

Пневматическая штанговая машина для рассеивания твердых минеральных удобрений

Валентин Алексеевич Макаров¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: va_makarov@rambler.ru;

Ольга Ивановна Журавлева²,
старший научный сотрудник;
Александр Владимирович Шемякин¹,
доктор технических наук, доцент

¹Рязанский государственный агроинженерный университет, г. Рязань, Российская Федерация;

²Институт технического обеспечения сельского хозяйства – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, г. Рязань, Российская Федерация

Реферат. В мировой практике для внесения твердых минеральных удобрений почти 90 процентов машин используют высевальные аппараты броскового типа. Показали, что наилучшими показателями обладают зернотуковые сеялки, у которых неравномерность внесения удобрений составляет около 10 процентов. Подтвердили, что из-за небольшой ширины захвата производительность этих машин недостаточна. На практике их не используют для внесения основной дозы удобрений при подготовке почвы под посев. (*Цель исследования*) Создать пневматическую штанговую машину, позволяющую повысить равномерность рассева удобрений при внесении основной дозы и подкормке по вегетирующим растениям. (*Материалы и методы*) Получили зависимости, позволяющие определить рациональные конструктивно-кинематические параметры устройства дозирования и распределения удобрений через эжекторы и рассеивающие поверхности с использованием законов и методов классической механики и математики. Провели экспериментальные исследования на разработанном и изготовленном образце. Проверили его работоспособность в полевых условиях по стандартным и частным методикам. Определили, что на качество рассева удобрений пневматической штанговой машиной основное влияние оказывают равномерность подачи их катушечными аппаратами в воздушную струю, в штанги с отверстиями и характер распределения удобрений по эжекторам в зависимости от расстояния между ними. (*Результаты и обсуждение*) Установили закономерности транспортирования и дозирования удобрений катушечными высевальными аппаратами с обоснованием метода и способа распределения воздушно-минеральной смеси по каналам штанги. Получили математическое описание процессов внесения минеральных удобрений с учетом качественных показателей равномерности рассеивания их по поверхности поля. Отметили, что неравномерность распределения удобрений при соответствующей длине штанг соответствует расчетным нормам. (*Выводы*) Выявили, что в полевых испытаниях машины неравномерность внесения аммиачной селитры составила 8 процентов. Установили, что уже на стадии проектирования машин можно оценить показатели неравномерности в зависимости от качества дозирования и расстояния между высевальными эжекторами.

Ключевые слова: штанговая машина, эжекторы, удобрения, равномерность рассеивания, математические зависимости.

■ **Для цитирования:** Макаров В.А., Журавлева О.И., Шемякин А.В. Пневматическая штанговая машина для рассеивания твердых минеральных удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 30-33. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-30-33.

Pneumatic Sucker-Rod Machine for Dispersing Solid Mineral Fertilizers

Valentin A. Makarov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
e-mail: va_makarov@rambler.ru;

Olga I. Zhuravleva²,
senior research engineer;
Aleksandr V. Shemyakin¹,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor

¹Ryazan State Agroengineering University, Ryazan, Russian Federation;

²Institute of Technical Support for Agriculture – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Ryazan, Russian Federation

Abstract. In the world practice of introducing solid mineral fertilizers, almost 90 percents of the machines used are equipped with throw-type seeding units. It has been proved that seed drills have shown the best performance, as their irregularity of



fertilizer application is about 10 percents. It has been still confirmed that their small width of application results in insufficient productivity, and in practice they are not used for introducing the main amount of fertilizers in pre-sowing soil preparation. (*Research purpose*) Designing a pneumatic sucker-rod machine providing for increased uniformity of fertilizer dispersing when introducing the main amount of fertilizers and further dressing vegetative plants. (*Materials and methods*) The authors obtained relationships allowing to determine rational constructive-and-kinematic parameters of a device for fertilizer metering and distributing through ejectors and dispersing surfaces using the laws and methods of classical mechanics and mathematics. Experimental studies were carried out using a developed and manufactured sample, and testing its operability in field conditions using standard and specific techniques. It was determined that the quality of fertilizer dispersing with a pneumatic sucker-rod machine is mainly affected by the uniformity of their supply by reel-type units to the air stream and rods with holes, and the pattern of fertilizer distribution to ejectors depending on the distance between them. (*Results and discussion*) The authors have made patterns of fertilizer transportation and metering with reel-type sowing units and determined the method and pattern of distributing an air-mineral mixture through the rod channels. The authors obtained a mathematical description of the processes of mineral fertilizer application, taking into account the qualitative indicators of their uniform dispersion over the field surface. It was noted that the uneven distribution of fertilizers when the rod length is appropriate corresponds to the design standards. (*Conclusions*) The authors have revealed that the rate of distribution unevenness of ammonium nitrate amounted to 8 percents. It has been found that even at the machinery designing stage it is possible to evaluate performance indicators in terms of unevenness depending on the metering quality and the distance between sowing ejectors.

