоновано та запатентовано велику кількість розподільників різноманітних за конструкцією та геометричною формою [3]. Більшість з них мають занадто складну геометричну форму, або ж їх форма суттєво адаптована під конкретні геометричні параметри лапи та інших суміжних елементів конструкції робочих органів.

У результаті цього істотно зростає складність його конструкції, але кінцевий бажаний результат залишається негарантованим.

Дослідженнями конструкцій подібних робочих органів та процесів розподіл посівного матеріалу або внесення добрив ґрунтовно займалися наступні вчені: М.Б. Гіллєс, П.В. Сисолін, В.О. Зирянов, В.І. Мельник, В.М. Сало, В.В. Ратушний, І.А. Долгов, В.В. Адамчук, В.Ф. Пащенко, В.І. Пастухов, В.Б. Онищенко.

Під час аналізу праць було встановлено вплив основних технологічних факторів та конструктивних параметрів на ефективність функціонування розподільника. Це дало змогу сформулювати робочу гіпотезу стосовно можливості оптимізувати процес внутрішньогрунтового внесення гранульованих мінеральних добрив одночасно з виконанням основного безполицевого обробітку ґрунту.

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування геометричних параметрів розподільника, які здатні забезпечити максимальну дальність польоту часток добрив у підлаповому просторі.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що частки матеріалу, що направляються відповідно до заданих траєкторій у попередньо передбачені зони поверхні борозни, утвореної робочим органом, при контакті з ґрунтом істотно перерозподіляються, і сенс традиційного підходу до забезпечення рівномірності повністю втрачається. Крім цього, необхідно враховувати те, що для розміщення добрив в ґрунті, в більшості випадків, використовуються плоскоріжучі (лапові) робочі органи. Для нормальної роботи, з точки зору заглиблення в ґрунт, їх необхідно встановлювати з нахилом вперед під кутом до 3° . У результаті цього дно борозни, яку вони утворюють, набуває конічних обрисів з нахилом до центру. У цьому випадку стає очевидним, що матеріал необхідно подавати не рівномірно по ширині робочого органу, а більшу його частину направляти на чітко встановлену відстань в напрямку, перпендикулярному його осі. Чисельне значення цієї відстані визначається характером перерозподілу гранул в результаті контакту з ґрунтом. У процесі скочування гранул або частинок до центру рівномірність розподілу буде відновлюватися.

У зв'язку з цим виникає необхідність вирішення завдання забезпечення максимальної дальності польоту частинок в поперечному напрямку з використанням максимально простої геометрії поверхні розподільника. На наш погляд, такою поверхнею може бути призма (рис. 1).

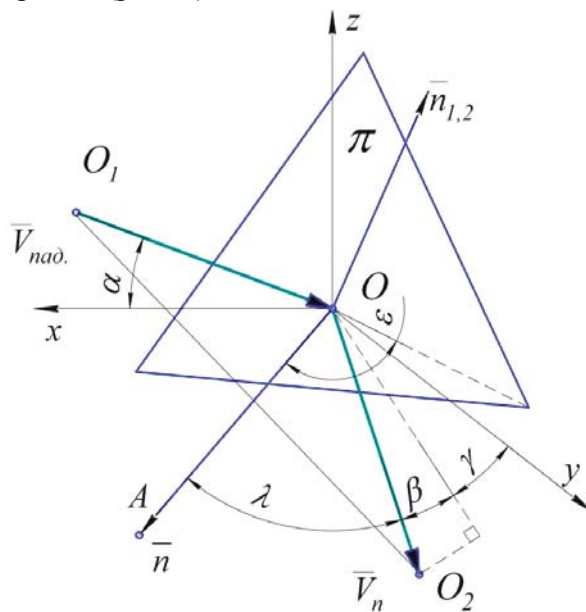


Рисунок 1 – Схема контакту частинок добрив з площиною відбиття

Джерело: розроблено авторами з використанням [3]

Розглянемо процес переміщення гранул добрив наступним шляхом: вихід з тукопроводу, контакт з розподільником, відбиття, політ в напрямку, поперечному напрямку руху робочого органу.

