

УДК 631.333

DOI 10.18286/1816-4501-2022-3-6-11

## **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

*Сиднева Ирина Евгеньевна, аспирант кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»*

*Курдюмов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»*

*Павлушин Андрей Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»*

*ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ*

*432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1, тел.: 8 (8422)55-95-95*

*e-mail: ira.sidnewa@yandex.ru*

**Ключевые слова:** *рабочий орган, разбрасыватель, параметры, минеральные удобрения*

*Исследование посвящено решению проблемы снижения неравномерности при внесении минеральных удобрений. Установлено, что на процесс разбрасывания удобрений влияет множество факторов. Разработана и запатентована конструкция рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений, позволяющая повысить равномерность распределения удобрений. Приведены дифференциальное и стохастическое дифференциальное уравнения, описывающие движение частиц удобрения по диску. В стохастическом уравнении учтены случайные ударные взаимодействия, неизбежно возникающие при движении потока частиц. Получены зависимости, определяющие взаимосвязь таких кинематических параметров частицы удобрения, как скорость на выходе с диска и угол между скоростью и плоскостью диска с геометрическими параметрами рабочего органа разбрасывателя. Определены координаты места падения частицы удобрения на землю, которые позволили установить зависимости ширины и дальности разбрасывания от геометрических и кинематических параметров рабочего органа, а также физико-механических свойств удобрений. В ходе теоретического исследования было установлено, что путем изменения параметров рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений можно регулировать факел рассева удобрений по поверхности почвы, что позволит добиться оптимальных условий, обеспечивающих требуемую равномерность распределения удобрений.*

### **Введение**

Несмотря на большое разнообразие машин для внесения минеральных удобрений, по-прежнему актуальной проблемой остается необходимость разработки новых и совершенствования имеющихся комплексов сельскохозяйственных машин и технологий внесения удобрений для различных зон и предприятий в зависимости от их природно-климатических и производственных особенностей, а также с учетом агротехнических требований к процессу внесения удобрений и к самим удобрениям [1, 2, 3].

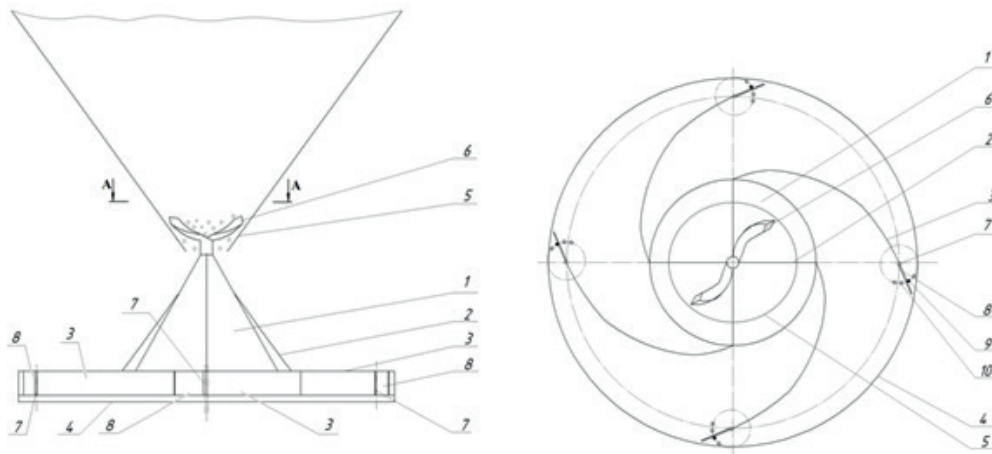
При разработке конструкции рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений

мы руководствовались следующими соображениями:

- на качество внесения удобрений влияет множество факторов различного происхождения;

- способ агрегатирования машины для разбрасывания минеральных удобрений с трактором следует выбирать так, чтобы исключить из расчета максимальное число факторов, отрицательно влияющих на равномерность разбрасывания;

- случайные факторы и факторы, не зависящие от конструкции машины для разбрасывания (например, изменение скорости и направ-



а) б)

**Рис. 1 – Рабочий орган разбрасывателя минеральных удобрений (а – общий вид, б – разрез по А - А)**

ления ветра или колебание влажности удобрений в бункере) при определении параметров разбрасывающего устройства не должны учитываться [4, 5, 6].

