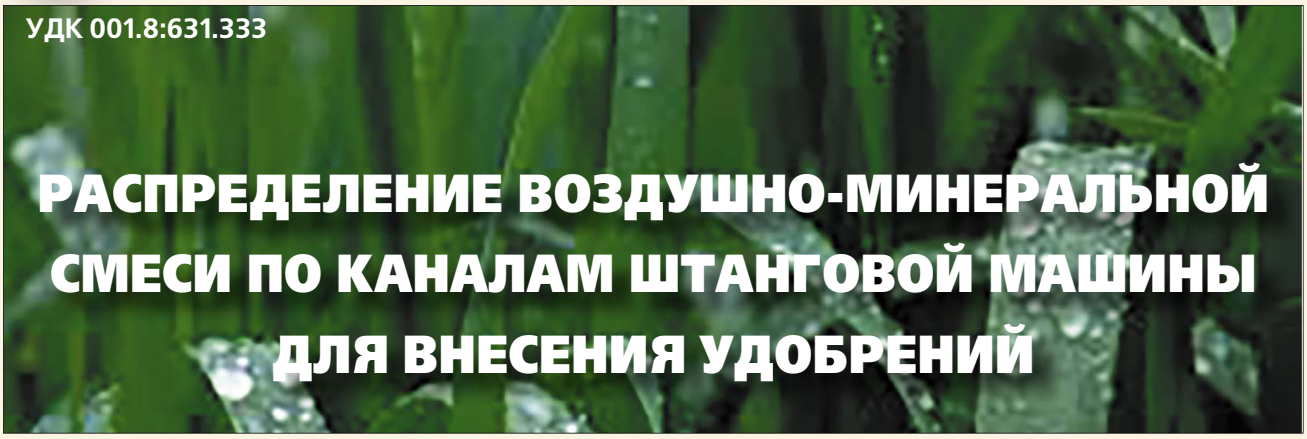
УДК 001.8:631.333



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУШНО-МИНЕРАЛЬНОЙ СМЕСИ ПО КАНАЛАМ ШТАНГОВОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

М.С.КУЛЕШОВ[1], *аспирант*,

В.А.МАКАРОВ[1], *докт. техн. наук, профессор*,

Н.М.МАРЧЕНКО[2], *докт. техн. наук, профессор*

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт механизации и информатизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства, e-mail: vnimsot7@mail.ru, г. Рязань, Российская Федерация

[2]Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, e-mail: vim-smit@rambler.ru, Москва, Российская Федерация

Многочисленными исследованиями установлено, что от характера распределения дозы удобрений по полю зависит средняя урожайность сельскохозяйственных культур. Неравномерность рассеивания удобрений значительно ухудшает отзывчивость растений, снижает технологические и биологические достоинства урожая, способствует накоплению нитратов в сельскохозяйственных культурах, а также приводит к загрязнению окружающей среды. Для распределения минеральных удобрений наибольшее распространение получили центробежные и штанговые аппараты, которые удовлетворительно вносят удобрения, но не обеспечивают требуемого качества распределения частиц по полю: неравномерность составляет 25 и 10 процентов соответственно. В этой связи разработка технологических процессов и рабочих органов машин, обеспечивающих процесс внесения удобрений, адаптированный к видам минерального питания растений, а также обоснование способов контроля и управления технологическими процессами остаются важной научной проблемой. Обосновали функции изменения диаметра эжекторов штанговых машин для внесения подкормочных и основных доз твердых минеральных удобрений. В результате исследования определили, что функция изменения диаметров эжекторов зависит от внутреннего диаметра штанги, профиля скорости воздушно-минеральной смеси вдоль штанги, количества эжекторов на штанге. В основных расчетах исходили из того, что для нормальной работы системы должно соблюдаться равенство входящего в штангу и выходящего через эжекторы потока воздушно-минеральной смеси, а создаваемое давление этой смеси можно подчинить уравнению Клайперона – Менделеева при изотермическом движении и записать в декартовой системе уравнений Эйлера.

Ключевые слова: *минеральные удобрения, внесение удобрений, воздушно-минеральная смесь, разбрасыватель штангового типа, эжектор.*

В настоящее время все большее распространение находят разбрасыватели минеральных удобрений штангового типа, основным преимуществом которых является наилучшая равномерность распределения удобрений по ширине захвата и по ходу движения машины. Однако теоретические исследования по распределению воздушно-минеральной смеси во всем объеме штанг недостаточно полно описаны в современной литературе [1, 2].

Цель исследования – теоретическое обоснование движения частиц удобрений по делителю потока удобрений при их сходе, перемешивании с воздухом и распределении воздушно-минеральной смеси по каналам штанговой машины для повышения равномерности рассеивания частиц удобрений по поверхности поля.