Компоненти швидкості частинок після удару об площину π можна визначити, склавши рівняння їх вільного польоту у вертикальній площині $OY_\gamma Z$, де вісь OY_γ отримана в результаті повороту осі OY в площині на кут γ , в проекціях на осі OY_γ і OZ :

$$m\ddot{y}_\gamma = -k\dot{y}_\gamma; \quad m\ddot{z} = -mg - k\dot{z}. \quad (1)$$

Ввівши позначення

$$\dot{y}_\gamma = v_{y_\gamma}, \quad \dot{z} = v_z, \quad \ddot{y}_\gamma = (v_{y_\gamma})'_t, \quad \ddot{z} = (v_z)'_t \quad (2)$$

рішення рівнянь (1) можна записати у вигляді:

$$\ln \left| \frac{g + \frac{k}{m} v_z}{C_2} \right| = -\frac{k}{m} t;$$

або

$$v_{y_\gamma} = C_1 e^{-\frac{g}{V_B} t}; \quad v_z = -V_B + C_2 e^{-\frac{g}{V_B} t} \quad (3)$$

де C_1, C_2 – постійні інтегрування, які визначаються з початкових умов

$$v_{y_\gamma} \Big|_{t=0} = v_{y_{\gamma 0}} = V_{\pi 0} \cos \beta, \quad v_z \Big|_{t=0} = v_{z 0} = V_{\pi 0} \sin \beta \quad (4)$$

$$V_{\pi 0} = V_{\text{пад}} \sin \varepsilon \sqrt{1 + \mu^2 \text{ctg}^2 \varepsilon}. \quad (5)$$

Із (3), (4) отримуємо

$$C_1 = V_{\pi 0} \cos \beta; \quad C_2 = V_B + V_{\pi 0} \sin \beta. \quad (6)$$

і рішення (6) набувають вигляду:

$$v_{y_\gamma} = V_{\pi 0} e^{-\frac{g}{V_B} t} \cos \beta; \quad v_z = -V_B + (V_B + V_{\pi 0} \sin \beta) e^{-\frac{g}{V_B} t}. \quad (7)$$

Для визначення дальності польоту потрібно знати час польоту. Його визначаємо, вирішивши рівняння для визначення швидкості v_z . Враховуючи (2), перше рівняння в (7) набуває вигляду:

$$\dot{z}_t = -V_B + (V_B + V_{\pi 0} \sin \beta) e^{-\frac{g}{V_B} t}.$$

Рішенням цього рівняння є

$$z = -V_B t - (V_B + V_{\pi 0} \sin \beta) \frac{V_B}{g} e^{-\frac{g}{V_B} t} + C_3,$$

де C_3 – постійна інтегрування, яка визначається з початкових умов $z = 0$ при $t = 0$:

$$C_3 = (V_B + V_{\pi 0} \sin \beta) \frac{V_B}{g}.$$

З урахуванням постійної інтегрування, вираз для визначення дальності польоту часток до контакту з перешкодою:

$$z = -V_B t + (V_B + V_{\pi 0} \sin \beta) \frac{V_B}{g} \left(1 - e^{-\frac{g}{V_B} t} \right). \quad (8)$$

Звідси, час польоту до зустрічі із землею являється рішенням рівняння:

$$-V_B t_p + (V_B + V_{\pi 0} \sin \beta) \frac{V_B}{g} \left(1 - e^{-\frac{g}{V_B} t_p} \right) - h_p = 0, \quad (9)$$

де h_p – висота падіння частки після удару об площину.

Зміна горизонтальної координати точки потрапляння частки на землю визначиться шляхом рішення першого рівняння (7). Враховуючи (2), маємо

$$y = -\frac{V_{\pi 0} V_B}{g} e^{-\frac{g}{V_B} t} \cos \beta + C_4, \quad (10)$$

де C_4 – постійна інтегрування.

