

АНАЛИЗ ДАЛЬНОСТИ ПОЛЕТА ЧАСТИЦ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПОДЛАПОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Виктор Дейкун, Василий Сало, Валерий Гончаров

Кировоградский национальный технический университет
25006, г. Кировоград, пр. Университетский, 8

Аннотация. В статье приведены результаты теоретического исследования процесса транспортирования и распределения гранул минеральных удобрений после отражения от плоскости распределителя в подлаповом пространстве плоскорезного рабочего органа. Обоснованы геометрические параметры и углы расположения отражающей плоскости.

Ключевые слова: скорость частицы, распределитель, дальность полета, поверхность отражения

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Интенсификация процессов в растениеводстве в настоящее время невозможна без применения значительных доз минеральных удобрений. Существующие же способы внесения, в большинстве случаев, не обеспечивают их эффективного использования растениями, так как, в лучшем случае, равномерно распределяют удобрения по всей глубине заделки в почву. Более эффективным может быть способ внутрипочвенного внесения с использованием лаповых или плоскорезных рабочих органов. В этом случае возникает проблема равномерного распределения удобрений по ширине захвата и, соответственно, по площади.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Решению этой проблемы посвящены исследования и конструкторские разработки многих авторов [1, 2, 3, 4], но большинство из них стремятся обеспечить равномерное распределение удобрений или посевного материала по площади обрабатываемой поверхности за счет конструктивных и других параметров одного элемента в цепи транспортирования их в почву – распределителя. В результате этого существенно возрастает сложность его конструкции, но конечный желаемый результат остается негарантированным.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является обоснование геометрических параметров распределителя, способных обеспечить максимальную дальность полета частиц удобрений в подлаповом пространстве.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что частицы материала, направляемые в соответствии с заданными траекториями в предусмотренные предварительно зоны поверхности борозды, образованной рабочим органом, при контакте с почвой существенно перераспределяются и смысл традиционного подхода к обеспечению равномерности полностью теряется. Кроме этого, необходимо учитывать то, что для заделки удобрений, в большинстве случаев, используются плоскорезные (лаповые) рабочие органы. Для нормальной работы, с точки зрения заглубления в почву, их необходимо устанавливать с наклоном вперед под углом до 3^0 . В результате этого дно борозды, которую они образуют, приобретает конические очертания с наклоном к центру. В этом случае становится очевидным, что материал необходимо подавать не равномерно по ширине рабочего органа, а большую его часть направлять на обоснованное расстояние в направлении, перпендикулярном его оси. Численное значение

этого расстояния определяется характером перераспределения гранул в результате контакта с почвой. В процессе скатывания гранул или частиц к центру равномерность распределения будет восстанавливаться.

В связи с этим возникает необходимость решения задачи обеспечения максимальной дальности полета частиц в поперечном направлении с использованием максимально простой геометрии поверхности распределителя. На наш взгляд, такой поверхностью может быть призма (рис.1).

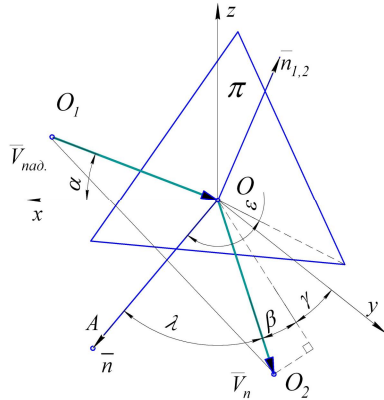


Рис.1. Схема контакта частиц удобрений с плоскостью отражения

Fig.1. Contact circuit particles fertilizers with a reflecting plane

Рассмотрим процесс перемещения гранул удобрений по пути: выход из тукопровода, контакт с распределителем, полет в направлении, поперечном направлению движения рабочего органа.

Компоненты скорости частиц после удара о плоскость π можно определить, составив уравнение их свободного полета в вертикальной плоскости OY_z , где ось OY_z получена в результате поворота оси OY в плоскости OXY на угол γ , в проекциях на оси OY_γ и OZ :

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

Введя обозначение:

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

решение уравнений (1) можно записать в виде:

$$\ln \left| \frac{v_{y_\gamma}}{C_1} \right| = -\frac{k}{m}t; \quad \ln \left| \frac{g + \frac{k}{m}v_z}{C_2} \right| = -\frac{k}{m}t$$

или

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

где: C_1, C_2 – постоянные интегрирования, которые определяются из начальных условий

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

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

Из (3), (4) получаем

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

и решения (6) приобретают вид:

$$v_{y_\gamma} = V_{\pi 0} e^{-\frac{g}{V_n}t} \cos \beta;$$

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

Для определения дальности полета нужно знать время полета. Его определяем, решив уравнение для определения скорости v_z . Учитывая (2), первое уравнение в (7) принимает вид:

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

Решением этого уравнения является:

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

где: C_3 – постоянная интегрирования, которая определяется из начального условия $z = 0$ при $t = 0$:

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

С учетом постоянной интегрирования, выражение для определения дальности полета частицы до встречи с препятствием:

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

Отсюда, время полета до встречи с землей является решением уравнения:

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

где: h_p – высота падения частицы после удара о плоскость.