Материалы и методы. Методика исследований предусматривает анализ движения частиц в воздушно-минеральной среде удобрений и системе их распределения по каналам и эжекторам штанги машины и рассеивающей поверхности.

Результаты и обсуждение. При рассеивании удо-

брений по поверхности поля в машинах используют дозирующие, распределяющие и рассеивающие рабочие органы. Наилучшие результаты по равномерности распределения удобрений после выхода из дозирующего рабочего органа получаются с использованием штанговых аппаратов.

Принципиальная схема устройства машины для поверхностного рассеивания твердых минеральных удобрений представлена на *рисунке*.

При выходе из дозирующего аппарата частицы удобрения попадают на конусную верхнюю поверхность делителя потоков и, двигаясь по верхней части поверхности, при сходе с нее попадают в воздушный поток, создаваемый вентилятором. Форму и параметры верхней части делителя подбирают в соответствии с условием обеспечения максимальной скорости частицы в момент ее схода с поверхности, где удобрения, перемешиваясь с воздухом, поступают в каналы штанг. По длине штанг размещены эжекторы, через которые воздушно-минеральная смесь попадает на сферы рассеивания.

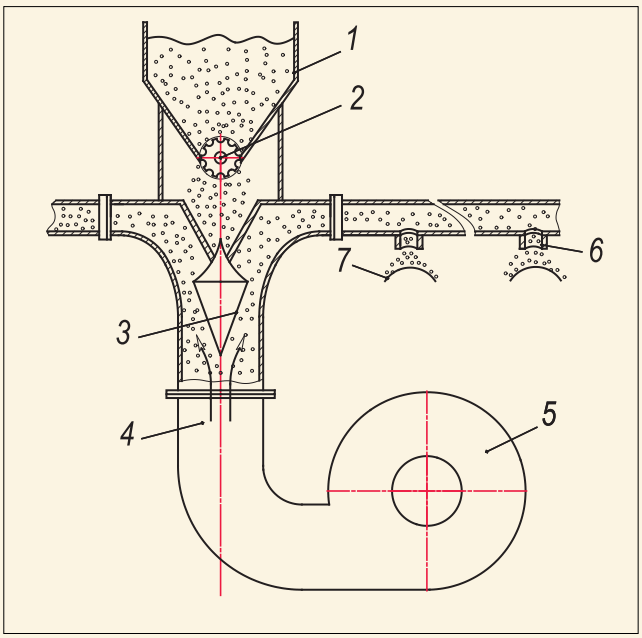


Рисунок. Принципиальная схема устройства для рассеивания удобрений: 1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – делитель потока; 4 – направление подачи воздуха; 5 – вентилятор; 6 – штанга с эжекторами; 7 – сферы рассеивания

Для теоретического обоснования вопроса рассмотрим модель истечения воздушно-минеральной смеси через эжекторы, установленные по длине штанги машины.

Эжекторы в штанге выполнены на равном расстоянии друг от друга и имеют одинаковый диаметр отверстий с таким расчетом, чтобы выходящий из них поток воздушно-минеральной смеси был ровным по всей длине штанги.

Входящий объемный поток, поступающий в штангу, распределяясь по эжекторам, должен быть равным сумме выходных потоков по эжекторам штанги:

$$Q_{\text{вых}} \geq \sum_{i=1}^{n} S_i v_i , \qquad (1)$$

где S_i – площадь сечения i-го эжектора, м^2;

V_i – скорость истечения через i-й эжектор, м/с;

n – количество эжекторов на штангах.

Создаваемое давление воздушно-минеральной смеси можно подчинить уравнению Клайперона-Менделеева при изотермическом движении $P = R_\rho T$ [3]:

$$\frac{d\rho}{dx} + \frac{d\rho v_x}{dx} + \frac{d\rho v_y}{dy} + \frac{d\rho v_z}{dz} = 0 , \qquad (2)$$

где ρ – плотность потока смеси, *кг/м*^{3},

$$\frac{d\rho}{dx} + \rho\frac{dv_x}{dx} + v_x\frac{d\rho}{dx} = 0. \qquad (3)$$

Тогда уравнения неразрывности потока (2) и (3) можно записать как:

$$\frac{dv_x}{dt} + V_x\frac{dv_x}{dx} = F - \frac{1}{\rho}\frac{d\rho}{dx} , \qquad (4)$$

где F – внешняя массовая сила *(кг·м·с*$^{-2}$*)*, действующая на входе в штангу со стороны вентилятора. Она может быть представлена в виде:

$$F = \rho S v_0^{\,2} , \qquad (5)$$

где S – площадь сечения штанги.

Начальное условие системы запишем в виде:

$v(t=0) = v_0$; $v(x) = 0$.