Постійна інтегрування C_4 зміни горизонтальної координати (10) набуває вигляду

$$y = \frac{V_{\pi 0} V_B}{g} \left(1 - e^{-\frac{g}{V_B} t} \right) \cos \beta. \quad (11)$$

Підставивши в останню залежність час t з (9), отримаємо зміну горизонтальної координати:

$$y_p = \frac{V_{\pi 0} V_B}{g} \left(1 - e^{-\frac{g}{V_B} t_p} \right) \cos \beta. \quad (12)$$

Знайдемо зв'язок між кутами β , γ (рис. 1), які задають напрямок швидкості частки в момент відбиття від поверхні π , і кутами φ , θ , які задають положення симетричної лінії відносно координатної площини OXZ призми $ABCO$, де φ – кут, який утворюють ребра OA з площиною OXY ; 2θ – двогранний кут при ребрі OA (рис. 2). Вказаний зв'язок знайдемо з умови

$$\bar{n}_1 = \bar{n} \quad (13)$$

де $\bar{n}_1$ – одиничний вектор, який являється зовнішньою нормаллю грані OCA , яка являється фактично площиною відбиття π .

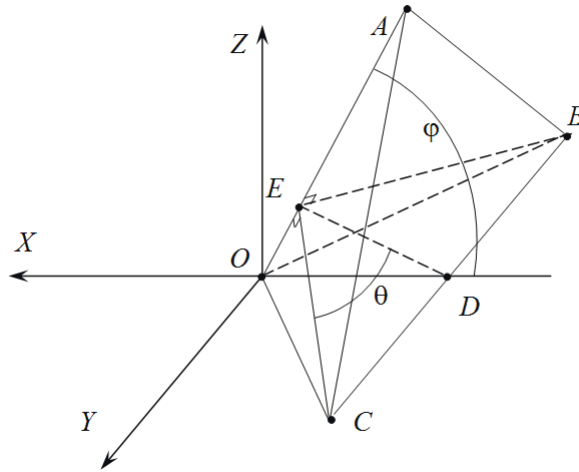


Рисунок 2 – Взаємозв'язок між кутами, які задають напрямок вектора швидкості частини після відбиття від площини π , і кутами, які задають положення призми відбиття

Джерело: розроблено авторами

Знайдемо нормаль $\bar{n}_1$ до площини відбиття. Нехай $OA = L$ і площина ABC перпендикулярна до OA , тоді (рис. 1) маємо

$$\bar{n}_1 = \frac{\overline{OC} \times \overline{OA}}{|\overline{OC} \times \overline{OA}|} \quad (14)$$

де $\overline{OA} = (-\cos \varphi; 0; \sin \varphi)^T$,

$$\overline{OC} = \frac{1}{\sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi \sec^2 \theta}} (-1; \sin \varphi \operatorname{tg} \theta; 0)^T.$$

Таким чином

$$\begin{aligned} \overline{OC} \times \overline{OA} &= \frac{1}{\sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi \sec^2 \theta}} \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -1 & \sin \varphi \operatorname{tg} \theta & 0 \\ -\cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{vmatrix} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \varphi + \sec^2 \theta}} (\sin \varphi \operatorname{tg} \theta; 1; \cos \varphi \operatorname{tg} \theta)^T \end{aligned}$$

і

$$\bar{n}_1 = (\sin \varphi \sin \theta; \cos \theta; \cos \varphi \sin \theta) \quad (15)$$

Враховуючи (15), із рівності (13) маємо:

$$\begin{cases} n_y = \cos \theta, \\ n_z = \cos \varphi \sin \theta, \end{cases}$$

$$\text{де } n_y = \frac{C_{\beta\gamma}}{\sqrt{1+C_{\beta\gamma}^2}} \sin \varepsilon, \quad n_z = \sin \alpha \cos \varepsilon + \frac{\cos \alpha \sin \varepsilon}{\sqrt{1+C_{\beta\gamma}^2}}.$$

Таким чином,

$$\begin{cases} \theta = 2 \arccos n_y, \\ \varphi = \arccos \frac{n_z}{\sqrt{1-n_y^2}}. \end{cases} \quad (16)$$

Графічна інтерпретація отриманих аналітичних залежностей з використанням програмного забезпечення MathCAD 15 (рис. 3) дозволяє провести попередній аналіз.