Изменение горизонтальной координаты точки попадания частицы на землю определится путем решения первого уравнения (7). Учитывая (2), имеем:

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

где: C_4 – постоянная интегрирования.

Постоянная интегрирования C_4 определяется из начального условия $y = 0$ при $t = 0$:

$$C_4 = \frac{V_{\pi 0} V_b}{g} \cos \beta.$$

С учетом постоянной интегрирования C_4 изменение горизонтальной координаты (10) принимает вид:

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

Подставив в последнюю зависимость время t из (9), получим изменение горизонтальной координаты точки попадания на почву:

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

Найдем связь между углами β, γ , (рис. 1) которые задают направление скорости частицы в момент отражения от поверхности π , и углами φ, θ , которые задают положение симметричной относительно координатной плоскости OXZ призмы $ABCO$, где φ – угол, который образует ребра OA с плоскостью OXY ; 2θ – двугранный угол при ребре OA (рис. 2). Указанную связь найдем из условия

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

где: \bar{n}_1 – единичный вектор, который является внешней нормалью грани OCA , которая является фактически плоскостью отражения π .

Найдем нормаль \bar{n}_1 к плоскости отражения. Пусть $OA = L$ и плоскость ABC перпендикулярна к OA , тогда из рисунка 1 имеем:

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

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

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

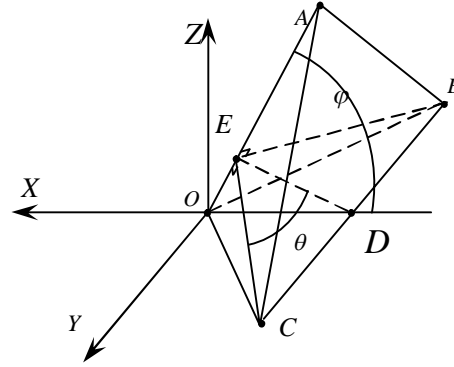


Рис. 2. Взаимосвязь между углами, которые задают направление вектора скорости частицы после отражения от плоскости π , и углами, которые задают положение призмы отражения.

Fig. 2. The relationship between the angles that define the direction of the velocity of the particle after reflection from a plane π , and the angles that define the position of the prism reflection.

Таким образом

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

$$= \frac{1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \varphi + \sec^2 \theta}} (\sin \varphi \operatorname{ctg} \theta; 1; \cos \varphi \operatorname{ctg} \theta)^T$$

и

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

Учитывая (15), из равенства (13) имеем

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

где:

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

Таким образом

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

Графическая интерпретация полученных аналитических зависимостей с использованием программного обеспечения Mathcad 15 (рис. 3) позволяет провести предварительный анализ.

При условии значений исходных параметров: скорость витания – $V_g = 10$ м/с; высота расположения распределителя над поверхностью дна борозды – $h = 0,05$ м; скорость гранул на выходе с тукопровода – $V_{над.} = 1,7$ м/с; расстояние от выхода с тукопровода к поверхности отражения – $\ell = 0,05$ м; коэффициент возобновления при ударе о препятствие $\mu = 0,9$.

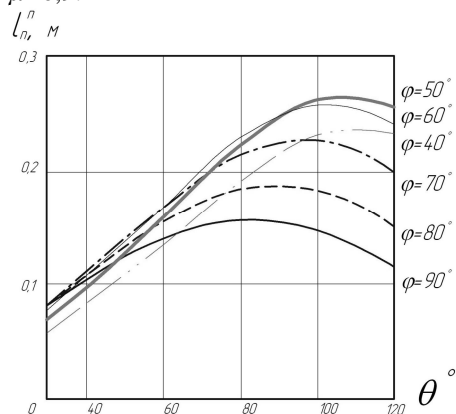


Рис. 3. Зависимость дальности поперечного полета гранул ℓ_n^n от угла θ между гранями распределителя при фиксированном наклоне ребра призмы φ .

Fig. 3. Cross-range dependence on the angle of flight pellets ℓ_n^n between the faces of the distributor θ at a fixed tilt edge of the prism φ .

Так, максимальной дальности полета гранул при фиксированном значении угла φ наклона ребра распределителя можно достичь, если угол между гра-

нями $\theta = 90...110^\circ$ в зависимости от значений угла φ .

Характерным является то, что со снижением значения угла φ от 90° до 50° прогнозируемое значение дальности поперечного полета гранул увеличивается, а последующее снижение значения угла φ обеспечивает его снижение.

