

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО ОРГАНА РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ

FEASIBILITY OF THE GRANULAR FERTILIZER DISTRIBUTOR'S BLADE FORM

А.А. ШВАРЦ, д.с-х.н.
Б.П. БЕСЕДИН

Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова, Курск, Россия,
kurskgsha@gmail.com

A.A. SHWARTZ, DSc in Agriculture
B.P. BESEDIN

Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia, kurskgsha@gmail.com

Важнейшим средством повышения плодородия почв и увеличения производства сельскохозяйственной продукции наряду с другими агротехническими мероприятиями является внесение удобрений. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о том, что за счет удобрений урожайность может вырасти почти в полтора раза. В настоящее время одним из наиболее простых в техническом исполнении и эффективным способом внесения твердых органических и минеральных удобрений является поверхностный, с применением кузовных разбрасывателей. Экспериментальный разбрасыватель гранулированных минеральных и органо-минеральных удобрений, являющийся объектом исследования, представляет собой низкорамную конструкцию кузовного типа, снабженную ленточным транспортером и вертикальным ротором с горизонтальной осью вращения. Вращательное движение рабочих органов в кожухе барабана создает, кроме силовых характеристик, воздушный напор, влияющий на траекторию полета удобрений. Закономерность распределения удобрений, дальность полета частиц, затраты мощности на привод зависят от конструктивных особенностей рабочих органов пневмомеханического ротора. Целью исследования является определение динамики движения частицы удобрения в зависимости от формы выгрузных лопаток роторного рабочего органа. В качестве метода исследования выбран графоаналитический способ построения и анализ траектории полета частиц и удобрений при вращении ротора в барабане. В результате получено уравнение вертикальной составляющей силы действия удобрений на поверхность лопатки. Для ротора диаметром 920 мм с частотой вращения 850 мин⁻¹ преимущество получили желобообразные лопатки. Они позволяют уменьшить силу трения удобрений о стенки кожуха. Кроме того, концентрируют удобрения в центре лопатки, создавая более плотный поток при выбросе, что тем самым повышает дальность и равномерность их распределения.

Ключевые слова: плоские лопатки, лопатки с бортами, желобообразные лопатки, сила трения, боковая сила, траектория полета, коэффициент вариации.

Using fertilizers, in line with other agrotechnical activities, is one of the most important means for increasing soil fertility, as well as agricultural products performance. Domestic and foreign experience shows us that yield capacity can grow almost 1.5-fold due to fertilizers. Nowadays the surface type of using hard organic and mineral fertilizers by means of body spreaders is considered to be one of the simplest technically and most effective ways. Being the object of the research, the experimental mineral and organo-mineral granular fertilizers spreader is a van-type lowboy, equipped with a belt conveyor and a vertical rotor with a horizontal axis of rotation. In addition to load bearing characteristics, rotational movement of the operative parts in the casing of the rotary drum provides for air drag, which influences the trajectory of fertilizers flight. Pattern of fertilizer distribution, flight distance of fertilizer particles and horsepower input of the gear system depend on the design features of the operative parts of the pneumatic-mechanical rotor. The objective of the research is to define travel speed of fertilizer particles along vanes in case of constant fertilizer input with air drag in versions with radial position of vanes, bent backwards and forwards to some angle. The main research techniques are a graphical and analytical method and analysis of the component force which operates on the blade's surface. As for the drum with a diameter of 920 mm, at rotation frequency of 850 min⁻¹, the best performance was shown by the through blade. They may reduce the friction force of the casing of rotor. Besides, they can concentrate fertilizers in the center of a blade, and achieve qualitative work of the fertilizer spreader, is ascertaining.

Keywords: Flat blade, blade with boards, trough blade, friction force, lateral force, flight path, the coefficient of variation.

Введение

Наиболее простым в техническом исполнении и эффективным способом внесения органических и минеральных удобрений является поверхностный, с применением кузовных разбрасывателей [1–3]. Повышение равномерности распределения удобрений решается созданием и проверкой рабочих органов с различными конструктивно-режимными параметрами. Во многих странах мира, в том числе и в России, используют разбрасыватели гранулированных удобрений с рабочими органами в виде дисков, расположенных на вертикальной оси вращения. Однако у таких рабочих органов есть существенный недостаток: при увеличении количества подаваемых удобрений, часть материала не успевает достигнуть поверхности лопаток и сходит прямо с диска, не разогнавшись до необходимой скорости. Для устранения этой проблемы рекомендуется использование роторных рабочих органов на горизонтальной оси вращения.