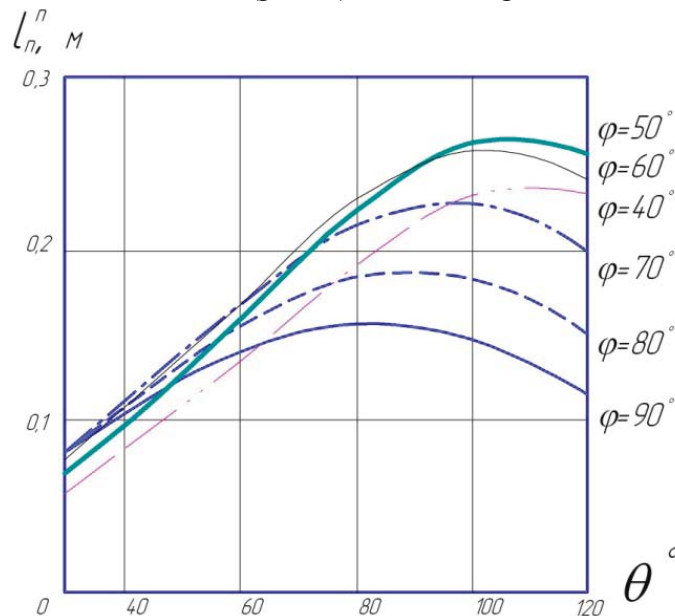


Рисунок 3 – Залежність дальності поперечного польоту гранул $\ell_n^п$ від кута θ між гранями розподільника при фіксованому нахилі ребра призми φ

Джерело: розроблено авторами

За умови значень вихідних параметрів: швидкість витання – $V_e = 10$ м/с; висота розташування розподільника над поверхнею дна борозни – $h = 0,05$ м; швидкість гранул на виході з тукопроводу – $V_{над} = 1,7$ м/с; відстань від виходу з тукопроводу до поверхні відбиття – $\ell = 0,05$ м; коефіцієнт відновлення при ударі об перешкоду $\mu = 0,9$.

Так, максимальної дальності польоту гранул при фіксованому значенні кута μ нахилу ребра розподільника можна досягти, якщо кут між гранями становить $\theta = 90 \dots 110^\circ$ в залежності від значень кута φ .

Характерним є те, що зі зниженням значення кута φ від 90° до 50° прогнозоване значення дальності поперечного польоту гранул збільшується, а подальше зниження значення кута φ забезпечує його зниження.

Висновки. Отримані залежності дозволяють обґрунтовано встановити

геометричні параметри розподільника, який забезпечить задану дальність польоту часток матеріалу для робочих органів різної ширини захвату і досягати бажаного результату з урахуванням закономірностей їх перерозподілу при контакті з ґрунтом.