Помимо рассмотренных в ходе анализа литературных источников причин возникновения неравномерности распределения по поверхности почвы твердых минеральных удобрений машинами центробежного типа есть и другие факторы, которые усложняют задачу достижения требуемого качества распределения удобрений [4, 6, 7, 8, 9].

Предлагаемые изменения в конструкции машины заключаются в замене рабочего органа разбрасывателя на разработанный нами.

Равномерность внесения удобрений достигается следующими конструктивными решениями:

- увеличивающаяся в направлении от центра к периферии конической поверхности ширина прямых лопастей;
- ширина криволинейных лопастей принята равной ширине периферийного края прямых лопастей;
- спиралевидная форма криволинейных лопастей и установка шарнирно на их концах прямолинейных лопаток, позволяющих фиксировать эти лопатки в заданном положении (рис. 1). Более подробное описание конструкции рабочего органа разбрасывателя изложено в патентах [10, 11].

#### **Материалы и методы исследований**

Уравнение движения частицы по диску относительно переменных  $r$  и  $j_r$ , определяющих

положение частицы удобрения на диске в полярных координатах, запишем следующим образом:

$$\frac{d^2 \rho}{dt^2} + K_1 \left( \frac{d\rho}{dt} \right)^2 + K_2 \frac{d\rho}{dt} + K_3 \rho + K_4 = 0, \quad (1)$$

где коэффициенты  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  и  $K_4$  зависят от геометрических параметров диска;  $t$  – время, с.

Модель движения частицы удобрения по разбрасывающему диску, описанная в уравнении (1), является детерминированной моделью. Применение этой модели всегда приводит к идентичным решениям с фиксированными начальными условиями. В действительности в условиях движения вдоль диска разбрасывателя частицы удобрений подвергаются случайным ударам, которые данная модель не принимает во внимание. Частицы удобрений, движущиеся в потоке по диску, взаимодействуют друг с другом, что вызывает изменение их скорости и направления выхода с диска.

Для описания случайных возмущений, которым подвержены физические системы, используют стохастические дифференциальные уравнения, к примеру, уравнение Ланжевена.

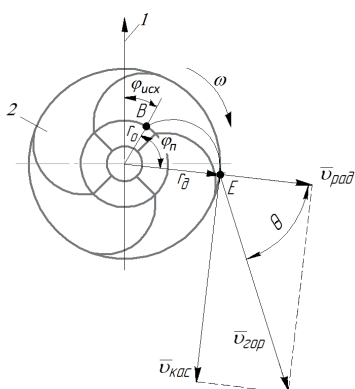
Дифференциальное уравнение Ланжевена, описывающее движение частиц удобрения на вращающемся разбрасывающем диске, можно выразить следующим образом:

$$\frac{d^2 \rho}{dt^2} + K_1 \left( \frac{d\rho}{dt} \right)^2 + K_2 \frac{d\rho}{dt} + K_3 \rho + K_4 = \sigma_F \xi(t) \quad (2)$$

где  $\sigma_F \xi(t)$  – стохастическая сила Ланжевена, Н.

На рисунке 2 представлена траектория движения частицы удобрения на диске разбрасывателя, вращающемся с угловой скоростью  $\omega$ . В имитационной модели координаты точки В подачи частицы удобрения на диск ( $\varphi_{исх}$ ,  $r_0$ ) генерируются случайным образом.

Решение детерминированного (1) или стохастического уравнения (2) позволяет определить радиальную составляющую  $u_{рад}$  горизонтальной скорости частицы в момент времени  $t = t_k$ , когда она покидает диск разбрасывателя, где  $t_k$  – время, с, за которое частица переместилась от  $r_0$  до  $r_d$ .



