

УДК 631.33.02

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.135-142>**М.Л. Заєць**, доц., канд. техн. наук*Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна**e-mail: mzaec81@gmail.com*

Визначення швидкості руху насіння по розподільнику сошника для підґрунтового-розкидного способу сівби

Розглядається визначення оптимальної форми розподільника та процес розподілу насіння комбінованим розподільником у виді криволінійної призми. Від форми розподільника залежить якість розподілення насіння по ширині смуги, що засівається. Рівномірність розташування насіння по ширині захвату сошника буде характеризуватися швидкістю надходження насіння на похилу ділянку розподільника.

швидкість, сівба, розподільник, твірна, рівномірність**М.Л. Заєць**, доц., канд. техн. наук*Житомирський національний агроекологічний університет, Житомир, Україна*

Определение скорости движения семян по распределителю сошника для подпочвенно-разбросного посева

Рассматривается определение оптимальной формы распределителя и процесс распределения семян комбинированным распределителем в виде криволинейной призмы. От формы распределителя зависит качество распределения семян по ширине полосы, которая засеивается. Равномерность расположения семян по ширине захвата сошника будет характеризоваться скоростью поступления семян на наклонную участок распределителя.

скорость, посев, распределитель, образующая, равномерность

Постановка проблеми. Суттєвою різницею між існуючими рядковими сівалками і сівалками для підґрунтового-розкидного способу сівби є конструкція сошників, зокрема їх розподільних пристроїв. Сошники сівалок для підґрунтового-розкидної сівби у більшості випадків виконані у вигляді культиваторної лапи з різною шириною захвату [5].

Розподільник насіння є одним з основних елементів сошника, який безпосередньо впливає на рівномірність розподілу технологічного матеріалу по площі поля та збільшення засіваємої ширини смуги. Різні форми відбивачів та конструкції розподільних пристроїв у сошниках для підґрунтового-розкидного способу сівби зумовлені підвищенням рівномірності розподілу насіння по площі поля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідниками [1,2,3,4] доведена перевага розподільників із криволінійними твірними, на робочій поверхні яких насіння плавно змінюють напрямок свого руху з мінімальними втратами кінетичної енергії надходять у підсошниковий простір і висівається на дно борозни.

Для того щоб швидкість руху насіння досягла максимальних значень у точці сходу з кривої, крива повинна задовольняти умовам найшвидшого переміщення часток за деякий проміжок часу. Такою кривою по визначенню є брахистохрона.

Теоретичним і експериментальним дослідженням руху насіння по криволінійній твірній присвячена робота Кірова А.А. [3]. Він розглядає брахистохрону як сукупність прямолінійної ділянки й кола постійного радіуса r , а рух насіння по криволінійній твірній розглядає як рух насіння по такому колу.

Постановка завдання. Враховуючи те, що процес розподілу насіння при підгрунтового-розкидного способі сівби носить випадковий характер, тому що визначається великою кількістю факторів, які неможливо повністю врахувати, то його можна розглядати у відповідності із законами теорії ймовірностей [2]. У зв'язку з цим пропонуються різні типи технологічних схем розподільних пристроїв сошників з метою проектування та виготовлення їх для подальшого дослідження.

Виклад основного матеріалу. Отримана формула швидкості сходу (1) із криволінійної ділянки утворюючої V із припустимою точністю може бути прийнята для розрахунку траєкторії і швидкості руху насіння після сходу з криволінійної ділянки розподільника:

$$V = \sqrt{e^{-\pi \cdot f} \left(V_0 \cdot \cos^2 \gamma_0 - \frac{6 \cdot g \cdot r \cdot f}{1 + 4 \cdot f} \right)} + 2 \cdot g \cdot r \cdot \frac{1 - 2 \cdot f^2}{1 + 4 \cdot f^2}, \quad (1)$$

де f – коефіцієнт тертя зерна по сталі;

V_0 – швидкість надходження насіння на криволінійну ділянку твірної, м/с;

γ_0 – кут між вертикальною віссю v і початковим напрямком швидкості V_0 ;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

Однак, у дійсності радіус кривизни брахистохрони змінюється по визначеному закону. Відмінність дійсного радіуса брахистохрони від радіуса кола призводить до того, що і дійсна швидкість руху з криволінійної твірної буде відрізнятися від розрахункової. А тому що від швидкості руху насіння після сходу з криволінійної ділянки розподільника буде залежати запас кінетичної енергії, що обумовлює дальність розподілу насіння у підсошниковому просторі, то розгляд даного питання є важливим і необхідним етапом теоретичного дослідження.

Розглянемо рух одиничного насіння по брахистохроні, що є твірною розподільника (рис. 1).

