

Научная статья
УДК 631.8

Теоретические исследования движения частицы удобрения в закрытом наклонном воздушном канале

Александр Юрьевич Попенко

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской аграрный университет»

Аннотация. Эффективность изучения энергосберегающих приёмов внесения заданных доз концентрированных органических удобрений (КОУ) со специфичными физико-механическими свойствами в различных почвенно-климатических условиях России при возделывании сельскохозяйственных культур актуальна на сегодняшний день. В практическом исполнении используются разбрасыватель с высевающим аппаратом броскового типа. Недостатком существующих разбрасывающих рабочих органов является несоответствие их конструкции по физико-механическим свойствам КОУ. В результате наблюдается неравномерность внесения удобрений – 25 %. Объектом исследования стал экспериментальный разбрасыватель типа МВУ (РУМ) для поверхностного внесения удобрений по поверхности поля с дозой внесения удобрений от 1 до 4 т/га, оснащённый донным транспортёром и пневмоцентробежным распределяющим рабочим органом. Недостатком пневмоцентробежного рабочего органа является неравномерность в граничных зонах внесения удобрения между дисковым аппаратом и пневматическим выбросом. Данный недостаток устраняется путём внедрения в пневматический жёлоб регулирующих заслонок, регулирующих потоки вносимых удобрений. В результате исследования получены математические зависимости, описывающие процесс движения частицы и её выброса из закрытого наклонного воздушного канала с учётом изменения угла наклона от 15° до 45°, и регулирующей задвижки с углом наклона от 0° до 10°. Определены траектории

метания частиц в воздушном пространстве с учётом сопротивления воздуха. Установлено, что с учётом парусности и сопротивления воздушной среды дальность полёта частицы составляет от 7,72 до 9,34 м. Показатель эффективности технологической машины в сочетании с механическим и пневматическим воздействием на частицу удобрений при внесении даст желаемый результат, т.е. качественное распределение удобрений независимо от их гранулометрического состава и характеристик.

Ключевые слова: воздушный поток, регулирующая задвижка, разбрасыватель удобрений, концентрированное органическое удобрение, воздушный канал.

Для цитирования: Попенко А.Ю. Теоретические исследования движения частицы удобрения в закрытом наклонном воздушном канале // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 118–122.

Original article

Theoretical studies of the movement of a fertilizer particle in a closed inclined air duct

Alexander Yu. Popenko

Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don Agrarian University

Abstract. Therefore, the effectiveness of studying energy-saving methods of applying given doses of concentrated organic fertilizers (COF) with specific physical and mechanical properties in various soil and climatic conditions in Russia during the cultivation of agricultural crops is relevant today. In practical implementation, a spreader with a throw-type sowing device is used. The disadvantage of the existing spreading working bodies is the discrepancy between their design in terms of the physical and mechanical properties of the KOU. As a result, there is an uneven fertilization – 25 %. The object of the study is an experimental spreader of the type (RUM, MVU) for surface application of fertilizers on the surface of the field with a dose of fertilization from 1 to 4 t/ha, equipped with a bottom conveyor and pneumatic centrifugal distributing working body. The disadvantage of the pneumatic centrifugal working body is the unevenness in the boundary zones of fertilization between (disk apparatus and pneumatic discharge). This disadvantage is eliminated by introducing regulating dampers into the pneumatic chute that regulate the flow of fertilizers applied. As a result of the study, mathematical relationships were obtained that describe the process of particle motion and its ejection from a closed inclined air channel, taking into account the change in the angle of inclination from 15° to 45°, and a control valve with an angle of inclination from 0° to 10°. The trajectories of particle throwing in the air space were determined taking into account the air resistance. It has been established that, taking into account windage and air resistance, the flight range of a particle is from 7.72 to 9.34 m.e. qualitative distribution of fertilizers regardless of their particle size distribution and characteristics.

Keywords: air flow, control valve, fertilizer spreader, concentrated organic fertilizer, air duct.

For citation: Popenko A. Yu. Theoretical studies of the movement of a fertilizer particle in a closed inclined air duct. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 88(2): 118–122. (In Russ.).

В настоящее время значительно снизились объёмы внесения органических удобрений, что негативно сказывается на почвенном плодородии. Для повышения почвенного плодородия эффективным является внесение концентрированных органических удобрений, разновидностью которых является удобрение марки «Агровит-Кор», обладающее пылевидной структурой (более 90 % частиц составляют размер до 1 мм, влажность 45–55 %) [1–4].

Ввиду несоответствия конструкции разбрасывающих органов серийных машин физико-механическим свойствам концентрированных органических удобрений (КОУ) качественное внесение их весьма затруднено.

Для решения данной задачи предлагается конструкция технологической машины с пневмоцентробежным рабочим органом, обеспечивающей дозы внесения КОУ от 1 до 4 т/га на базе серийных машин типа МВУ (РУМ) [1, 3].