Keywords: sucker-rod machine, ejectors, fertilizers, dispersion uniformity, mathematical relationships

For citation: Makarov V.A., Zhuravleva O.I., Shemyakin A.V. Pnevmaticheskaya shtangovaya mashina dlya rasseivaniya tverdykh mineral'nykh udobreniy [Pneumatic sucker-rod machine for dispersing solid mineral fertilizers]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 30-33 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-30-33.

При определении качественных показателей машин для внесения твердых минеральных удобрений особое внимание уделяется вопросам равномерности рассева частиц по поверхности поля (Pat. WO 02/090223 A2) [1-3]. Для машин с рабочими органами броскового типа важное значение имеют гранулометрический состав удобрений, равномерность подачи их высевальными аппаратами, влажность воздуха, направление и скорость ветра относительно оси движения агрегата по полю.

Цель исследования – создать пневматическую штанговую машину, позволяющую повысить равномерность рассева удобрений при внесении основной дозы и подкормке по вегетирующим растениям.

Материалы и методы. Для решения проблемы повышения равномерности поверхностного рассева твердых минеральных удобрений и устранения имеющихся недостатков у существующих разбрасывателей можно использовать пневматическую машину со штанговыми рабочими органами (рис. 1).

Результаты и обсуждение. На качество рассева удобрений пневматической машиной, оснащенной штангой с отверстиями по всей длине, основное влияние оказывают равномерность подачи удобрений катушечными аппаратами в воздушную струю, создаваемую вентилятором, а также в отверстия (эжекторы). Учитывают и характер распределения удобрений в зависимости от расстояния между этими эжекторами (рис. 2).

Провели теоретические и экспериментальные исследования для определения зависимостей, позволя-

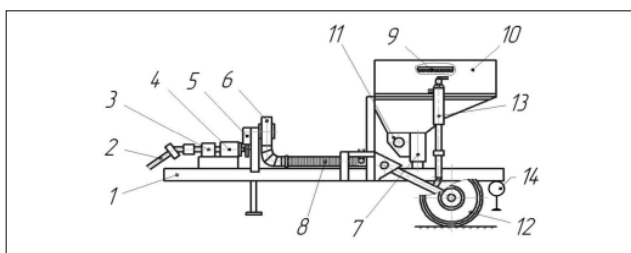


Рис. 1. Принципиальная схема пневматической штанговой машины для рассеивания твердых минеральных удобрений:

1 – рама; 2 – карданный вал; 3 – обгонная муфта; 4 – эластичная муфта; 5 – ременная передача; 6 – вентилятор; 7 – смесительная камера; 8 – воздуховод; 9 – распределитель удобрений; 10 – бункер; 11 – высевальный аппарат; 12 – опорное колесо; 13 – гидроцилиндр; 14 – штанга с рассеивателями

Fig. 1. Schematic diagram of a pneumatic sucker-rod machine for dispersing solid mineral fertilizers:

1 – frame; 2 – driveshaft; 3 – overrunning clutch; 4 – elastic coupling; 5 – belt drive; 6 – fan; 7 – mixing chamber; 8 – air duct; 9 – fertilizer spreader; 10 – fertilizer tank; 11 – sowing unit; 12 – support wheel; 13 – hydraulic cylinder; 14 – rod with dispersers

ющих получить рациональные конструктивно-кинематические параметры устройства дозирования и распределения удобрений через эжекторы и рассеивающие поверхности с использованием законов и методов классической механики и математики [4, 5]. Если известны неравномерность подачи удобрений в воздушный поток к высевальным эжекторам, характер их распределения и подачи воздушно-минераль-

ной смеси на рассеиватели, то качество распределения частиц удобрений в зависимости от расстояния между эжекторами можно оценить еще на стадии разработки конструкции для штанговых машин и своевременно внести необходимые коррективы в их конструкцию [6-10].

Неравномерность дозирования удобрений в высевующие эжекторы характеризуется средней подачей m_y и среднеквадратическим отклонением σ_y . Этот показатель определяют по результатам эксперимента.