Частка насінного матеріалу надходить на криволінійну поверхню з початковою швидкістю V_0 . При русі по криволінійній поверхні на насіння діють: вага, сила тертя, відцентрова сила і сила нормального тиску.

Проектуючи сили на нормаль і дотичну, запишемо систему диференціальних рівнянь:

$$m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \gamma - f \cdot N$$

$$N = m \cdot \frac{V^2}{\rho(\varphi)} + m \cdot g \cdot \cos \gamma$$

; (2)

де m – маса насіння, кг;

V – швидкість насіння, м/с;

N – сила нормального тиску, Н;

γ – кут нахилу дотичної до обрису, радіан;

t – час руху, с;

$\rho(\varphi)$ – радіус кривизни брахистохрони, у залежності від кута повороту твірної кола (φ),

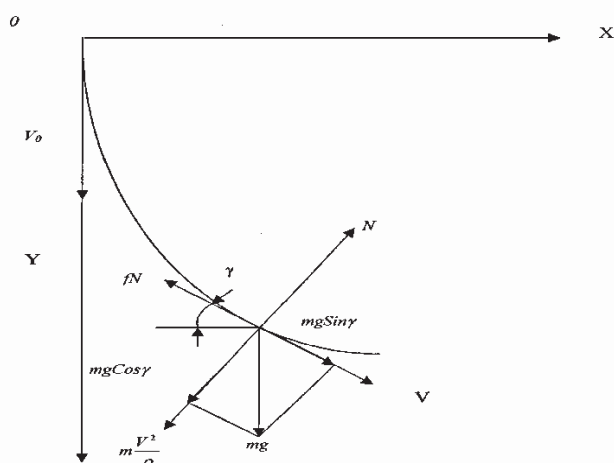


Рисунок 1 – Схема сил, що діють на матеріальну точку при русі по брахістохроні
 Джерело: розроблено автором

Відомо, що брахістохрона утворена колом, що котиться по прямій без ковзання. Отже, для будь-якої точки, радіус кривизни брахістохрони буде дорівнює хорді кола AC (рис. 2.). Причому один кінець хорди буде належати прямій, по якій котиться коло.

З'єднаємо точки A і C з центром кола O. Розглянемо отриманий рівнобедрений трикутник AOC. З трикутника одержимо:

$$\sphericalangle OCA = \frac{\varphi}{2}, \quad (3)$$

де φ – кут, на який повернеться коло при перекочуванні за час t .
 З прямокутного трикутника OBC визначимо:

$$BC = OC \cdot \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{d}{2} \cdot \cos \frac{\varphi}{2}; \quad (4)$$

де d – діаметр твірної кола, м.

Отже, шуканий радіус кривизни брахістохрони AC:

$$\rho(\varphi) = d \cdot \cos \frac{\varphi}{2}; \quad (5)$$

Перенесемо AC паралельно самій собі до перетину з брахістохроною (A'C) і через точку перетину A проведемо лінію горизонту A'C і дотичну l, тоді:

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \quad (6)$$

Врахуємо, що за час t коло повернеться на кут φ , тобто :

$$dt = \frac{d\varphi}{V} \rho(\varphi) = \frac{d\varphi}{V} \cdot d \cdot \cos \frac{\varphi}{2}.$$

Підставимо значення (4), (5) і (6) у систему рівнянь (2), і після перетворень одержимо:

$$V \cdot \frac{dV}{d\varphi} + f \cdot V^2 = g \cdot d \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2} - g \cdot d \cdot \frac{\sin \varphi}{2}. \quad (7)$$

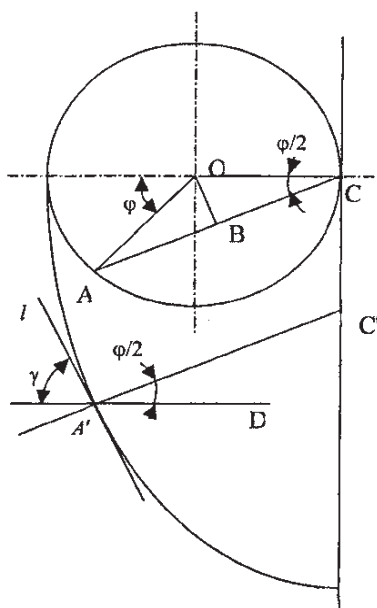


Рисунок 2 - Схема для визначення радіуса кривизни брахистохрони
Джерело: розроблено автором

Отримане диференціальне рівняння є рівнянням Бернуллі.
Загальне рішення рівняння:

$$V^2 = g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\varphi}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi - \cos \varphi}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi - \cos \varphi}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{-2 \cdot f \cdot \varphi} \cdot C; \quad (8)$$