Целью исследования является теоретическое обоснование движения частицы удобрения при пневматическом выбросе её из технологической машины в закрытом наклонном канале.

Материал и методы. Лабораторная установка для внесения КОУ (рис. 1) содержит вентилятор высокого давления (1), загрузочное устройство (2), воздухопровод (3), с возможностью изменения угла наклона к горизонту 15°, 30° и 45°, с установленной в нём регулировочной заслонкой (4).

Распределение удобрения задаётся с помощью угла наклона воздухопровода в диапазоне 15°, 30° и 45°. Полное управление качеством внесения удобрений достигается внедрением подвижной регулирующей заслонки в воздуховоде, которая позволяет изменять траекторию полёта частиц удобрения за счёт изменения её угла наклона, обеспечивая равномерное распределение удобрений по поверхности поля в зоне стыковки выбросов между высевающим дисковым и пневматическим внесением.

В качестве исходных параметров был взят стандартный воздухопровод прямоугольного сечения с регулировочной заслонкой у нижнего основания. Воздушный поток осуществляется с помощью вентилятора высокого давления.

Результаты исследования. Принято допущение, что скорость воздушного потока по

сечению воздуховода равномерная. При попадании частицы удобрения с донного транспортёра в воздуховод наблюдается закрученный воздушный поток под воздействием внешних сил (аэродинамического сопротивления среды F_B и силы тяжести G), а также с учётом размеров частицы удобрений.

Учитываемый диаметр частицы удобрения достаточно мал. Плотность воздуха значительно меньше плотности частицы удобрения, подъёмная сила которого обусловлена вращением частицы удобрения при движении в воздушном потоке, меняет траекторию по направлению к угловой скорости вращения частицы [5–8] (рис. 2).

Полёту частицы с вращением по часовой стрелке (рис. 2 А), по восходящей ветви траектории препятствуют силы лобового сопротивления воздуха (R) и силы тяжести частицы (G). Равнодействующая (Q) сил (R) и (G) может быть разложена на силы, стремящиеся опустить частицу (P_2) до (Q_2), т.е. уменьшить высоту подъёма и силу (Q_1), тормозящую метание частицы по горизонтальной плоскости. Также возникает подъёмная сила (P). Сила (P_1) стремится уменьшить влияние силы (Q_1), т.е. увеличить дальность бросания частицы. Следовательно, при полёте частиц по восходящей ветви траектории и вращении по часовой стрелке под действием подъёмной силы (P) может уменьшаться высота метания.

Полёт частицы по нисходящей ветви траектории показан на рисунке 2 Б. Под действием подъёмной силы (P) частица опускается по более крутой траектории.

Частица удобрения, движущаяся в потоке воздуха при контакте с регулируемой заслонкой,

отражается от неё с прежней по величине и противоположной по направлению скоростью. Под воздействием подъёмной силы (P) частица опускается по более крутой траектории [9].

Уравнение движения центра масс одиночной частицы можно записать в виде [5]:

$$\rho V \frac{dv}{dt} = \sum_{i=1}^N F_i, \tag{1}$$

где ρ – средняя плотность частицы;

V – объём частицы;

$\sum_{i=1}^N F_i$ – главный вектор внешних действующих сил.

Сила тяжести вычисляется по формуле [7]:

$$P = \rho V g. \tag{2}$$

Посредством электронно-вычислительной программы Mathcad была рассчитана траектория метания частиц в пространстве с учётом сопротивления среды и заданного угла регулирующей задвижки.

Известно, что при пневматическом выбросе из воздуховода частица удобрения движется по более крутой параболической траектории с учётом сопротивления окружающей среды [10–12] и с уменьшением дальности полёта частицы.

Дальность полёта частиц удобрений определяется по формуле:

$$L = \frac{v^2}{g} \cdot \sin 2\alpha, \tag{3}$$

где v – начальная скорость метания частицы;

α – угол наклона к горизонту касательной к траектории в начале свободного метания частицы.