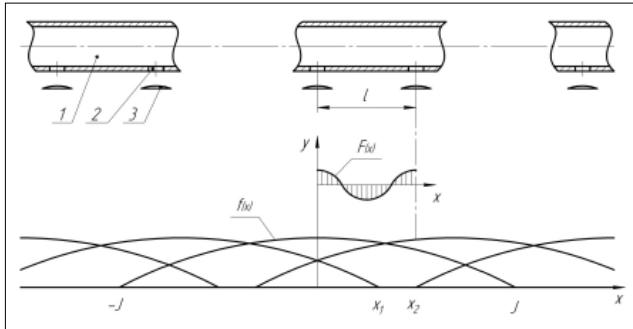


Рис. 2. Схема к определению неравномерности рассева удобрений по ширине захвата:

1 – штанга; 2 – высевующие эжекторы; 3 – рассеиватели

Fig. 2. Scheme to determine uneven dispersing of fertilizers along the operating width:

1 – rod; 2 – sowing ejectors; 3 – dispersers

Распределение удобрений рассеивателями можно описать функциональной зависимостью вида $y=f(x)$, что позволяет аналитическим методом выявить неравномерность распределения при изменении расстояния между эжекторами. Тогда на участке между двумя смежными эжекторами распределение удобрений описываем следующими зависимостями:

$$f(x) + f(x-l); \quad \text{при } 0 \leq x \leq x_1; \quad (1)$$

$$F(x) = \begin{cases} f(x) + f(x-l) \\ \text{при } x_1 \leq x \leq x_2; \end{cases}$$

$$f(x) + f(x-l) + f(x-2l) \quad \text{при } x_2 \leq x \leq l$$

где l – расстояние между смежными эжекторами, м.

Среднее значение функции $F(x)$ на этом участке представим в виде:

$$\bar{y} = \frac{1}{l} \int_0^l F(x) dx. \quad (2)$$

Определенный интеграл функции $F(x)$ на отрезке l равен определенному интегралу функции $f(x)$ на отрезке $[-Z, Z]$, поэтому среднее значение функции $F(x)$ можно вычислить по формуле:

$$\bar{y} = \frac{1}{l} \int_{-s}^z f(x) dx, \quad (3)$$

где $\int_{-z}^z f(x) dx$ соответствует средней подаче удобрений в высевующий эжектор \bar{m}_D , поэтому $\bar{y} = m_D / l$.

Среднее квадратическое отклонение распределения удобрений эжекторами по ширине σ_p захвата можно представить в виде:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l [F(x) - \bar{y}]^2 dx}. \quad (4)$$

Вычислим среднее квадратическое отклонение распределения удобрений по поверхности поля с учетом неравномерности подачи их в эжекторы:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{dl}^2 + \sigma_p^2 + 2r_{dp} \sigma_{dl} \sigma_p}, \quad (5)$$

где σ_{dl} – среднеквадратическое отклонение поступления удобрений в эжекторы;

r_{dp} – коэффициент корреляции подачи удобрения в эжекторы.

Таким образом, неравномерность распределения удобрений на поверхности поля по ширине захвата машины примет вид зависимости:

$$N_p = \sqrt{\sigma_{dl}^2 + \sigma_p^2 + 2r_{dl} \sigma_{dl} \sigma_p} \cdot 100 / \bar{y}, \quad (6)$$

где N_p – ширина захвата машины, м.

Неравномерность рассева удобрения по поверхности поля равна сумме неравномерности дозирования по эжекторам.

Выводы. Предложенный метод определения неравномерности рассева удобрений может быть использован при разработке конструкции в пневматическом рассеивателе удобрения с эжекторами по длине штанг. При испытаниях в полевых условиях неравномерность внесения аммиачной селитры и аммофоса составила 6-7% (при общей длине штанг 12 м и норме внесения 600 кг/га), что несколько ниже по сравнению с машинами, оборудованными бросковыми рабочими органами и утвержденными агротребованиями к ним.

Определили, что неравномерность рассева удобрений пневматическим рассеивателями позволяет уже на стадии проектирования оценить показатели по неравномерности в зависимости от расстояния между высевующими эжекторами. Характер распределения аммиачной селитры по ширине захвата устанавливается по результатам опытов.