Основным показателем, определяющим качество внесения удобрений данным видом рабочих органов, помимо равномерности распределения частиц по полю, является дальность их вылета.

$$a = \frac{(R\omega^2 + g)(\cos\varphi - \sin\varphi) + gf(\cos\varphi + \sin\varphi)}{2\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}}.$$

Вертикальная составляющая силы $\sum P$, действуя на порцию груза лопатки, вызывает боковое давление:

$$P_6 = (mg + ma) \operatorname{ctg}\beta', \quad (2)$$

$$P_6 = m \left(g + \frac{(R\omega^2 + g)(\cos\varphi - \sin\varphi) + gf(\cos\varphi + \sin\varphi)}{2\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}} \right).$$

Величина боковой силы (горизонтальная составляющая $\sum P$) будет также зависеть от объема груза на лопатке и ее формы. При этом, распределение бокового давления для плоской лопатки примет вид, представленный на рисунке 1.

По расчетным значениям P_6 для каждого слоя строим эпюры этих сил, действующих в боковом направлении в точках соприкосновения со стенками барабана. Из рисунка 1 видно, что P_6 растет с увеличением порции груза на лопатке.

Цель исследования

Цель данной работы состоит в обосновании формы выгрузных лопаток пневмомеханического роторного рабочего органа расположенного на горизонтальной оси вращения, оказывающих влияние на дальность и равномерность распределения удобрений по поверхности поля.

Материалы и методы исследования

Основным показателем, определяющим дальность вылета удобрений, являются конструктивные особенности рабочего органа [4]. При рассмотрении физики процесса выброса удобрений [5, 6] выяснилось, что на удобрения, при высыпании с ленточного транспортера на лопатки вращающегося ротора, действует сила тяжести mg , сила инерции ma и сила трения $F_{\text{тр}}$ груза о стенку кожуха. Тогда вертикальная составляющая суммарной силы действия груза на поверхность лопатки

$$\sum P = mg + ma + F_{\text{тр}}. \quad (1)$$

Исходя из условия $a = \mathcal{G}^2 / R$ и используя уравнение (1), определим ускорение груза в зависимости от угла поворота лопатки $[a = \mathcal{G}'(\varphi)]$ в диапазоне начала и конца выгрузки:

где β' – угол естественного откоса груза в движении.

Заменив составляющие выражения (2) их значениями, получим:

Следует отметить, что на частицы груза, находящиеся у стенок кожуха, действует сила трения:

$$F_{\text{тр}} = f P_6,$$

где f – коэффициент трения удобрения о стенку кожуха.

Высота порции удобрения:

$$H = \frac{B}{\operatorname{ctg}\beta}, \quad (3)$$

где B – ширина лопатки; β – угол естественного откоса удобрений в покое.

С учетом размеров лопатки и физико-механических свойств удобрений, выражение (3) примет вид:

$$H = \frac{m}{\gamma B L \cos\beta'}$$

$$\sum P = 2mg + m \frac{(R\omega^2 + g)(\cos\varphi - \sin\varphi) + gf(\cos\varphi + \sin\varphi)}{\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}}$$

Уменьшить действие боковой силы можно путем уменьшения значения H . Для этого целесообразно использовать лопатки ротора с бортами (рис. 2, а) или желобообразными (рис. 2, б).

Предлагаемые конструкции лопаток снижают силу трения удобрений о стенки кожуха, затраты мощности на привод рабочих органов и позволяют корректировать дальность выброса удобрений. Создаваемый вращающимися лопатками воздушный напор также снижает действие боковой силы. Величина воздушного напора определяется экспериментальным путем по соответствующей методике.

Результаты исследования и их обсуждение

Для подтверждения данной теории проводили экспериментальную проверку рабочего органа.

Во время полевых экспериментов с учетом физико-механических свойств гранулированных удобрений исследовалось влияние основных конструктивных параметров роторного рабочего органа на длину полосы рассева и равномерность распределения удобрений. Для этого были разработаны и экспериментально проверены три варианта лопаток рабочего органа: плоские, с бортами и желобообразные (рис. 3).

Разбрасыватель, загруженный гранулированными органоминеральными удобрениями, агрегатировали с трактором МТЗ-82 (рис. 4). Исследования траектории полета удобрений и равномерности их распределения позволили подтвердить наиболее приемлемую форму лопаток для достижения максимальной дальности вылета частиц удобрения.

Установлено, что желобообразная форма лопаток, в сравнении с остальными, позволяет концентрировать массу удобрений в центре лопатки, образуя более плотный поток. Дальность вылета при работе желобообразных ло-

где m – масса груза; γ – плотность груза; B и L – соответственно ширина и длина лопатки; β' – угол естественного откоса удобрений в движении.