де C – постійна інтегрування

Постійну інтегрування визначимо з початкових умов: при куті повороту твірного кола брахистохрони, що відповідає точці потрапляння насіння на криволінійну твірну розподільника;

$$\varphi = \varphi_0 - \varphi_1, \quad V = V_0.$$

$$C = e^{2 \cdot f \cdot \varphi_1} \cdot \left(V_0^2 - g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right). \quad (9)$$

З урахуванням того, що $\varphi_0 = \pi$, можна записати:

$$\varphi = \pi - \varphi_1. \quad (10)$$

Підставивши значення постійної інтегрування C (вираз 9) і значення кута φ (вираз 10) у рівняння (8), провівши відповідні перетворення, одержимо формулу для визначення швидкості сходу насіння з криволінійної твірної розподільника:

$$V_{cx} = \sqrt{g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{2 \cdot f \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \pi)} \left(V^2_0 - g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right)}. \quad (11)$$

При установці дільника під кутом до горизонту, вираз (11) запишеться в такому вигляді:

$$V_{cx} = \sqrt{g \cdot \cos \alpha \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{2 \cdot f \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \pi)} \left(V^2_0 - g \cdot \cos \alpha \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right)}. \quad (12)$$

Кут φ_1 визначиться по наступній формулі:

$$\varphi_1 = \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot a}{d} \right), \quad (13)$$

де a – відстань від осі розподільника до точки потрапляння насіння, м (рис.3).

Для аналізу залежності швидкості сходу від коефіцієнта тертя підставимо в залежність (12) значення $f=0,2\dots0,5$, при постійному значенні a і проведемо розрахунки. З отриманої залежності $V(f)$ (рис.4) видно, що коефіцієнт тертя в незначному мірі (у межах зміни f зміна швидкості складає 5,5...5,9%) впливає на швидкість сходу.

Основним фактором, що впливає на швидкість сходу, є діаметр твірної кола брахистохрони. Оптимальний діаметр кола і, відповідно, геометричний розмір самого розподільника визначиться з погляду достатності швидкості сходу з криволінійної ділянки твірної розподільника.

Для аналізу залежності швидкості руху від координати влучення насіння на криволінійну поверхню підставимо в залежність (13) значення $a = 0\dots0,02$ і проведемо розрахунки по залежності (12).

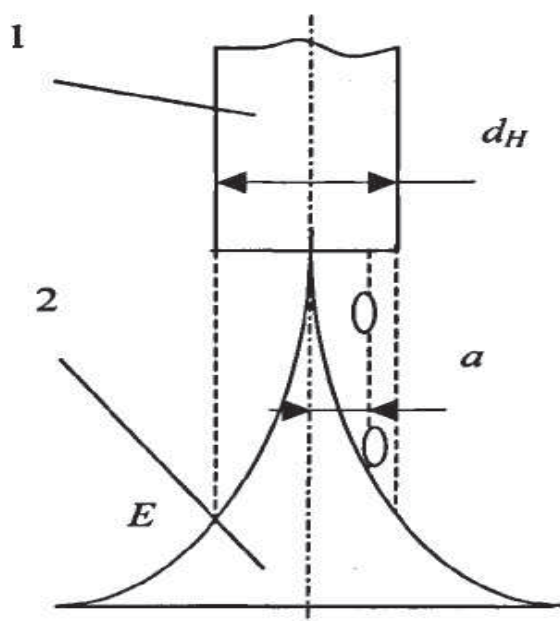
За результатами розрахунків побудуємо графічну залежність швидкості руху від координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню розподільника $V(a)$ (рис. 5).

Найбільша швидкість сходу буде в тих насінин, що потрапляють на розподільник у крайній точці (E) проекції направляча насіння (рис. 3.), через те, що ці насінини будуть проходити меншу відстань по криволінійній поверхні і відповідно втрати кінетичної енергії на роботу сил тертя будуть менші. У цьому випадку кут φ_1 визначиться по наступній залежності:

$$\varphi_1 = \arccos\left(1 - \frac{d_n}{d}\right), \quad (14)$$

де d_n – внутрішній діаметр направляча, м.;

Таким чином, використовуючи отримані залежності (12, 13, 14.) можна визначити швидкість руху насіння із криволінійної твірної в залежності від конструктивних параметрів (діаметра твірного кола, діаметра перетину вихідного направляча або насіннепроводу) розподільника і координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню розподільника. Для підвищення дальності розподілу насіння по ширині смуги, яка засівається сошником, розподільник повинний використовуватися з похилою площиною, що є його основою.