При проверке пневматического рассеивателя в производственных условиях неравномерность рассеивания аммиачной селитры составила по длине штанги в пределах 7,5-8,0%, при общей ширине штанг 12 м и дозах внесения 200 и 600 кг/га, что свидетельствует об удовлетворительном совпадении результатов. Определение неравномерности рассева твердых минеральных удобрений по поверхности поля с учетом неравномерности подачи их в высевующие эжекторы позволяет оценивать качественные показатели работы машины в целом.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров В.А., Ходакова Т.А. О некоторых направлениях научно-прикладных исследований и разработок по совершенствованию сферы химизации сельского хозяйства региона // *Вестник РГАТУ*. 2011. N2. С. 19-21.
2. Кулешов М.С., Макаров В.А., Марченко Н.М. Исследование вопроса распределения воздушно-минеральной смеси по каналам штанговой машины для внесения удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N2. С. 34-36.
3. Измайлов А.Ю., Макаров В.А. К вопросу обоснования технико-экономического уровня сельскохозяйственных машин и оборудования // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N3. С. 17-19.
4. Лачуга Ю.Ф. Научно-методическое обеспечение развития фундаментальных и поисковых научных исследований в области сельского хозяйства // *АПК: Экономика, управление*. 2015. N2. С. 3-11.
5. Лачуга Ю.Ф., Ксендзов В.А. Теоретическая механика. М.: Колос. 2005. 576 с.
6. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N6. С. 6-10.
7. Степук Л.Я., Жешко А.А. Построение машин химизации земледелия. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. 2012. 442 с.
8. Pakma G., Calil Junior C. Propriedades fisicas de alguns produtos armazenados. *Revista Brasileira de Armazenamento*. 2005. Vol. 30. N1. 65-72.
9. Patterson D.E. The effect of slope on the transverse distribution pattern of fertilizer broadcaster. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2004. N2. Vol. 9. 169-173.
10. Fronlich G., Broker K.-H., Rodel G. Computer Parcel Dispatcher with computer spreader for Exaktersuche. *Agricultural Engineering*. 2007. Vol. 62. N3. 150-151.

REFERENCES

1. Makarov V.A., Khodakova T.A. O nekotorykh napravleniyakh nauchno-prikladnykh issledovaniy i razrabotok po sovershenstvovaniyu sfery khimizatsii sel'skogo khozyaystva regiona [On some areas of applied research and development to improve the chemicalization of regional agriculture]. *Vestnik RGATU*. 2011. N2. 19-21 (In Russian).
2. Kuleshov M.S., Makarov V.A., Marchenko N.M. Issledovanie voprosa raspredeleniya vozduшно-mineral'noy smesi po kanalam shtangovoy mashiny dlya vnesheniya udobreniy [Study of the distribution of the air-mineral mixture in the channels of a sucker-rod applicator]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N2. 34-36 (In Russian).
3. Izmaylov A.Yu., Makarov V.A. K voprosu obosnovaniya tekhniko-ekonomicheskogo urovnya sel'skokhozyaystvennykh mashin i oborudovaniya [To the issue of the technical-and-economic feasibility study of agricultural machines and equipment]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N3. 17-19 (In Russian).
4. Lachuga Yu.F. Nauchno-metodicheskoe obespecheniye razvitiya fundamental'nykh i poiskovykh nauchnykh issledovaniy v oblasti sel'skogo khozyaystva [Scientific and methodological support of the development of basic and exploratory research in the field of agriculture]. *APK: Ekonomika, upravlenie*. 2015. N2. 3-11 (In Russian).
5. Lachuga Yu.F., Ksendzov V.A. Teoreticheskaya mekhanika [Theoretical mechanics]. Moscow: Kolos. 2005. 576 (In Russian).
6. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Sistema mashin i tekhnologii dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machines and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. N6. 6-10 (In Russian).
7. Stepuk L.Ya., Zheshko A.A. Postroyeniye mashin khimizatsii zemledeliya [Design of machines for chemicalization of agriculture]. Minsk: NPTS NAN Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva. 2012. 442 (In Russian).
8. Pakma G., Calil Junior C. Propriedades fisicas de alguns produtos armazenados. *Rer. Brasil. Armazenamento*. 2005. Vol. 30. N1. 65-72 (In English).
9. Patterson D.E. The effect of slope on the transverse distribution pattern of fertilizer broadcaster. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2004. N2. Vol. 9. 169-173 (In English).
10. Fronlich G., Broker K.-H., Rodel G. Computer Parcel Dispatcher with computer spreader for Exaktersuche. *Agricultural Engineering*. 2007. Vol. 62. N3. 150-151 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 08.02.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 08.02.2019

Статья принята к публикации 10.06.2019
The paper was accepted
for publication on 10.06.2019