В результате вертикальная составляющая суммарной силы действия удобрения на поверхность лопатки примет вид:

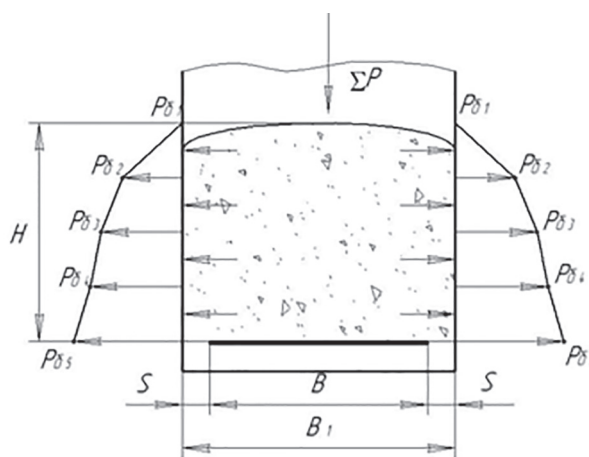


Рис. 1. Распределение бокового давления по ширине лопатки: B – ширина лопатки; B_i – рабочая ширина кожуха; S – зазор между лопаткой и стенкой кожуха; H – высота груза на лопатке; $P_{\delta 1} \dots P_{\delta 5}$ – последовательные составляющие эпюры бокового давления

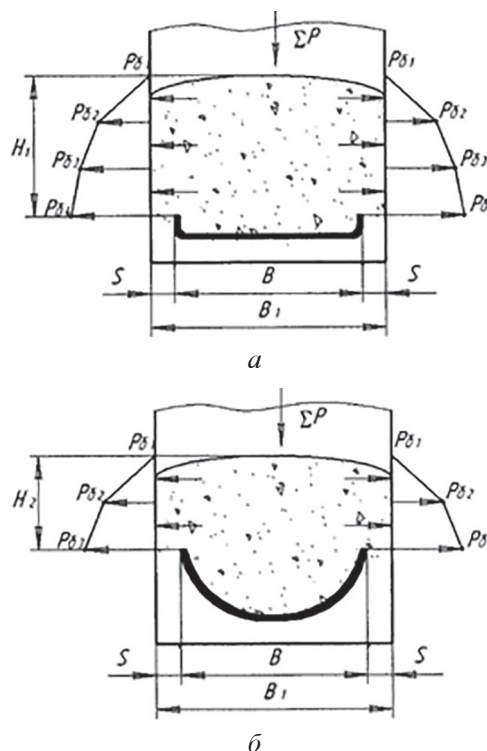


Рис. 2. Распределение бокового давления по ширине лопатки: а – с бортами; б – желобообразные



Рис. 3. Экспериментальные образцы лопаток рабочего органа



Рис. 4. Полевые испытания разбрасывателя

паток, в сравнении с остальными, была максимальной и составила 18 м (рис. 5).

Исследованиями также установлено, что желобообразная форма лопаток позволяет добиться максимальной скорости вылета частиц удобрения и обеспечивает минимальный процент дробления. Однако высота пиковых точек вертикального веера доходит до 3,5 м и приводит к недопустимому по агротребованиям значению коэффициента вариации – 14,2 %. Данный недостаток устраняли с помощью разработанной конструкции дефлектора, корректирующего поток удобрений, что позволило добиться допустимого по агротребованиям

значения коэффициента вариации – 9,86 % (рис. 6).

Выводы

Желобообразная форма лопаток рабочего органа в сравнении с плоской и с бортами позволяет уменьшить силу трения удобрений о стенки кожуха до 50 %.

Конструктивные особенности желобообразных лопаток позволяют концентрировать удобрения в центре лопатки, создавая более плотный поток при выбросе, что тем самым повышает дальность их вылета до 18 м и равномерность распределения до 9,86 %.

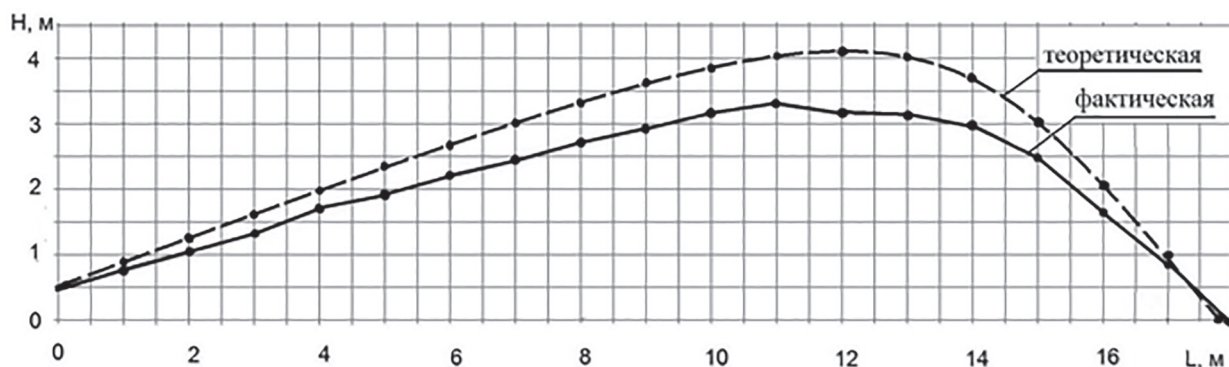


Рис. 5. Траектория полета частиц удобрений при использовании желобообразных лопаток