Список літератури

1. Бутенин, Н. В., Лунц, Я. Л., Меркин, Д. Р. Курс теоретической механики. Т.2. М. : Наука, 1985. 496 с.
2. Дейкун В. А., Сало В. М., Гончарова С. Я. Вплив конструктивних параметрів тукопровода на швидкість потоку гранул добрив. *Збірник праць НУБІП*. 2012. URL: http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_7/12svm.pdf (дата звернення: 03.03.2020)
3. Дейкун В. А. Обґрунтування параметрів робочого органа для внутрішньогрунтового внесення мінеральних добрив : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Кіровоград. нац. техн. ун-т, Кіровоград, 2013. 190 с.
4. Домрачев В. А., Кем А. А., Михальцов Е. М. Исследование процесса распределения семян в подсошниковом пространстве. *Информационные технологии, информационные измерительные системы и приборы в исследовании сельскохозяйственных процессов. Ч. 1.* сб. матер. регион. науч.-практ. конф. «АГРОИНФО'2000». РАСХН. Сиб. отд-ние. Новосибирск, 2000. 338 с.
5. Ковбаса В.П., Дейкун В.А. Визначення умов розсіювання частинок мінеральних добрив у підлаповому просторі. *Агроінженерні дослідження*. Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. №12(2). С. 180-182.
6. Робочий орган для локального внесення мінеральних добрив чи посіву : заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет: пат. 129713. Україна : МПК А01В 49/06 (2006.01). № у 2018 04789 ; заявл. 02.05.2018 ; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21.
7. Перегятко А.В., Ивженко, С.А., Брежнев А.Л. Теоретическое обоснование геометрических параметров направителя-распределителя семян лапового сошника. *Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования*. 2005. Вып. 3. С. 96-101.
8. Романишин О.Ю., Заєць М.Л. Сошник для підґрунтового-розкидного способу сівби зернових культур. *Зб. наук. пр. ХТУСГ ім. Петра Василенка*. 2007. № 9. С. 238-242.
9. Романюк Г.С. К обоснованию параметров распределительно-высевающего устройства. *Совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин: Сб. н. тр. УСХА*, 1988. С. 48-53.
10. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1969. 424 с.

Referencis

1. Butenyn, N.V., Lunts, Y.A.L. & Merkin, D. R. (1985). *Kurs teoretychnoyi mekhaniky [The course of theoretical mechanics]*. (Vol.2). Moskow : Nauka [in Russian].
2. Deykun, V.A., Salo V.M. & Honcharova, S. YA. (2012). Vplyv konstruktyvnykh parametriv tukoprovodu na shvydkist' potoku hranul dobriv [Influence of structural parameters of fertilizer tube on flow velocity granules of fertilizers]. *Zbirnyk prats' NUBIP*, 2012. Retrieved from http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_7/12svm.pdf [in Ukrainian].
3. Deykun, V.A. (2013). Obgruntuvannya parametriv robochoho orhana dlya vnutrishn'ogruntovoho vnesennya mineral'nykh dobriv [Justification of the parameters of the working body for intrasoil insertion of mineral fertilizers]. *Dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.05.11.*, 190 [in Ukrainian].
4. Domrachev, V.A., Kem, A.A. & Mykhal'tsov, E.M. (2000). Issledovanie processa raspredeleniya semyan v podsoshnikovom prostranstve [Investigation of the process of seed distribution in the seedbed space]. *Informacionnye tekhnologii, informacionnye izmeritel'nye sistemy i pribory v issledovanii sel'skohozyajstvennykh processov. CH. 1 sb. mater. region. nauch.-prakt. konf. «AHROINFO'2000»*. RASKHN. Syb. otd-nie. Novosibirsk, 2000. 338 [in Russian].
5. Kovbasa, V.P. & Deikun, V.A. (2008). Vyznachennya umov rozsiyuvannya chastynok mineral'nykh dobriv u pidlapovomu prostori [Determination of conditions for scattering of mineral fertilizer particles in the subclavian space]. *Ahroinzhenerni doslidzhennya*. L'viv: L'viv. nats. ahrar. un-t, 12 (2), 180-182 [in Ukrainian].
6. Deykun, V.A., Salo, V.M., Leshchenko, S.M. & Polyukhovych, A.V. (2018). Pat. 129713 U Ukraine, IPC A01B 49/06 (2006.01). Robochyy orhan dlya lokal'noho vnesennya mineral'nykh dobriv chy posivu. №u2018 04789; stated. May 02, 2018; has been published Nov 12, 2018, Bul. No. 21. [in Ukrainian].
7. Peretyat'ko, A.V., Ivzhenko, S.A. & Brezhnev, A.L. (2005). Teoreticheskoe obosnovanie geometricheskikh parametrov napravatelya-raspredelatelya semyan lapovogo soshnika [Theoretical substantiation of the

