УДК 681.3:631.333.5

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-65-73

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗА ПО РАБОЧЕМУ ОРГАНУ
ЛОПАСТНОГО РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ**¹Шварц Анатолий Адольфович¹Шварц Сергей Анатольевич¹Секретарев Александр Петрович¹Ветров Иван Юрьевич¹ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»

Реферат. Известно, что конструктивно режимные параметры лопастных рабочих органов разбрасывателей, особенно для поверхностного внесения гранулированных удобрений, зависят от многих факторов, в том числе от физико-механических свойств удобрений – геометрических размеров, влажности, удельного веса и др. Исследованы основные характеристики движения груза по лопаткам и в струе, выброшенного под углом к горизонту рабочим органом ротора с горизонтальной осью вращения. Использование метода математического моделирования позволило изучить сущность процесса на основе теории подобия и анализа размерностей. Установлены понятия ламинарного и турбулентного движения потока груза, изменение характера и параметров компонентов, движущихся с различной скоростью и плотностью. В ядре струи удобрений сосредоточено 75-90% компонентов, содержащихся в поперечном сечении струи. Ядро струи создает попутный поток воздуха, увлекающий остальные компоненты, включая мелкие. Траектория движения груза в воздухе приближается к параболе, а конечная скорость меньше начальной. На всем протяжении пути свободного полета изменяется функциональная зависимость между сопротивлением среды и относительной скоростью летящего груза. С повышением производительности машины компоненты оседают на площади более концентрированно. Получено аналитическое уравнение движения центра массы свободно летящего единичного тела в безвоздушном пространстве и с учетом сопротивления воздуха, под действием силы, возникающей при сходе груза с лопатки ротора. По результатам моделирования выведены математические зависимости траектории и дальности полета от начальных условий, а также установлены выводы о влиянии воздушной среды на характеристику полета гранулы удобрений.

Ключевые слова: разбрасыватель, лопастные рабочие органы, гранулированные удобрения, траектория полета, уравнение движения, окружная скорость, угловая скорость.

**MATHEMATICAL DEPENDENCES OF THE MOVEMENT OF CARGO ON THE WORKING
BODY OF THE BLADE SPREADER OF GRANULAR FERTILIZERS**¹Schwartz Anatoly¹Schwartz Sergey¹Secretarev Alexander¹Vetrov Ivan¹FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"

Abstract. It is known that the structurally operational parameters of the blade working bodies of the spreaders, especially for the surface application of granular fertilizers, depend on many factors, including the physicomachanical properties of the fertilizers - geometric dimensions, humidity, specific gravity, etc. The basic characteristics of the movement of cargo along the blades and in the jet ejected at an angle to the horizontal by the working body of the rotor with a horizontal axis of rotation are investigated. Using the method of mathematical modeling allowed us to study the essence of the process based on the theory of similarity and analysis of dimensions. The concepts of laminar and turbulent movement of the cargo flow, a change in the nature and parameters of components moving with different speeds and densities are established. 75-90% of the components contained in the cross section of the stream are concentrated in the core of the stream of fertilizers. The nucleus of the jet creates a concurrent

air flow that carries away the remaining components, including small ones. The trajectory of the cargo in the air is approaching the parabola, and the final speed is less than the initial one. The functional relationship between the resistance of the medium and the relative speed of a flying load varies throughout the length of the free flight path. Components settle on the area in a more concentrated manner with increased machine performance. An analytical equation is obtained for the motion of the center of mass of a freely flying single body in an airless space and taking into account air resistance, under the action of a force arising when the load leaves the rotor blade. Mathematical dependences of the trajectory and flight range on the initial conditions are derived from the simulation results, and conclusions about the influence of the air on the flight characteristics of fertilizer granules are established.

Keywords: *spreader, blade working bodies, granular fertilizers, flight path, equation of motion, circumferential speed, angular speed.*

Введение. Гранулированные минеральные, органические удобрения и их смеси в общем случае представляют собой механическую смесь твердых тел различной формы и крупности, промежутки между которыми в сухих условиях заполнены воздухом, во влажных – полностью или частично влагой (водой).