**Рис. 2 – Траектория движения частицы удобрения на диске:**

1 – направление движения агрегата; 2 – диск;  $u_{гор}$  – горизонтальная составляющая скорости выхода частицы удобрения с диска;  $u_{кас}$  – касательная составляющая скорости  $u_{гор}$ ;  $u_{рад}$  – радиальная составляющая скорости  $u_{гор}$ ;  $\vartheta$  – угол выхода частицы удобрения с диска;  $\omega$  – угловая скорость диска;  $r_d$  – радиус диска;  $r_0$  – радиус подачи частиц удобрений;  $\varphi_{исх}$  – угол, определяющий исходное положение частицы на диске;  $\varphi_n$  – угол, определяющий текущее положения частицы на диске

Определение траектории движения частицы удобрения в воздухе требует вычисления начальной скорости частицы в воздухе  $u_0$ , угла  $\alpha_0$  между горизонтальной плоскостью и направлением начальной скорости  $u_0$ , а также угла  $\theta$ , под которым частица удобрения покидает диск.

Поскольку скорость  $u_0$  частицы удобрения в воздухе можно разложить на горизонтальную  $u_{гор}$  и вертикальную  $u_{вер}$  составляющие, то:

$$u_0 = \sqrt{u_{гор}^2 + u_{вер}^2} \quad (3)$$

Для определения угла  $\theta$  сначала необходимо вычислить значение тангенциальной составляющей  $u_{кас}$  скорости частицы удобрения в горизонтальной плоскости:

$$u_{кас} = \omega r_d - u_{рад} \frac{r_0}{\sqrt{r_d^2 - r_0^2}} \quad (4)$$

Зная значения компонентов скорости  $u_{рад}$  и  $u_{кас}$ , из выражения (5) можно вычислить угол  $\theta$ , под которым частица удобрения покидает диск ( $r = r_d$ ):

$$tg \theta = \frac{u_{кас}}{u_{рад}} \quad (5)$$

Подставляя выражение (4) в уравнение (5), получаем угол  $\theta$  выхода частицы удобрения с диска:

$$\theta = arctg \left[ \frac{\omega r_d \sqrt{r_d^2 - r_0^2} - u_{рад} r_0}{u_{рад} \sqrt{r_d^2 - r_0^2}} \right] \quad (6)$$

Зная скорости  $u_{рад}$  и угол  $\theta$  выхода частицы удобрения с диска, можно вычислить скорость  $u_L$  частицы относительно лопасти в момент выхода с диска:

$$u_L = \frac{u_{рад}}{\cos \Omega \cos \beta} \quad (7)$$

где  $\Omega$  – угол наклона лопасти к горизонтальной плоскости, град.;  $\beta$  – угол между лопастью и радиусом диска, град.

Тогда горизонтальная  $u_{гор}$  и вертикальная  $u_{вер}$  составляющие начальной скорости  $u_0$  частицы удобрения в воздухе соответственно:

$$u_{гор} = \frac{u_{рад}}{\cos \theta} \quad (8)$$

$$u_{вер} = u_L \sin \Omega = \frac{u_{рад}}{\cos \beta} tg \Omega \quad (9)$$

Угол наклона  $\alpha_0$  вектора начальной скорости  $u_0$  частицы удобрения в воздухе относительно горизонтальной плоскости можно определить через следующее выражение:

$$tg \alpha_0 = \frac{u_{вер}}{u_{гор}} \quad (10)$$

Подстановка зависимостей (8) и (9) в уравнение (10) дает следующее выражение для угла  $\alpha_0$ :

$$\alpha_0 = arctg \left[ \frac{\cos \theta}{\cos \beta} tg \Omega \right] \quad (11)$$

В имитационной модели углы  $\alpha_0$  и  $\theta$  и начальную скорость  $u_0$  частицы удобрения в воздухе определяют с помощью уравнений (11), (6) и (3).