ВЫВОДЫ

Полученные зависимости позволяют определять геометрические параметры распределителя для обеспечения заданной дальности полета частиц материала для рабочих органов различной ширины захвата и, с учетом закономерностей перераспределения в результате контакта с почвой, достигать желаемого качественного результата.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романишин О.Ю. Сошник для підґрунтового-розкидного способу сівби зернових культур / О.Ю. Романишин, М.Л. Заєць // Зб. наук. пр. ХТУСГ ім. Петра Василенка. – 2007. - № 9. – С. 238-242.
2. Перетяцько А.В. Теоретичське обґрунтування геометричних параметрів напрямителя-розпределителя семян лапового сошника. / С.А. Ивженко, А.Л. Брежнев, А.В. Перетяцько // В кн. Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования. Сборник научных работ. – Самара: ФГОУ ВПО Самарская ГСХА, 2005. – С. 96-101.
3. Романюк Г.С. К обоснованию параметров распределительно-высевающего устройства // Совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин: Сб. н. тр. УСХА. – 1988. С. 48-53.
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 процес-

- сов. Ч. 1. Матер. регион. науч.-практ. конф. «АГРОИНФО'2000». (Новосибирск, 26-27 октября 200 г.). РАСИИ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 2000. – 338 с.
5. Ковбаса В.П., Дейкун В.А. Визначення умов розсіювання частинок мінеральних добрив у підлаповому просторі. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. Нац. Аграр. Ун-т, 2008. – №12(2) – с.180-1882.
6. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление, – М.: Наука, 1969, 424 с.
7. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Т.2. М.: Наука, 1985.- 496 с.
8. Mihail Erohin. 2008 : Автоматизация проектирования зубчатых цилиндрических передач приводов сельскохозяйственных машин с использованием программного комплекса на базе MS EXCEL / Mihail Erohin, Alexandr Samoylenko // MOTROL. MOTORYZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA. – LUBLIN – Том 10 В, 147-155.
9. Volodymyr Dyduh. 2004 : Моделирование процессов производства органо-минеральных удобрений / Volodymyr Dyduh, Vasyliy Sacyuk, Yuriy Cysh, Stanislaw Sosnowski // MOTROL. MOTORYZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA. – LUBLIN – Том 6, 74-82.
10. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Т.2. М.: Наука, 1985.- 496 с.
11. В.П. Ковбаса В.А. Дейкун. Визначення траєкторії руху частинки за заданого кінематичного режиму. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. Нац. Аграр. Ун-т, 2008. – №12(2) – с.539-551
12. Гіліс М.Б. Локальне внесення добрив / М.Б. Гіліс. –К.: УАСГН, 1962.–192 с.
13. Грицун А.Т. Локально-ленточное внесение основной дозы минеральных удобрений под сою. / Грицун А.Т. // Сельскохозяйственные машины и орудия. – Вып. 6.–М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1982.
14. Дауренбеков Т. Исследование процесса подпочвенного внесения минеральных удобрений распределителем шнекового типа при глубокой безотвальной обработке почвы и выбор его оптимальных параметров и режимов работы: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук. / Т. Дауренбеков. – Алма-Ата, 1970. – 24 с.
15. Зирянов В.О. Рівномірність розміщення насіння та рослин на площі при сівбі зернотрав'яними сівалками. / В.О. Зирянов, В.І. Саченко // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2001. – Вип. 85. –С. 11-19.
16. Новиков В.Э., Резников Б.И. Внутрипочвенное внесение минеральных удобрений комбинированными рабочими органами плоскореза. / В.Э. Новиков, Б.И. Резников // Научно-технический бюллетень ВИМ. Вып. 48. – С. 24–26.
17. Новицкий Л.А. Расчет параметров рассеивающего устройства сошника сплошного посева. / Л.А. Новицкий // Ученые записки (Петрозаводский университет. – Т. 13; Вып. 2. – Петрозаводск, 1965.– С. 206–209.
18. О.Ю. Романишин, М.Л. Заєць, В.А. Дейкун. Результати досліджень ефективності суцільної сівби зернових культур. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / КНТУ, 2006, вип. 36, 1 – с. 171-174.
19. Прохоров А.А. Исследование технологического процесса внесения минеральных удобрений при безотвальной обработке почвы: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук. / А.А. Прохоров. – Саратов, 1970. – 21 с.
20. Резников Б.И. Построение отражающей поверхности тукораспределителя. /Б.И. Резников // Научно-технический бюллетень ВИМ. – Вып. 52. – 1982. – С.15–17.

21. Сало В.М., Дейкун В.А., Васильковський О.М. Експериментальні дослідження процесу розсіювання туків конічним робочим органом. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / КДТУ, 2004, вип. 34, 1 – с. 96-101.

22. Стоянов П.Т. Обоснование формы и параметров распределительных устройств сошников для сплошного (безрядкового) посева зерновых. / П.Т. Стоянов // Доклады МИИСП. – Т.15; Вып.1; Ч.1.– М., 1970. – С. 22–30

**AN ANALYSIS OF DISTANCE OF
FLIGHT OF PARTICLES OF
MINERAL FERTILIZERS IS IN
SUBPAW SPACE**

Abstract. 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.

Key words: speed of particle, distributor, distance of flight, surface of reflection