Тип конструкции и параметры разбрасывающих машин обуславливаются физико-механическими свойствами гранулированных удобрений, подлежащих разбрасыванию[1]. К ним относятся кусковатость, влажность и гигроскопичность, плотность (объемная масса) и удельный вес, взаимная подвижность частиц (сыпучесть, текучесть, слеживаемость, смерзаемость) и угол естественного отскока гранул, склонность к сводообразованию, истирающая способность (абразивность), хрупкость и т.д.

При проектировании разбрасывателей удобрений необходимо учитывать перечисленные свойства гранул, а также требования к технологическому процессу их обработки: не повреждать частицы, охлаждать и сушить их в процессе переброски, принимать во внимание степень уплотнения гранул при укладке.

Физические явления, происходящие в струе компонентов гранулированных минеральных удобрений, брошенных под углом к горизонту, изучены еще недостаточно. Чтобы полнее представить себе этот процесс, необходимо составить, а затем исследовать аналитическое уравнение движения центра массы свободно летящего единичного тела, брошенного под углом к горизонту в безвоздушном пространстве, под действием силы, возникающей при отрыве гранулы от лопатки разбрасывателя.

Материалы и методика. Экспериментально установлено, что параметры струи насыпного груза, бросаемого метательной машиной, в реальных условиях несколько отличаются от параметров струи газа, найденных без учета сопротивления воздуха. Опытами Центрального научно-исследовательского института водного транспорта (ЦНИИВТ), проведенными на специально созданной и изготовленной лабораторной установке, отмечены следующие особенности формы струи гранулированных удобрений. С увеличением производительности метательной машины струя сжимается в вертикальном направлении. С повышением скорости бросания вся струя приподнимается и одновременно как бы сжимается в вертикальном направлении. Отдельные зерна вылетают под большим углом, чем угол наклона сбрасывающей части рабочего органа к горизонту. Было доказано также, что механически переносить теоретические исследования свободного полета единичной гранулы удобрения на их движение струей нельзя.

Каковы же причины, отклоняющие свободный полет любого из системы тел, движущихся струей, от траектории полета этого же тела, летящего вне системы.

Когда происходит непрерывное обтекание тела вязкой средой, то на больших расстояниях позади тела, в сравнительно узкой области вокруг продольной оси движения, истинная скорость движения среды несколько отличается от скорости набегающего потока среды на тело. В эту область, называемую ламинарным следом, попадают частицы среды из числа движущихся вдоль обтекаемого тела на сравнительно небольших расстояниях от него. Такое движение среды является по существу вихревым. При обтекании тел тупой формы появляется дорожка Кармана, которая зависит от формы тела, турбулентности набегающего потока и от других факторов [1].

С увеличением турбулентности потока усиливается турбулентность пограничного слоя тела, что, в свою очередь, сужает турбулентный след за телом. С сужением этого следа уменьшается сопротивление движению тела. [2, 3].

Еще Н.Е. Жуковский, ссылаясь на опыты Эйфеля, обратил внимание, что расстоянием между дисками, движущимися один за другим, влияет на величину коэффициента сопротивления среды. Описанные явления объясняются тем, что когда расстоянием между дисками незначительно, то вслед идущий диск попадает в среду воздушных вихрей, образуемых впереди движущимся диском, из-за чего турбулентный след за последующим диском сужается, и, как следствие, силы сопротивления его движению уменьшаются. Основываясь на выводах Н.Е. Жуковского, постараемся объяснить причины, изменяющие характер и параметры компонентов, движущихся с различной скоростью и плотностью струи гранулированных удобрений[4].