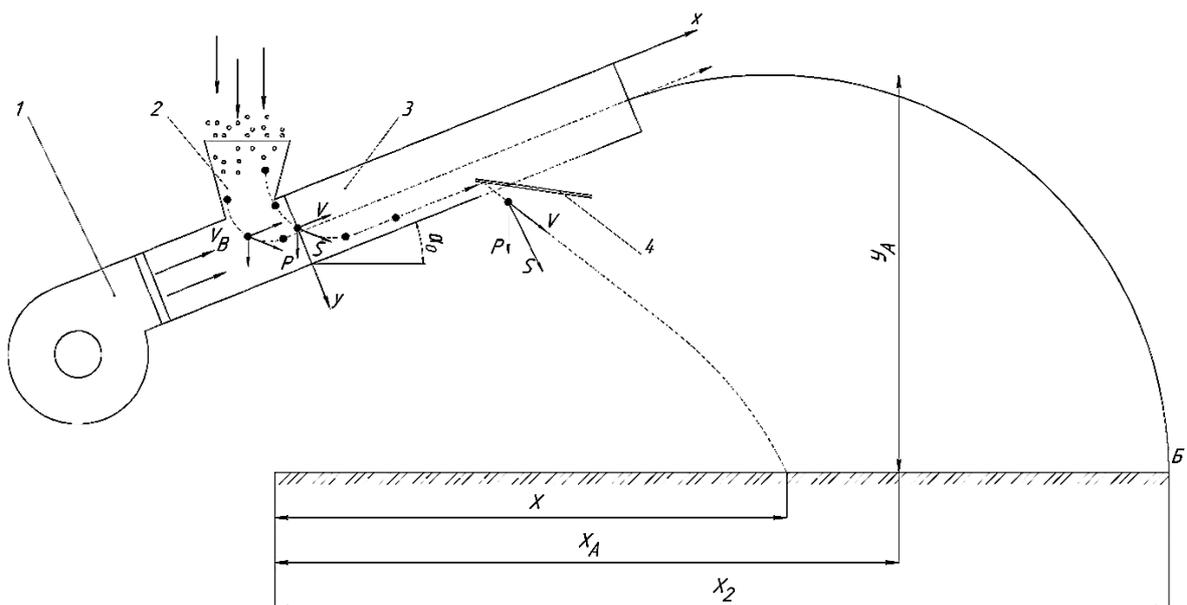


Рис. 1 – Схема движения частицы при разделении в нелинейном воздушном потоке при столкновении регулировочной заслонки:

1 – вентилятор высокого давления; 2 – загрузочное устройство; 3 – воздуховод; 4 – регулировочная заслонка

Изменяя угол наклона воздуховода до 15° , 30° и 45° и угол регулируемой задвижки до 10° , 5° и 0° к горизонтальной плоскости поля, с учётом лобового сопротивления воздуха, силы тяжести и подъёмной силы (при начальной скорости потока на выходе, равной $15,3$ м/с), на основе выражения (3) определили дальность полёта частиц удобрений в воздушном пространстве (рис. 3).

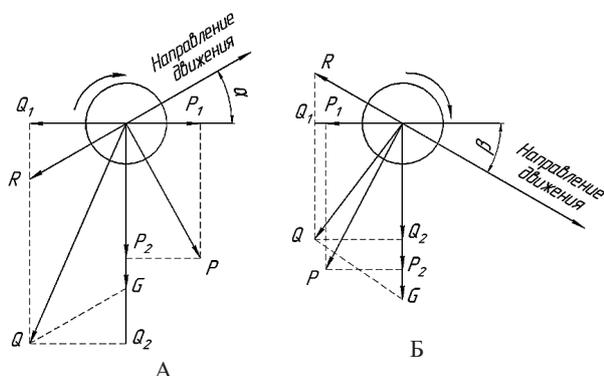


Рис. 2 – Действие сил на частицу с вращением: А – по восходящей ветви траектории; Б – по нисходящей ветви траектории в процессе контакта с регулирующей заслонкой

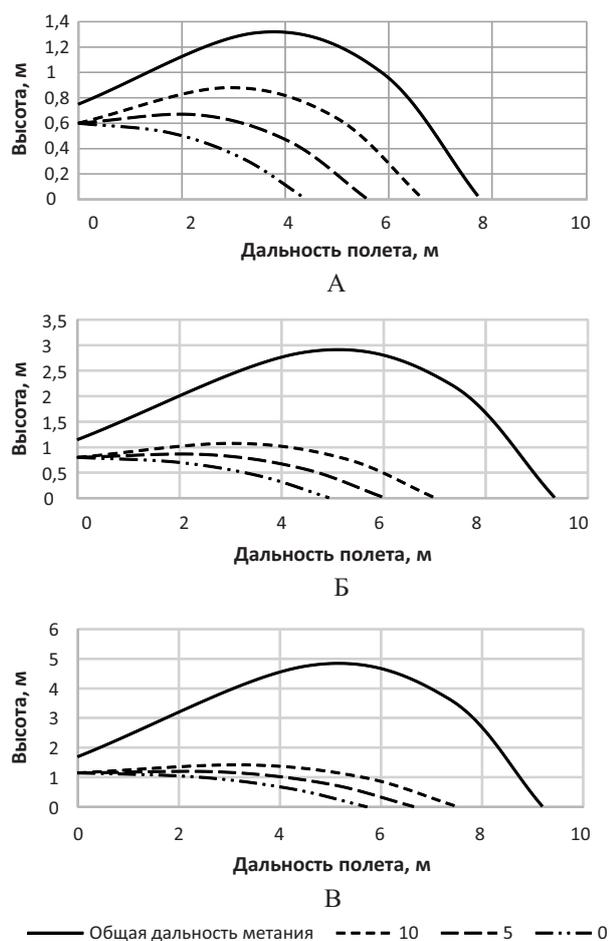


Рис. 3 – Траектории метания частиц удобрений в воздушном пространстве с учётом силы сопротивления и парусности: 15° (А); 30° (Б); 45° (В)