1 – направляч, 2 – розподільник

Рисунок3 – Схема надходження насіння на розподільник

Джерело: розроблено автором

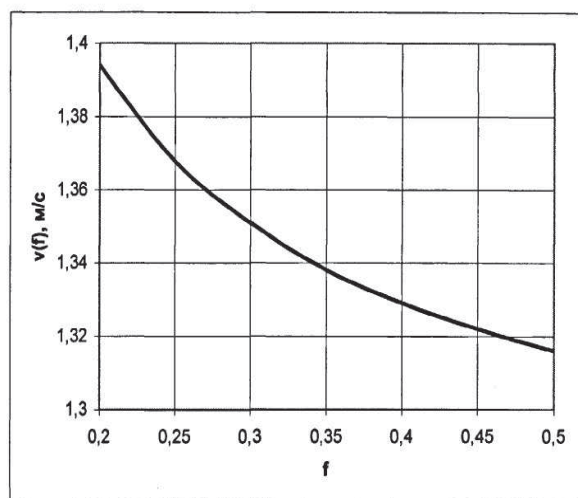


Рисунок4 - Теоретична залежність швидкості сходу насіння від коефіцієнта тертя

Джерело: розроблено автором

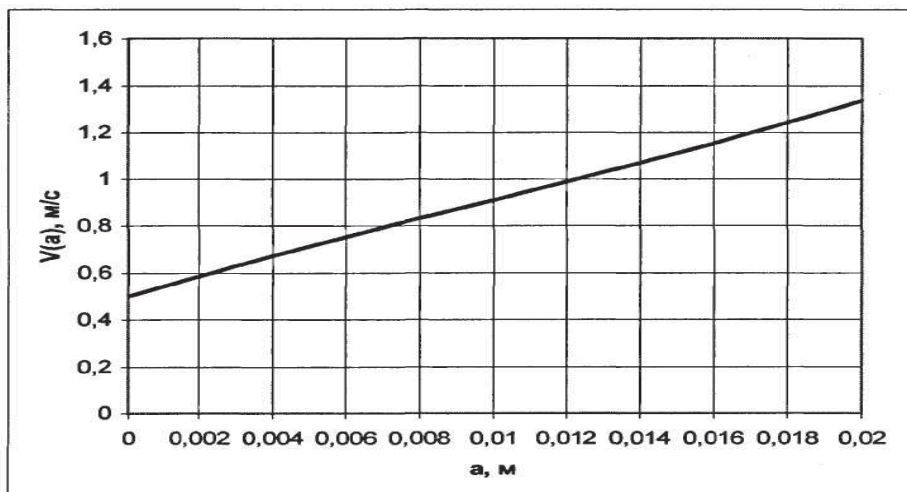


Рисунок 5 – Теоретична залежність швидкості руху насіння від координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню розподільника

Джерело: розроблено автором

Висновки. Проведені теоретичні дослідження процесу розподілу насіння комбінованим розподільником дозволяють зробити наступні висновки:

1. Одним зі шляхів збільшення дальності розподілу насіння по ширині розсіву сошником є застосування розподільника, що представляє собою комбінацію дільника з криволінійної твірною у виді брахистохрони, і похилу поверхню, що розподіляє, і є основою розподільника.

2. Отримано теоретичні залежності для визначення конструктивних параметрів комбінованого розподільника: швидкості сходу з криволінійної твірної від діаметра твірної кола брахистохрони; дальності розподілу насіння (у параметричному виді) від конструктивних параметрів похилої ділянки (довжини похилої ділянки і кута його встановлення до горизонту), використання яких дозволяє визначити оптимальні параметри розподільника і похилої ділянки для забезпечення розсіву насіння по ширині захвату сошника з необхідними дальністю і рівномірністю.

3. Швидкість руху насіння із криволінійної твірної розподільника залежить від діаметра твірної кола брахистохрони і координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню.