Общие уравнения движения частицы удо-

брения в воздухе следующие [6]:

$$\frac{d^2x'}{dt^2} = -0,5K_5 \frac{\rho_g S_y dx'}{\rho_y V_y dt} \sqrt{\left(\frac{dx'}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}, \quad (12)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -g - 0,5K_5 \frac{\rho_g S_y dz}{\rho_y V_y dt} \sqrt{\left(\frac{dx'}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}, \quad (13)$$

где  $K_5$  – коэффициент сопротивления воздуха;  $\rho_b$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_y$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $S_y$  – поверхность сопротивления частицы, м<sup>2</sup>;  $V_y$  – объем частицы, м<sup>3</sup>;  $x'$  – горизонтальная составляющая перемещения частицы удобрения, м;  $z$  – вертикальная составляющая перемещения частицы удобрения, м.

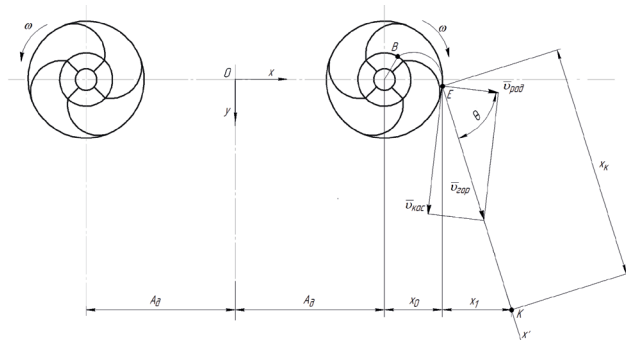
Решая систему дифференциальных уравнений (12) и (13) с начальными и граничными условиями (14), можно определить расстояние  $x_K$  между точкой, в которой частица удобрения покидает разбрасывающий диск и местом ее падения на землю (точка К, рис. 3).

$$t = 0: x' = 0; z = h; \frac{dx'}{dt} = v_{гор}; \frac{dz}{dt} = v_{вер};$$

$$t = t_K: x' = x_K; z = 0; \quad (14)$$

где горизонтальная составляющая  $v_{гор}$  и вертикальная составляющая  $v_{вер}$  результирующей скорости  $v_0$  определяют следующим образом:

$$v_{гор} = v_0 \cos \alpha_0; \quad v_{вер} = v_0 \sin \alpha_0. \quad (15)$$



**Рис. 3 – К определению положения частицы удобрения на поле:**

$2A_0$  – расстояние между центрами двух дисков;  $v_{гор}$  – горизонтальная составляющая скорости выхода частицы удобрения с диска;  $v_{рад}$  – радиальная составляющая скорости  $v_{кор}$ ;  $v_{кас}$  – тангенциальная составляющая скорости  $v_{гор}$ ;  $x_K$  – расстояние от края диска до места (точка К) падения частицы;  $x_1$  – проекция  $x_K$  на ось  $x$ ;  $\omega$  – угловая скорость диска;  $\theta$  – угол выхода частицы удобрения с диска

В результате интегрирования и подстановки начальных и граничных условий из уравнения (12) получаем уравнение движения частицы удобрения в проекции на горизонтальную пло-

скость в зависимости от переменной  $t$ :

$$x_{пп} = \frac{\ln(k_a v_0 \cos \alpha_0 t + 1)}{k_a}, \quad (16)$$

где  $k_a$  – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы удобрения,

$$k_a = 0,5K_5 \frac{\rho_g S_y}{\rho_y V_y}.$$

В полученной зависимости (16) неизвестной переменной является время, поэтому решим уравнение (13) относительно времени. С учетом того, что в вертикальной плоскости влияние коэффициента аэродинамического сопротивления частицы удобрения ничтожно мало, решение уравнения (13) можно представить в следующем виде:

$$z = h - 0,5gt^2. \quad (17)$$

В момент приземления частицы  $z = 0$ , поэтому время полета можно выразить как:

$$t_k = \sqrt{2h/g}. \quad (18)$$

Еще одним важным шагом в представленной симуляционной модели является определение координат ( $x_n, y_n$ ) места падения частицы удобрения на землю в системе координат, связанной с разбрасывающим диском. Предположим, что в начальный момент времени  $t = 0$  частица удобрения находится на распределяющем диске в точке В на расстоянии  $r_0$  от центра диска (рисунок 3).