Тогда давление на входе в эжекторы штанги можно записать как:

$$P(x=0) = P\frac{\rho v_0^{\,2}}{2} + P_{\text{атм}} . \qquad (6)$$

Давление на закрытом конце трубы можно вычислить, предположив, что воздушно-минеральная смесь движется к концу штанги со скоростью, меняющейся в результате потери энергии, в частности из-за трения о стенки штанги и наличия вязкого трения. Силу трения в штанге можно записать как:

$$F_{\text{тр}} = \rho S v_0^{\,2} - \rho S v^2 . \qquad (7)$$

Записав силу трения через коэффициенты скоростей напряжений и деформации, получим:

$$F_{\text{тр}} = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho}\frac{d^2 v_x}{dx^2} + \frac{\lambda + \mu}{2\rho}\frac{d\bar{v}_x}{dx} , \qquad (8)$$

где $\bar{v}$ – средняя скорость движения потока воздушно-минеральной смеси по сечению штанги машины для внесения, м/с.

В итоге имеем уравнение:

$$\frac{dv_x}{dt} + V_x \frac{dv_x}{dx} = F - \frac{dp}{\rho dx} + \frac{\lambda + 2\mu d^2 x}{\rho} \frac{v_x}{dx}. \quad (9)$$

У стенок штанги давление воздушно-минеральной смеси будет определяться всем ее объемом, дошедшим за время τ до ее конца.

Возвращаясь к нахождению зависимости диаметров отверстий эжекторов от координат x по длине штанги, из условия (2) имеем:

$$\frac{1}{n} d_0 v_0 = d^2(x) v(x). \quad (10)$$

Отсюда:

$$d(x) = \frac{d_0}{\sqrt{u(x)n}},$$

где $d(x)$ – функция изменения диаметров эжекторов;

d_0 – внутренний диаметр штанги, м;

$u(x)$ – профиль скорости воздушно-минеральной смеси вдоль штанги;

n – количество эжекторов в штанге.

Выводы

1. Предложена принципиальная схема устройства к машине для поверхностного рассеивания твердых минеральных удобрений, которая может быть реализована на практике.

2. Установлено, что давление, создаваемое вентилятором на входе в штанги, должно быть равным сумме давлений на выходе из эжекторов.

3. Создаваемое давление воздушно-минеральной смеси подчиняется закону Клайперона-Менделеева.

4. Установлена зависимость параметров эжекторов от длины штанги.

Литература

1. Батурин В.А., Личман Г.И. Обоснование параметров пневмосистемы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 6. – С. 26-30.

2. Кулешов М.С. К вопросу создания машины для подкормки зерновых культур // Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства: Сб. науч. тр. / Рязань: ВНИМС, 2013. – С. 126-130.

3. Стромберг А.Г., Семченко Д.В. Физическая химия. 7-е изд. – М.: Высшая школа, 2009. – 527 с.

4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика // Теоретическая физика. – Т. 4. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 1988. – 736 с.

5. Хмыров В.Д., Куденко В.Б., Труфанов Б.С. Исследование распределения воздушного потока в трубах биоферментатора // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 1.– С. 41-42.

References

1. Baturin V.A., Lichman G.I. Obosnovanie parametrov pnevmosistemy mashiny dlya differentsirovannogo vneseniya mineral'nykh udobreniy [Justification of parameters of a pneumatic system of the machine for the differentiated application of mineral fertilizers] Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2011. No. 6. pp. 26-30 (Russian).

2. Kuleshov M.S. K voprosu sozdaniya mashiny dlya podkormki zernovykh kul'tur [Revisited creation of the machine for grain crops feeding]. Problemy mekhanizatsii agrokhimicheskogo obsluzhivaniya sel'skogo khozyaystva: Sb. nauch. tr. Ryazan': VNIMS, 2013. pp. 126-130 (Russian).

3. Stromberg A.G., Semchenko D.V. Fizicheskaya khimiya [Physical chemistry]. 7-e izd. Moscow: Vysshaya shkola, 2009. 527 pp. (Russian).

4. Landau L.D., Lifshits E.M. Gidrodinamika. Teoreticheskaya fizika [Hydrodynamics. Theoretical physics]. T.4. Moscow: FIZMATLIT, 1988. 736 pp. (Russian).

5. Khmyrov V.D., Kudenko V.B., Trufanov B.S. Issledovanie raspredeleniya vozdushnogo potoka v trubakh biofermentatora [Research of distribution of an air stream in biofermenter pipes]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2009. No. 1. pp. 41-42 (Russian).