С повышением плотности струи уменьшается расстояние между соседними компонентами как в продольном, так и в поперечном направлениях. В этом случае вихри, образуемые за каждым из тел струи, сближаются один с другим, создавая ансамбль элементарных вихрей, характеризующих вращательное и поступательное движение воздушной среды в струе компонентов груза. Хотя ансамбль таких вихрей существует ограниченное время, он соответствует определенным циклам разрушения и восстановления системы вихрей, благодаря которым с повышением плотности струи компонентов груза увеличивается скорость движения попутного потока воздуха, вызываемого струей груза, и уменьшается скорость движения компонентов относительно попутного потока воздуха. Отсюда, как следствие, несколько снижается лобовое сопротивление воздуха движению единичного тела, характеризуемого такими же параметрами движения. Это является первопричиной, увеличивающей дальность полета всех компонентов струей, в том числе и отличающихся большим сопротивлением воздуха, что также сказывается на повышении траектории ядра струи удобрений по отношению к траектории свадебного полета единичного тела, брошенного при тех же начальных параметрах.

С увеличением скорости метания компоненты движутся более концентрированной струей. При этом за каждым телом струи интенсивнее образуются вихри, в результате чего уменьшается лобовое сопротивление воздуха их движению и возрастают подъемные силы. Благодаря этому дальность свободного полета компонентов увеличивается, значительно повышается скорость метания, а траектория движения струи удобрений несколько приподнимается по отношению к траектории свободного полета единичного тела, брошенного при тех же начальных параметрах [5].

Высокие угловые скорости вращающихся компонентов струи удобрений усиливают интенсивность вихреобразования в пределах струи и, как следствие, уменьшают лобовое сопротивление воздуха и увеличивают подъемную силу. При этом следует обращать внимание на направление вращения компонентов, которое определяет направление действия подъемной силы на каждое тело в отдельности: вверх или вниз. Таким образом, вращение компонентов в определенной степени влияет на их дальность свободного полета, на отклонение траектории ядра струи удобрений от траектории свободного полета единичного тела и на размеры поперечного сечения струи удобрений.

Изложенное о причинах, влияющих на параметры струи удобрений, в одинаковой степени действительно при полете компонентов, как в неподвижной воздушной среде, так и при ветре. Ветер влияет не только на дальность и форму траектории свободного полета единичного тела, но и на свободный полет компонентов струи удобрений. Однако с увеличением плотности струи удобрений (концентрация компонентов в струе повышается), а также с возрастанием скорости бросания компонентов, действие ветра на них уменьшается. Тем самым снижается эффект выдувания особенно тех компонентов, которые характеризуются высокой парусностью. Следовательно, при увеличении плотности струи удобрений и скорости бросания ее компонентов повышается точность прицельного бросания и снижается качество сортирования компонентов струи удобрений под воздействием ветра.

Результаты и их обсуждение. Физические явления, органически связанные со свободным полетом компонентом струей, в действительности более сложны, чем они изложены выше. Необходимо учитывать то, что у истоков струи сыпного груза размеры ее поперечного сечения минимальны, а плотность компонентов в струе максимальная. Свободный полет компонентов начинается наиболее компактной системой тел. По мере удаления от исполнительного органа

метательной машины поперечные сечения струи удобрений непрерывно увеличиваются, а концентрация компонентов в струе непрерывно уменьшается. В связи с этим на всем протяжении пути свободного полета любого из тел изменяется функциональная зависимость между сопротивлением среды и относительной скоростью летящего тела. Это изменение связано со степенью удаления тел от исполнительного органа метательной машины и степенью начальной разреженности струи удобрений (производительности разбрасывателя).

С повышением производительности метательной машины компоненты оседают на площади более концентрированно; при этом центр их разбрасывания удаляется от точки метания. Когда перебрасываются насыпные грузы, компоненты которых характеризуются различными скоростями витания, то они начинают оседать на площади разбрасывания, расположенной значительно ближе к исполнительному органу разбрасывателя, чем тогда, когда используются однородные компоненты.

В центральной части струи удобрений сосредотачивается 75 - 90 % компонентов от их количества, содержащегося в поперечном сечении струи. Здесь компоненты груза более концентрированы, чем у наружного очертания струи. Они составляют ядро струи, которое создает попутный поток воздуха, увлекающий остальные компоненты, в том числе и мелкие, примеси.