1. Результаты расчёта дальности полёта частиц, м

Угол наклона воздуховода	Дальность метания частицы	Угол наклона регулируемой задвижки		
		10°	5°	0°
15°	7,72	6,66	5,56	4,4
30°	9,34	6,99	6,01	4,92
45°	9,19	7,48	6,64	5,72

При сравнении полученных результатов установлено, что при 15° наклона воздуховода дальность метания частиц с использованием регулирующей задвижки при угле наклона 0° ниже по сравнению с использованием угла наклона при 30° и 45° (табл. 1). Таким образом, наиболее целесообразно использование при минимальном угле наклона насадки и регулирующей задвижки с дальностью полёта частицы $7,72$ и $4,4$ м.

Выводы. Проведённым исследованием установлено, что дальность полёта частицы зависит от аэродинамических свойств удобрений и угла установки жёлоба. С изменением угла наклона от 15° до 45° дальность полёта частицы составляет от $7,72$ до $9,34$ м.

Дальностью полёта частиц определяются общая и рабочая ширина внесения удобрений и качество их распределения по ширине и ходу движения агрегата, а также дозы внесения удобрений.

Литература

1. Пат. RU № 196608. Разбрасыватель минеральных и концентрированных органических удобрений / А.М. Бондаренко, А.Ю. Попенко, Л.С. Качанова, А.Н. Головки. ФГБОУ ВО ДонГАУ. Заяв. № 2019132750 от 14.10.2019 г., опублик. 06.03.2020 г. Бюл. № 7.
2. Качанова Л.С. Управление технологическими процессами производства и применения органических удобрений в аграрном секторе экономики: монография / Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской ГАУ». Зерноград, 2016. 207 с.
3. Бондаренко А.М., Качанова Л.С. Технология и технические средства производства и применения органических удобрений: монография. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», 2016. 224 с.
4. Bondarenko A.M., Savkin V.I., Shelkovnikov S.A., Kachanova L.S. Approaches to the economic evaluation of elements of organic agricultural production of innovative type // *Astra Salvensis*. 2019. Т. 7. № S1.
5. Матвиенко О.В., Андропова А.О. Исследование движение частицы в потоке жидкости вблизи подвижной стенки // *Вестник Томского государственного университета*. 2015. № 4 (36). С. 85–92.
6. Исследование движение частицы в потоке жидкости вблизи подвижной стенки / О.В. Матвиенко, А.О. Андропова, А.В. Андриясян [и др.] // *Вестник Томского государственного университета*. 2018. № 52. С. 75–88.
7. Wang Y., Sierakowski A., Prosperetti A. Rotational dynamics of a particle in a turbulent stream // *Physical Review Fluids*. 2019. № 4 (6).
8. Fukada T., Takeuchi S., Kajishima T. Effects of curvature and vorticity in rotating flows on hydrodynamic

forces acting on a sphere // International Journal of Multiphase Flow. 2014. № 58: P. 292–300.

9. Бодретдинов И.Д., Мударисов С.Г. Научное обоснование и совершенствование пневматических систем сельскохозяйственных машин на основе моделирования технологического процесса // Вестник НГИЭИ. 2019. № 9 (100). С. 5–16.

10. Цепляев А.Н., Перепелкин М.А., Цепляев В.А. Парусный классификатор для определения критической скорости частиц зернового вороха // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 3 (23). С. 203–205.

11. Закономерности разделения минералов на наклонной плоскости фрикционного сепаратора / С.А. Ляпцев, В.Я. Потапов, В.В. Потапов [и др.] // Известия Уральского государственного горного университета. 2014. № 2 (34). С. 36–40.

12. Программа ЭВМ № 2015615331. Расчёт дальностей метания частиц сыпучего тела как функции случайного аргумента – коэффициента парусности / В.А. Черноволов, В.А. Луханин. ФГБОУ ВО ДонГАУ. Заявка № 2015612484 от 15.05.2015 г., опублик. 20.06.2015 г. Бюл. № 6.

Александр Юрьевич Попенко, соискатель. Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрной университет». Россия, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 21, PopenkoAlexander@yandex.ru

Alexander Yu. Popenko, research worker. Azov-Black Sea Engineering Institute – a branch of the Don State Agrarian University. 21, Lenin St., Zernograd, Rostov region, 347740, Russia, PopenkoAlexander@yandex.ru