В момент времени  $t_k$  при движении частицы от  $r_0$  до  $r_n$  разбрасывающий диск повернется на угол  $\varphi_n = \omega t_k$  (рисунок 3).

Зная угол  $\theta$  выхода частицы удобрения с распределительного диска и угол  $\varphi_n$ , можно определить координаты местоположения частицы удобрения на краю диска ( $x_0, y_0$ ) и расстояния  $x_1$  и  $y_1$ :

$$x_0 = r_0 \sin \varphi_n; \quad x_1 = x_K \sin(\varphi_n + \theta);$$

$$y_0 = -r_0 \cos \varphi_n; \quad y_1 = -x_K \cos(\varphi_n + \theta). \quad (19)$$

Координаты  $x_n$  и  $y_n$  местоположения частицы удобрений на почве можно получить через следующие уравнения:

$$x_n = x_0 + x_1 + A_0;$$

$$y_n = y_0 + y_1. \quad (20)$$

Полученные уравнения для определения координат частицы могут быть использованы при обосновании других конструктивных параметров разбрасывателя и его рабочего органа.

## Результаты исследований

Из уравнений (19), по которым определяют координаты  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $x_1$  и  $y_1$ , а также из (6) можно получить искомые ширину и дальность разбрасывания:

$$= r_0 \sin[\omega\sqrt{2h/g}] + \frac{\ln(k_a v_0 \cos \alpha_0 \sqrt{2h/g + 1})}{k_a} \\ n \left[ \omega\sqrt{2h/g} + \arctg \left( \frac{\alpha_0 \sqrt{r_0^2 - r_0^2} - v_0 \sin \alpha_0 \frac{\cos \beta}{\text{tg} \Omega} r_0}{v_0 \sin \alpha_0 \frac{\cos \beta}{\text{tg} \Omega} \sqrt{r_0^2 - r_0^2}} \right) \right] + \quad (21)$$

$$= r_0 \cos[\omega\sqrt{2h/g}] + \frac{\ln(k_a v_0 \cos \alpha_0 \sqrt{2h/g + 1})}{k_a} \\ \cos \left[ \omega\sqrt{2h/g} + \arctg \left( \frac{\alpha_0 \sqrt{r_0^2 - r_0^2} - v_0 \sin \alpha_0 \frac{\cos \beta}{\text{tg} \Omega} r_0}{v_0 \sin \alpha_0 \frac{\cos \beta}{\text{tg} \Omega} \sqrt{r_0^2 - r_0^2}} \right) \right] \quad (22)$$

## Обсуждение

Из зависимостей (21) и (22) вытекает, что на ширину разбрасывания и дальность полета частиц удобрений влияют, преимущественно, следующие параметры рабочих органов двухдискового разбрасывателя:

- диаметр разбрасывающего диска;
- угол наклона лопасти к горизонтальной плоскости;
- угол между лопаткой и радиусом диска;
- высота установки рабочего органа;
- угловая скорость вращения разбрасывающего диска;
- расстояние между осями вращения дисков.

Также на ширину разбрасывания и дальность полета удобрений оказывают влияние физико-механические свойства самих удобрений, в частности, коэффициент аэродинамического сопротивления.

## Заключение

В ходе теоретического исследования было установлено, что путем изменения параметров рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений можно регулировать факел распределения удобрений по поверхности почвы, что позволит добиться оптимальных условий, обеспечивающих требуемую равномерность распределения удобрений, следствием которой является обеспечение максимальной урожайности возделываемых культур.

## Библиографический список

1. Высокоэффективная техника для энерго-, влаго-, ресурсосберегающих мировых технологий Mini-Till, No-Till в системе точного зем-

леделия России: монография / В.А. Милюткин, В.Э. Буксман, М.А. Канаев. – Кинель: РИО Самарской ГСХА, 2018. – 182 с.