Свободный полет тела, брошенного под углом к горизонту без сопротивления воздуха

Рисунок 1 – Траектория свободного полета единичного тела

Известно, что траектория свободного полета единичного тела без сопротивления воздуха представляет собой параболу (рисунок 1), уравнение которой в прямоугольных координатах с началом в точке вылета О имеет вид

$$y = x \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{gx^2}{2g_0^2 \cos^2 \alpha_0}, \quad (1)$$

где x и y – координаты центра массы гранулы;

α_0 – угол наклона к горизонту касательной к траектории в начале свободного полета, т. е. угол вылета гранулы, который в дальнейшем будем называть углом метания (бросания);

v_0 – начальная скорость вылета тела, в дальнейшем ее будем называть скоростью метания (бросания).

Дальность полета брошенного тела равно расстоянию от точки О (рисунок 1) до точки Б пересечения траектории с осью x – точки падения тела на горизонтальную плоскость x . Ордината точки падения $y=0$.

Приняв в уравнении (1) $y=0$, имеем

$$x \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{gx^2}{2g_0^2 \cos^2 \alpha_0} = x \left(\operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{gx}{2g_0^2 \cos^2 \alpha_0} \right) = 0. \quad (2)$$

При решении уравнения (2) возможны два случая:

1) $x_f = 0$, что соответствует точке О начала бросания тела;

$$2) \quad x_B = \frac{g_0^2}{g} \sin 2\alpha_0, \quad (3)$$

что соответствует абсциссе точки Б падения тела.

Наибольшая дальность полета будет при $\sin 2\alpha_0 = 1$, т.е. при $\alpha_0 = 45^\circ$ или $\frac{\pi}{2} - 45^\circ$. Она будет одинакова независимо от того, направлена начальная скорость под углом к α_0 горизонту или к вертикали. Тогда

$$x_{\max} = \frac{g_0^2}{g}. \quad (4)$$

Уравнение движения центра массы гранулы в параметрической форме запишется

$$x = g_0 t \cos \alpha_0; \quad (5)$$

$$y = g_0 t \sin \alpha_0 - \frac{gt^2}{2}, \quad (6)$$

где t – время свободного полета тела.

Точка А (рисунок 1) соответствует наивысшему положению тела на траектории. Найдем выражения, определяющие ординату точки А. Для этого из уравнения (6) определим

$$\frac{dy}{dt} = g_0 \sin \alpha_0 - gt, \quad (7)$$

где $\frac{dy}{dt} = g_y$ – проекция истинной скорости движения тела на ось y .

В точке А

$$g_y = \frac{dy}{dt} = 0. \quad (8)$$

Следовательно

$$g_0 \sin \alpha_0 - gt_A = 0, \quad (9)$$

или

$$t_A = \frac{g_0 \sin 2\alpha_0}{g}. \quad (10)$$

Из совместного решения уравнений (5), (6) и (10) получим систему уравнений для нахождения координаты точки А (рисунок 1)

$$\begin{cases} x_A = \frac{g_0^2}{2g} \sin 2\alpha_0 \\ y_A = \frac{g_0^2}{2g} \sin^2 \alpha_0 \end{cases}. \quad (11)$$

Однако в полученной системе уравнений множитель g_0 равен скоростив момент отрыва частицы от лопатки разбрасывателя.

Рассмотрим подробнее эту составляющую.

Скорость частицы в момент отрыва от лопатки разбрасывателя

Максимальная окружная скорость v частицы груза наблюдается при достижении ей кожуха. Скорость v равна окружной скорости лопасти v_n (рисунок 2).

$$g = g_n = 2\pi r_2 n = 6,28 r_2 n, \text{ м/мин}, \quad (12)$$

где r_2 – радиус лопасти в м;

n – частота вращения лопастей в минуту.