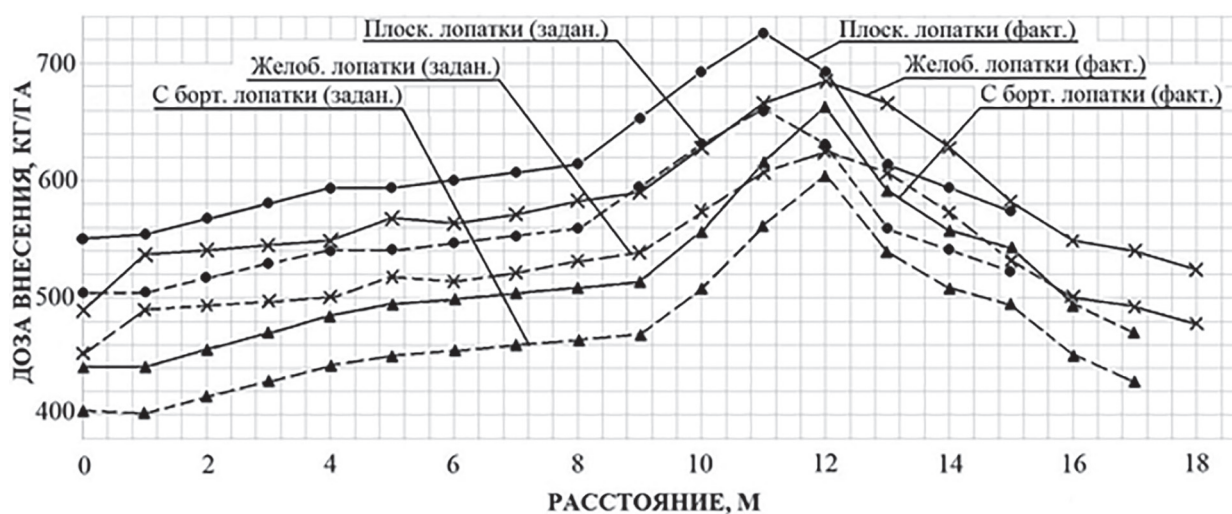


Рис. 6. Характер распределения удобрений по поверхности поля при использовании лопаток различной формы

Литература

1. Репетов А.Н., Лепшеев О.М. Машины для внесения минеральных удобрений // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1997. № 8. С. 10–11.
2. Краснощекон Н.В., Липкович Э.И. Концепция разработки системы машинных технологий в растениеводстве // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 6. С. 3–4.
3. Шмонин В.А., Голиков А.И., Кузькина Т.И. Повышение эффективности использования машин для внесения минеральных удобрений и мелиорантов // ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш. 1991. 34 с.
4. Шварц А.А., Беседин Б.П., Колесников Е.Ю. Обоснование конструктивно-режимных параметров рабочего органа низкорамного разбрасывателя удобрений // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2015. № 3. С. 203–207.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1970. 720 с.
6. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высшая школа, 1986. 416 с.

References

1. Repetov A.N., Lepshev O.M. Machinery for Applying Mineral Fertilizers. Tractors and Agricultural Machinery. 1997, № 8, pp. 10–11 (in Russ).
2. Krasnoshekon N. V., Lipkevich E. I. Concept of Developing System of Computer Technologies in Crop Farming. Tractors and Agricultural Machinery. 2008, № 6, pp 3–4 (in Russ).
3. Shmonin V.A., Golikov A.I., Kuzkina T.I. Increasing Effectiveness of Applying Machinery for Mineral Fertilization and Amelioration. TSNITEI tractorselkhovmash. 1991. 34 p.
4. Shwartz A.A., Besedin B. P., Kolesnikov E. Y. Feasibility of Design and Operating Parameters of Operative Part of Fertilizers Lowboy Spreader. Bulletin of Michurinsk State agricultural university. 2015, № 3, pp. 203–207 (in Russ).
5. Korn G., Korn T. Mathematics Reference Book. Moscow: Nauka. 1970. 720 p.
6. Targ S.M. Short Course on Theoretical Mechanics. Moscow: Vysshaya Shkola. 1986. 416 p.