DISTRIBUTION OF AIR AND MINERAL MIXTURE BY MEANS OF THE CHANNELS OF A BOOM APPLICATOR FOR FERTILIZERS APPLICATION

M.S.Kuleshov[1], post-graduate student, **V.A.Makarov**[1], D.Sc.(Eng.), professor, **N.M.Marchenko**[2], D.Sc.(Eng.), professor

[1]All-Russian Research Institute of Mechanization and Informatization of Agrochemical Support of Agriculture, e-mail: vnimsot7@mail.ru, Ryazan, Russian Federation

[2]All-Russian Research Institute of Mechanization for Agriculture, vim-smit@rambler.ru, Moscow, Russian Federation

Numerous studies established that the average crop yield depends on the nature of distribution of fertilizer doses in the field. Unevenness of fertilizers diffusion of considerably worsens plants responsiveness, reduces technological and biological advantages of a yield, promotes accumulation of nitrates in crops, and also leads to environmental pollution. For distribution of mineral fertilizers centrifugal and rod units that adequately apply fertilizers but don't guarantee the required quality of particle distribution on the field are most popular. However nonuniformity makes 25 and 10 percent respectively. In this regard the working out of technological processes and work tools for machines ensuring application of fertilizers adapted to the types of plants mineral nutrition and substantiation of means of control and management of technological processes are a significant scientific problem. The functions of the variation in the ejectors diameter in boom applicators for applying of additional and basic doses of solid mineral fertilizers were substantiated. As the result it was defined that the function of the ejectors diameter variation depends on the inner diameter of the rod, speed profile of the air and mineral mixture moving along the rod, the number of ejectors on the rod. Basic calculations were derived from the fact that for the normally system operate equality of air and mineral mixture stream entering and leaving the rod through the ejectors should be retained. The created pressure of the air and mineral mixture could be approximated by the Clapeyron – Mendeleev equation in isothermal movement and written in the Descartes' system of Euler equations.

Keywords: *Mineral fertilizers; Fertilizers application; Air and mineral mixture; Boom applicator; Ejector.*

НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Журнал **«Сельскохозяйственные машины и технологии»** входит в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук по следующей тематике:
- *сельскохозяйственные науки;*
- *сельскохозяйственные машины и технологии;*
- *механизация, электрификация и автоматизация сельского хозяйства;*
- *экономика сельского хозяйства.*

Журнал включен в систему Российского индекса цитирования и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству AGRIS. Электронные версии журнала размещаются на сайтах Российской универсальной научной электронной библиотеки.

Статья, направленная в журнал для публикации, должна соответствовать основной тематике журнала.

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, **набранные в Word шрифтом 14 пт. через 1,5 интервала, не более 10 страниц**.

Необходимо приложить рецензию на статью.

Статьи аспирантов печатаются бесплатно.

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в *СИ*. Графические материалы должны быть приложены в виде отдельных файлов: фотографии – *jpg* или *tif* с разрешением *300 dpi*, графики, диаграммы – в *eps* или *ai*. Все графические материалы, рисунки и фотографии должны быть пронумерованы, подписаны и иметь ссылку в тексте.

Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны символами в редакторе формул *Microsoft Word*, без использования специальных редакторов. Не допускается набор: часть формулы символами, а часть в редакторе формул. **Если формулы заимствованы из других источников, то не следует приводить в них подробных выводов: авторы формул это уже сделали, повторять их не надо. Ссылки на обозначения формул обязательны. Статья должна содержать не более 10 формул, 3-4 иллюстрации, 3-4 таблицы, размер таблиц не более 1/2 страницы.**

В каждой статье должны быть указаны следующие данные:
- *название статьи;*
- *фамилия и инициалы автора(ов);*
- *e-mail автора, контактный телефон;*
- *место работы автора (аббревиатуры не допускаются), почтовый адрес;*
- *ученая степень, ученое звание автора;*
- *реферат (объем 200-250 слов);*
- *ключевые слова;*
- *литература.*

Статью следует структурировать, обязательно указав следующие разделы:
- *Введение (актуальность);*
- *Цель исследований;*
- *Материалы и методы;*
- *Результаты и обсуждение;*
- *Выводы.*

Списки литературы **(до 10 источников за последние 5 лет)** следует оформлять по ГОСТ Р 7.05-2008.

Статьи, поступившие в редакционный отдел, направляются на рецензирование. Отрицательная рецензия является основанием для отказа публикаций статьи.

Реферат

Реферат – это самостоятельный законченный материал. Вводная часть минимальна. Нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследований, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы.

Объем реферата – 200-250 слов. Необходимо применять следующие слова: исследовали, провели, показали, доказали, установили, получили. Нельзя использовать аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы).

На английский язык следует перевести:
- *название статьи;*
- *полное название научного учреждения;*
- *реферат и ключевые слова;*
- *названия литературных источников.*

Машинный перевод недопустим!

Рукопись статьи должна быть подписана лично авторами. Автор несет юридическую и иную ответственность за содержание статьи. **Несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.**