Рисунок 2 – Схемы для определения:

а – ускорения движения частицы груза; б – величины и направления скорости бросания груза

Скорость передвижения частицы вдоль лопасти переменная, что определяется тангенциальным a_T и радиальным a_q ускорениями частицы. В подвижной системе координат ускорения [5]

$$a_T = r \frac{d\omega}{dt} + 2\omega \frac{dr}{dt}; \quad (13)$$

$$a_q = \frac{d^2 r}{dt^2} - \omega^2 r; \quad (14)$$

где r – расстояние от частицы до центра вращения;
 ω – угловая скорость частицы и соответственно лопасти;
 t – время передвижения частицы.

При постоянной угловой скорости $\frac{d\omega}{dt} = 0$ центростремительное ускорение $\omega^2 r = 0$, так как частица свободно перемещается от центра по лопасти. При этих условиях уравнения (13) и (14) запишутся

$$a_T = 2\omega \frac{dr}{dt} = 2\omega v_{ql} = a_c; \quad (15)$$

$$a_q = \frac{d^2 r}{dt^2} = \omega^2 r = a_{cl}, \quad (16)$$

где v_{ql} – относительная скорость частицы по отношению к лопасти;
 a_c – ускорение Кориолиса;
 a_{cl} – центростремительное ускорение.

Из векторной суммы a_T и a_q получим результирующее ускорение a_p , которое определяется длиной пути, пройденного частицей вдоль лопасти (ускорение a_p определяет величину скорости частицы).

Обозначим x – координата, направленная вдоль лопасти (рисунок 2, а). В таком случае $\dot{x} = \frac{dx}{dt} = v_{ql}$ – скорость вдоль лопасти, а $\ddot{x} = \frac{d^2 x}{dt^2} = a_{cl}$ – результирующее ускорение вдоль

лопасти. Скорость $v_{цл}$ можно определять без учета ускорения силы тяжести, что допустимо при достаточно большой скорости v_L .

Используя обозначения, приведенные на рисунке 2 и μ – коэффициент трения между частицей и лопастью, получим

$$a_{цл} = a_y \cos \sigma - \mu(a_y \sin \sigma + a_c) = \omega^2 r (\cos \sigma - \mu \sin \sigma) - 2\mu\omega g_{цл} \quad (17)$$

или

$$\ddot{x} = \omega^2 r (\cos \sigma - \mu \sin \sigma) = 2\mu\omega x. \quad (18)$$

Из чертежа (рисунок 2) имеем

$$r^2 = r_1^2 + x^2 - 2r_1 x \cos \rho \quad (19)$$

и

$$\frac{\sin \sigma}{r_1} = \frac{\sin \rho}{r}. \quad (20)$$

В таком случае

$$\begin{aligned} r(\cos \sigma - \mu \sin \sigma) &= \sqrt{r^2(1 - \sin^2 \sigma)} - \mu r_1 \sin \beta = \\ &= \sqrt{r_1^2 + x^2 - 2r_1 x \cos \rho - r_1^2 \sin^2 \rho} - \mu r_1 \sin \rho = \\ &= \sqrt{r_1^2 \cos^2 \rho + x^2 - 2r_1 x \cos \rho} - \mu r_1 \sin \rho = x - r_1 \cos \rho - \mu r_1 \sin \rho. \end{aligned} \quad (21)$$

После подстановки из уравнения (21) в уравнение (18) получим

$$\ddot{x} + 2\mu\omega\dot{x} - \omega^2 x + \omega^2 r_1 (\cos \rho + \mu \sin \rho) = 0. \quad (22)$$

Это есть линейное дифференциальное уравнение вида $\ddot{x} + 2A\dot{x} - Bx + C = 0$ с постоянными коэффициентами $A = \mu\omega$, $B = \omega^2$, $C = \omega^2 r_1 (\cos \rho + \mu \sin \rho)$ [4]