Список літератури

1. Герук С.М., Заць М.Л. Не ігноруймо експериментальні сошники з комбінованим розподілювачем посівного матеріалу. *Журнал «Зерно і хліб»*. 2013. Вип. 2 (70). С. 36–39.
2. Заць М. Л. Обґрунтування оптимальної величини ексцентриситету установки розподільника сошника для розкидного способу сівби сільськогосподарських культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.*, 2008. Вип. 38. С. 87–91.
3. Павельчук Ю.Ф. Обґрунтування параметрів сошників для сівби зернових культур підґрунтового-розкидного способом: дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Подільський держ. аграрно-техн. ун-т, Кам'янець-Подільський, 2009. с.
4. Заць М. Л. Результати експериментальних досліджень сошника для розкидного способу сівби. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь* : зб. тез. II Всеукр. наук.-практ. конф., 7-8 квітня 2016 р. Житомир : ЖАТК, 2016. С. 195–197.
5. Ковріков І.Т. Основні принципи розробки розподілюючих пристроїв підґрунтового-розкидних сошників зернових сівалок. *Трактори і сільськогосподарські машини*, 1983. №5. С. 13-14

6. Заєць М. Л. Удосконалення способу сівби зернових колосових культур. *Наукові читання – 2013 : наук.-теорет. зб.* Житомир : ЖНАЕУ, 2013. Т. 1. С. 312–319.

References

1. Heruk, S.M., Zaiets', M.L. (2013). Ne ihnorujmo eksperymental'ni soshnyky z kombinovanyim rozpodiliuvachem posivnoho materialu [Do not ignore experimental coulters with a combined seed distributor]. *Zhurnal «Zerno i khlib»*, Vol. 2 (70), 36–39 [in Ukrainian].
2. Zaiets', M. L. (2008). Obgruntuvannia optimal'noi velychyny ekstsentrysetu ustanovky rozpodil'nyka soshnyka dlia rozkydnoho sposobu sivby sil'skohospodars'kykh kul'tur [Justification of the optimum eccentricity of the setter distributor for a spreading method of crop sowing] *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodars'kykh mashyn. Zahalnodержavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Vol. 38, 87–91. [in Ukrainian].
3. Pavel'chuk, Yu.F. (2009). Obgruntuvannia parametriv soshnykiv dlia sivby zernovykh kul'tur pidhruntovo-rozkydnym sposobom [The investigation and improving ploughs for grain-crops sowing underground scattered method]. *Candidate's thesis*. Kam'ianets'-Podil's'kyj [in Ukrainian].
4. Zaiets', M. L. (2016). Rezul'taty eksperymental'nykh doslidzhen' soshnyka dlia rozkydnoho sposobu sivby [Results of experimental researches of a coil for a spreading method of sowing]. *Perspektyvy i tendentsii rozvytku konstruksij ta tekhnichnoho servisu sil'skohospodars'kykh mashyn i znariad' : II Vseukr. nauk.-prakt. konf. (7-8 kvitnia 2016 r.) – 2nd Scientific and Practical Conference.* (pp. 195-197). Zhytomyr : ZhATK, 2016. S. 195–197.[in Ukrainian].
5. Kovrikov, I.T. (1983). Osnovni pryntsyipy rozrobky rozpodiliuichykh prystroiv pidhruntovo-rozkydnykh soshnykiv zernovykh sivalok [Basic principles of development of distribution devices for subsoil and spreading blades of grain seeders]. *Traktory i sil'skohospodars'ki mashyny*, 5, 13-14 [in Ukrainian].
6. Zaiets', M. L. (2013). Udoskonalennia sposobu sivby zernovykh kolosovykh kul'tur [Improvement of the method of sowing grain cereal crops]. *Naukovi chytannia – 2013 : nauk.-teoret. zb. Zhytomyr*, Vol. 1, 312–319 [in Ukrainian].

Maxim Zaets, Assoc. Prof., Phd tech. sci.

Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine

Parameters Optimization of Combined Valve for Seeds Coulter Sowing Subsoil, Variation Grain Crops

Receiving high and stable yields remains an urgent task of agricultural production. When cultivating crops, in particular grains, special attention should be paid to sowing, because the flaws allowed in its implementation can not be corrected, and one of the main characteristics of the sowing is the uniform distribution of plants in terms of feeding area.

We consider the determination of optimal shape of the distributor and the process of distribution of seeds combined distributor in the form of curved prisms. From the distributor form depends on the quality of seed distribution across the width of the strip that sown. The uniformity of seeds on the location Shovel width will be characterized by the speed of flow of seeds on a sloping plot distributor.

The value of the length of the slope is selected based on the range and uniformity of the distribution of the seed and is 60 mm. The combined distributor can distribute seeds of grain crops at a width of 95-100 mm. When conducting two-factor experiments, it was established that the best distribution index of seeds has a combined distributor made in the form of a two-way curvilinear prism. The design of the coulter for subsoil and spreading of seed of grain crops with a combined seed distributor is developed. During the previous experiments and the search multivariate experiment, the linear regression equations were specified and the most significant factors influencing the optimization parameter were determined.

speed, sowing, distributor, generators uniformity

Одержано (Received) 15.11.2018

Прорецензовано (Reviewed) 23.11.2018

Прийнято до друку (Approved) 20.12.2018