2. Методы повышения эффективности использования тракторных транспортно-технологических агрегатов / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев, Б.С. Зданович, Е.В. Соловьев, С.В. Соловьев. – Москва; Белгород: ООО «Центральный коллектор библиотек «БИБКОМ», 2017. – 161 с.

3. Parish Richard L. Review of Granular Applicators for Turfgrass // HortTechnologie, 2006, 16(3) // [электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/publication/277831878\\_Review\\_of\\_Granular\\_Applicators\\_for\\_Turfgrass](https://www.researchgate.net/publication/277831878_Review_of_Granular_Applicators_for_Turfgrass)

4. Bansal R.K., Walker J.T., Gardisser D.R. Validating Fluent for the Flow of Granular Materials in Aerial Spreaders // Transactions of the ASAE, Vol. 41(1): p. 29-35.

5. Burwood-Taylor L. How fertilizer companies are using technology to stay relevant, 2019 [электронный ресурс]:

<https://agfundernews.com/how-fertilizer-companies-are-using-technology-to-stay-relevant.html>.

6. Cool S., Pieters J.G., Mertens K.C. Image based techniques for determining spread patterns of centrifugal fertilizer spreaders // Agriculture and Agricultural Science Procedia/ Farm machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, 7<sup>th</sup> International Scientific Symposium // 2015, v. 7, p. 59-63.

7. Патент РФ № 173569, МПК А01С 15/00 Рабочий орган разбрасывателя гранулированных минеральных и органо-минеральных удобрений / Б.П. Беседин, Е.Ю. Колесников, А.А. Шварц; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова», заявка № 2016142974, заявл. 31.10.2016; опубл. 31.08.2017, Бюл. № 25.

8. Патент РФ № 179534, МПК А01С 15/00. Разбрасыватель минеральных удобрений / Д.Т. Халиуллин, Б.Г. Зиганшин, А.В. Дмитриев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, заявка № 2017142174, заявл. 04.12.2017; опубл. 17.05.2018, Бюл. № 14.

9. Патент РФ № 191029, МПК А01С 17/00. Дисковый разбрасыватель гранулированных минеральных удобрений / М.А. Гайбарян, Н.Н. Новиков, В.И. Сидоркин; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, заявка № 2019108461, заявл. 25.03.2019; опубл. 22.07.2019, Бюл. № 21.

10. Патент РФ № 194259, МПК А01С 17/00, А01В 15/16. Рабочий орган разбрасывателя ми-

неральных удобрений / В.И. Курдюмов, И.Е. Сиднева; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, заявка № 2019126062; заявл. 16.08.2019; опубл. 4.12.2019, Бюл. № 34.

11. Патент РФ № 194309, МПК А01С 17/00.

Рабочий орган разбрасывателя минеральных удобрений / В.И. Курдюмов, И.Е. Сиднева; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, заявка № 2019126064; заявл. 16.08.2019; опубл. 5.12.2019, Бюл. № 34.

## THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE WORKING BODY PARAMETERS OF THE MINERAL FERTILIZER DISTRIBUTOR

**Sidneva I.E., Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A.**  
**432017, Ulyanovsk, Novyi Venets boulevard, 1, tel.: 8 (8422) 55-95-95**  
**e-mail: ira.sidneva@yandex.ru**  
**FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University**