При начальных условиях ($t = 0$, $x = 0$, $\dot{x} = g_1$), где g_1 – окружная скорость частицы) решением уравнения (22) является

$$\begin{aligned} x = & \frac{\frac{g_1}{\omega} - r_1 (\cos \rho + \mu \sin \rho)(\sqrt{1 + \mu^2} + \mu)}{2\sqrt{1 + \mu^2}} e^{-(\sqrt{1 + \mu^2} - \mu)\omega t} - \\ & - \frac{\frac{g_1}{\omega} + r_1 (\cos \rho + \mu \sin \rho)(\sqrt{1 + \mu^2} - \mu)}{2\sqrt{1 + \mu^2}} e^{-(\sqrt{1 + \mu^2} + \mu)\omega t} + r_1 (\cos \rho + \mu \sin \rho). \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \dot{x} = g_{цл} = \omega \left[\left(\sqrt{1 + \mu^2} - \mu \right) \frac{\frac{g_1}{\omega} - r_1 (\cos \rho + \mu \sin \rho)(\sqrt{1 + \mu^2} + \mu)}{2\sqrt{1 + \mu^2}} \times \right. \\ \times e^{(\sqrt{1 + \mu^2} - \mu)\omega t} + (\sqrt{1 + \mu^2} + \mu) \times \\ \left. \times \frac{\frac{g_1}{\omega} + r_1 (\cos \rho + \mu \sin \rho)(\sqrt{1 + \mu^2} - \mu)}{2\sqrt{1 + \mu^2}} e^{-(\sqrt{1 + \mu^2} + \mu)\omega t} \right]. \end{aligned} \quad (24)$$

В рассматриваемой лопастной метательной машине частицы груза, подаваемые в торец ротора, падают по вертикали и подхватываются на лету лопастями. Поэтому угол поворота лопасти $\varphi = \omega t$ отсчитывают от вертикали. Считая радиус r_2 постоянным, видим, что при коротких, нормальных и длинных лопастях r_1 различно, следовательно, не одинакова и начальная

скорость $\mathcal{G}_1 = r_1 \omega$. Таким образом, величины μ и v_l , а также значения x и $\dot{x}$ (уравнения (19) и (21)) могут быть различными.

Известно, что тангенциальное бросание груза зависит от величины коэффициента трения μ и угла наклона лопасти a к рукоятке (рисунок 2, б). Если коэффициент трения незначителен, то тангенциальное бросание груза при наклоненных назад лопастях будет осуществляться при больших углах φ , чем у радиальных лопастей. С увеличением значения μ тангенциальное бросание осуществляется при углах φ , мало отличающихся один от другого при наклонённых назад и радиальных лопастях [6].

Обозначим τ – угол на корпусе ротора (рисунок 2, б), который характеризует положение конца лопасти в момент отрыва частицы груза от лопасти

$$\tau = (180^\circ - \rho - \sigma) + \varphi. \quad (25)$$

Если в этом месте сделать отверстие в кожухе, то бросание груза будет только тангенциальное с окружной скоростью лопастей v_l . Это обеспечивается при лопастях, наклоненных назад и коротких [5].

Когда частица груза подходит к отверстию корпуса со скоростью v_{ch} , то величина скорости бросания (рисунок 2, б)

$$\mathcal{G}_0 = \sqrt{\mathcal{G}_{ch}^2 \cos^2 \sigma + (\mathcal{G}_l + \mathcal{G}_{ch} \sin \sigma)^2}, \quad (26)$$

а направление скорости бросания определяется углом β

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\mathcal{G}_{ch} \cos \sigma}{\mathcal{G}_l + \mathcal{G}_{ch} \sin \sigma}. \quad (27)$$

Таким образом, уравнение движения центра масс гранулы примет вид

$$\begin{cases} x_A = \frac{\mathcal{G}_0^2}{2g} \sin 2\alpha_0 \\ y_A = \frac{\mathcal{G}_0^2}{2g} \sin^2 \alpha_0 \end{cases}. \quad (28)$$

Выводы.

1. Если в безвоздушном пространстве горизонтальная проекция скорости постоянна, то при свободном полете тела в воздухе, горизонтальная проекция скорости v убывает по мере удаления тела от точки бросания.