- geometric parameters of the seed guide-distributor paw coulter]. *Aktual'nye problemy sel'skohozyajstvennoj nauki i obrazovaniya*. Samara : FGOU VPO Samarskaya GSKHA, Vol. 3, 96-101 [in Russian].
8. Romanyshyn, O.YU. & Zayets', M.L. (2007). Soshnyk dlya pidhruntovo-rozkydnoho sposobu sivbi zernovykh kul'tur [Opener for subsoil-rocking method for grain crops]. *Zb. nauk. pr. KHTUSH im. Petra Vasylenka*, 9, 238-242 [in Ukrainian].
 9. Romanyuk, H.S. (1988). K obosnovanyu parametrov raspredelytel'no-vysevayushcheho ustroystva [To substantiate the parameters of the distributor-seeding device]. *Sovershenstvovanye rabochykh orhanov sel'skokhozyaystvennykh mashyn: Sb. n. tr. USKHA*, 48-53 [in Ukrainian].
 10. El'sgol's, L. E. (1969). *Differentsyal'nye uravneniya y varyatsyonnoye yschyslenye* [Differential equations and calculus of variations]. Moscow : Nauka [in Russian].

Viktor Deikun, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Artemenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Svitlana Deikun**, specialist

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Influence of Distributor Parameters on the Quality of Fertilizer Scattering in the Under-foot Space

The aim of the work is to substantiate the geometric parameters of the distributor, which are able to provide the maximum range of fertilizer particles in the subclavian space, based on the analysis of all factors affecting the material particles during their transportation to the surface of the distributor. The result of research is to achieve a uniform distribution of fertilizers on the width of the capture and, accordingly, on the area.

It is known that the particles of material sent in accordance with the given trajectories in the pre-provided areas of the surface of the furrow formed by the working body, in contact with the soil are significantly redistributed and the meaning of the traditional approach to uniformity is completely lost. In addition, it is necessary to take into account that for placing fertilizers in the soil, in most cases, flat-cutting working bodies are used. For normal operation, in terms of deepening into the ground, they must be installed with a forward tilt at an angle of up to 3°. As a result, the bottom of the furrow, which they form, acquires a conical shape with a slope to the center. In this case, it becomes obvious that the material must be fed not evenly across the width of the working body, and most of it to be directed at a clearly defined distance in the direction perpendicular to its axis. The numerical value of this distance is determined by the nature of the redistribution of the granules as a result of contact with the soil. In the process of rolling the granules or particles to the center, the uniformity of distribution will be restored. In this case, it becomes obvious that the material must be fed not evenly across the width of the working body, and most of it to be directed at a clearly defined distance in the direction perpendicular to its axis. The numerical value of this distance is determined by the nature of the redistribution of the granules as a result of contact with the soil. In the process of rolling the granules or particles to the center, the uniformity of distribution will be restored. In this regard, there is a need to solve the problem of ensuring the maximum range of particles in the transverse direction using the simplest geometry of the distributor surface. In our opinion, such a surface can be a prism.

In the article the results of theoretical research of process of portage and distributing of granules of mineral fertilizers are resulted after a reflection from the plane of reflection in sub paw space of trivial cutting of working organ. Geometrical parameters and corners of location of reflecting plane are grounded. The obtained dependences allow to reasonably establish geometrical parameters of the distributor which will provide the set range of flight of particles of material for working bodies of various width of capture and to reach desirable result taking into account laws of their redistribution at contact with soil.

speed of particle, distributor, distance of flight, surface of reflection

Одержано (Received) 03.12.2020

Прорецензовано (Reviewed) 14.12.2020

Прийнято до друку (Approved) 21.12.2020