**Key words:** working body, distributor, parameters, mineral fertilizers

The study is devoted to solving the problem of reduction of nonuniformity of application of mineral fertilizers. It was established that many factors influence distribution of fertilizers. The design of the working body of the mineral fertilizer distributor was developed and patented, it allows to increase the uniformity of fertilizer distribution. Differential and stochastic differential equations that describe the movement of fertilizer particles along the disk are given. The stochastic equation takes into account random impact interactions that inevitably arise during the motion of the particle flow. Dependences were obtained that determine the relation between such kinematic parameters of a fertilizer particle as the speed at the exit from the disk and the angle between the speed and the disk plane with geometric parameters of the distributor working body. The coordinates of the place where a fertilizer particle falls on the ground are determined, which allow to establish the dependence of the spreading width and distance on geometric and kinematic parameters of the working body, as well as physical and mechanical properties of fertilizers. In the course of the theoretical study, it was found that it is possible to regulate the torch of fertilizer spreading on the soil surface by changing the parameters of the working body of the mineral fertilizer distributor, which allows to achieve appropriate conditions that ensure the required uniform distribution of fertilizers.

### Bibliography:

1. Highly efficient equipment for energy-, moisture-, resource-saving world technologies Mini-Till, No-Till in the system of precision farming in Russia: monograph / V.A. Milyutkin, V.E. Buksman, M.A. Kanaev. - Kinel: Publishing house of Samara State Agricultural Academy, 2018. - 182 p.
2. Methods for efficiency improvement of usage of tractor transport-technological units / N.F. Skuryatin, A.V. Bondarev, B.S. Zdanovich, E.V. Solovyyov, S.V. Solovyyov. - Moscow; Belgorod: OOO Central Collector of Libraries BIBCOM, 2017. - 161 p.
3. Parish Richard L. Review of Granular Applicators for Turfgrass // HortTechnology, 2006, 16(3) // [electronic resource]: [https://www.researchgate.net/publication/277831878\\_Review\\_of\\_Granular\\_Applicators\\_for\\_Turfgrass](https://www.researchgate.net/publication/277831878_Review_of_Granular_Applicators_for_Turfgrass)
4. Bansal R.K., Walker J.T., Gardisser D.R. Validating Fluent for the Flow of Granular Materials in Aerial Spreaders // Transactions of the ASAE, Vol. 41(1): p. 29-35.
5. Burwood-Taylor L. How fertilizer companies are using technology to stay relevant, 2019 [electronic resource]: <https://agfundernews.com/how-fertilizer-companies-are-using-technology-to-stay-relevant.html>.
6. Cool S., Pieters J.G., Mertens K.C. Image based techniques for determining spread patterns of centrifugal fertilizer spreaders // Agriculture and Agricultural Science Procedia/ Farm machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, 7th International Scientific Symposium // 2015, v. 7, p. 59-63.
7. Patent of the Russian Federation № 173569, IPC A01C 15/00 The working body of the distributor of granular mineral and organo-mineral fertilizers / B.P. Besedin, E.Yu. Kolesnikov, A.A. Schwartz; applicant and patent holder FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov", application № 2016142974, appl. 31.10.2016; publ. 31.08.2017, Bull. № 25.
8. RF patent № 179534, IPC A01C 15/00. Mineral fertilizer spreader / D.T. Khaliullin, B.G. Ziganshin, A.V. Dmitriev; applicant and patent holder FSBEI HE Kazan State Agrarian University, application № 2017142174, appl. 04.12.2017; publ. 17.05.2018, Bull. № 14.
9. RF patent № 191029, IPC A01C 17/00. Disk spreader of granulated mineral fertilizers / M.A. Gaibaryan, N.N. Novikov, V.I. Sidorkin; applicant and patent holder FSBSI Federal Scientific Agroengineering Center VIM, application № 2019108461, appl. 25.03.2019; publ. 22.07.2019, Bull. № 21.
10. RF patent № 194259, IPC A01C 17/00, A01B 15/16. The working body of the spreader of mineral fertilizers / V.I. Kurdyumov, I.E. Sidneva; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University, application № 2019126062; appl. 16.08.2019; publ. 04.12.2019, Bull. № 34.
11. RF patent № 194309, IPC A01C 17/00. The working body of the spreader of mineral fertilizers / V.I. Kurdyumov, I.E. Sidneva; applicant and patentee Ulyanovsk State Agrarian University, application № 2019126064; appl. 16.08.2019; publ. 05.12.2019, Bull. № 34.