2. В безвоздушном пространстве траектория симметрична. Траектория свободного полета тела в воздухе не является симметричной кривой. Несимметричность проявляется тем больше, чем значительнее начальная скорость и парусность тела. Угол падения всегда больше угла бросания.

Траектория свободного полета тела в воздухе приближается к параболе, когда начальная скорость полета тела невелика, а парусность значительна. При этом минимум скорости свободного полета тела соответствует точке траектории, расположенной недалеко от вершины траектории.

3. В безвоздушном пространстве абсцисса вершины траектории соответствует половине дальности полета тела. При свободном полете тела в воздухе абсцисса вершины траектории всегда больше половины дальности полета тела.

4. В безвоздушном пространстве скорости бросания и падения равны. При свободном полете тела в воздухе конечная скорость меньше начальной.

Список литературы

1. ГОСТ 28714-90. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний. введ. 1991-07-01.-М: Стандартинформ, 2005.-14с.

2. Кукибный А.А. О причинах непостоянства величины и направления скоростей зерен, бросаемых зернометом. // Труды Киевского технологического института пищевой промышленности. – Вып. 24, 1961.-195с.

3. Баранов А.А. Ктеории измельчающего аппарата кормоуборочных машин. // Техника в сельском хозяйстве.– 1998. – №3. – С.13-17.

4. Долголенко А.А. Теория движения сыпучего материала по вращающемуся диску. // Труды Ленинградского института инженеров водного транспорта. – 1985. – Вып. 11. – 137 с.

5. Ужаков Т.М. Моделирование работы центробежных аппаратов для внесения минеральных удобрений на склонах. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И.И. Смирнова. – 2004. – С.126-127.

6. Шварц А.А., Шварц С.А. Экспериментально-теоретическое обоснование рабочего органа разбрасывателя удобрений. // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Курск: Юго-Западный гос. ун.. – 2019. – С.301-319.

References

1. GOST 28714-90. Mashiny i traktory sel'skhozaystvennyye i lesnye. Mashiny dlya vnesheniya tverdykh mineral'nykh udobreniy. Metody ispytaniy. vved. 1991-07-01.-M: Standartinform, 2005.-14s.

2. Kukibnyj A.A. O prichinakh nepostoyanstva velichiny i napravleniya skorostej zeren, brosaemykh zernometom. // Trudy Kievskogo tekhnologicheskogo instituta pishchevoj promyshlennosti. – Vyp. 24, 1961.-195s.

3. Baranov A.A. Kteorii izmel'chayushchego apparata kormoubochnykh mashin. // Tekhnika v sel'skom hozyajstve.– 1998. – №3. – S.13-17.

4. Dolgolenko A.A. Teoriya dvizheniya sypuchego materiala po vrashchayushchemusya disku. // Trudy Leningradskogo instituta inzhenerov vodnogo transporta. – 1985. – Vyp. 11. – 137 s.

5. Uzhakov T.M. Modelirovanie raboty centrobezhnykh apparatov dlya vnesheniya mineral'nykh udobreniy na sklonah. // Materialy Vserossiyskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya I.I. Smirnova. – 2004. – S.126-127.

6. SHvarc A.A., SHvarc S.A. Eksperimental'no-teoreticheskoe obosnovanie rabocheho organa razbrasyvatel'ya udobreniy. // Perspektivy razvitiya tekhnologiy obrabotki i oborudovaniya v mashinostroenii. Sbornik nauchnykh statej 4-j Vserossiyskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.- Kursk: YUgo-Zapadnyj gos. un.. – 2019. – S.301-319.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шварц Анатолий Адольфович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Шварц Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, директор ООО «Меридиан», Россия, г. Курск, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Секретарев Александр Петрович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Ветров Иван Юрьевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Information about authors

Organization affiliation

Shvarts Anatoly Adolfovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Shvarts Sergey – Candidate of Technical Sciences, Director of LLC “Meridian”, Russia Kursk, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Sekretarev Alexander – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Vetrov Ivan – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: vetrov2008@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 20.03.2020 Принята к публикации (Accepted): 23.04.2020