

На правах рукописи



БЕСЕДИН Борис Павлович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА
РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

05.20.01 — Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Курск — 2017

Работа выполнена на кафедре стандартизации и оборудования перерабатывающих производств» ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова».

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Шварц Анатолий Адольфович

Официальные оппоненты: **Макаров Валентин Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации и информатизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства», главный научный сотрудник отдела механизации внесения удобрений;
Бровченко Алексей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин.

Ведущая организация ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Защита состоится 11 мая 2017 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Воронежского ГАУ), по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус №3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов» — «Защиты» — «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=4463>.

Автореферат разослан 10 марта 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Удобрения — вещества, применяемые для улучшения питания растений, свойств почвы, повышения урожаев. В связи с резким сокращением поголовья животных (крупного рогатого скота — в 2,3 раза, свиней — в 2,4, овец и коз — в 3,4 раза) выход навоза сократился, а необходимо вносить не менее 15 т/га. Исследования вопроса нехватки органических удобрений показали, что дозы внесения удобрений можно уменьшить за счет смеси органических и минеральных удобрений. Поэтому предлагается вносить сбалансированные органо-минеральные удобрения, имеющие в своем составе органическое вещество и минеральные соединения, которые связаны химически или абсорбационно. В результате можно уменьшить дозы внесения органических удобрений, добиться высокой агрохимической эффективности и повысить усвояемость минералов. Приготовление и смешивание органо-минеральных удобрений, например, на основе торфа, осуществляется как ручную, так и по различным методикам, большинство из которых запатентованы. Однако добиться однородного смешивания органических и минеральных компонентов можно только в производственных условиях химического завода или фабрики. Сегодня существует ряд заводов по производству гранулированных органо-минеральных удобрений, стоимость которых полностью удовлетворяет требованиям современного рынка удобрений.

Агротехническая наука знает много различных способов внесения гранулированных удобрений. Наиболее простым в техническом исполнении и достаточно эффективным способом внесения удобрений является — поверхностный — с применением кузовных разбрасывателей. Перспективой развития исследований в данном направлении является повышение равномерности распределения удобрений с одновременным сохранением производительности.

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.

В связи с этим актуальность исследований заключается в совершенствовании процесса распределения гранулированных органо-минеральных удобрений роторными рабочими органами на горизонтальной оси вращения.

Степень разработанности темы. Большой вклад в исследование процесса внесения удобрений, внесли такие ученые, как: Бровченко А. Д., Личман Г. И., Макаров В. А., Марченко Н. М., Репетов А. Н., Скурятин Н. Ф., Черноволов В. А. и многие другие ученые.

Основным способом повышения равномерности распределения удобрений является создание и проверка рабочих органов с различными конструктивно-режимными параметрами. Поиск технических средств, позволяющих корректировать поток выбрасываемых удобрений и возможности соблюдать необходимую равномерность при работе кузовных разбрасывателей на пересеченной местности и склонах, является вторым немаловажным компонентом эффективной работы агрегата.

Цель исследования. Повышение равномерности распределения гранулированных органо-минеральных удобрений за счет совершенствования конструктивно-режимных параметров пневмомеханического рабочего органа роторного типа с горизонтальной осью вращения, на базе низкорамного кузовного разбрасывателя.

Задачи исследования:

1. Установить влияние основных конструктивных параметров лопаток ротора на качество внесения удобрений;
2. Разработать математическую модель процесса внесения гранулированных органо-минеральных удобрений рабочими органами роторного типа на горизонтальной оси вращения, позволяющую обосновать основные конструктивно-режимные параметры предлагаемого устройства;
3. Установить влияние параметров дефлектора на характеристику потока выбрасываемых удобрений;
4. Провести полевые исследования, проверить разработки в производственных условиях и установить агроэкономическую эффективность экспериментального низкорамного разбрасывателя с разработанным рабочим органом роторного типа.

Объект исследования. Технологический процесс поверхностного внесения органо-минеральных удобрений рабочим органом роторного типа.

Предмет исследования. Закономерности изменения качественных показателей работы роторного рабочего органа разбрасывателя.

Методология и методы исследования. Основной метод исследования — анализ и синтез технологического процесса внесения органо-минеральных удобрений пневмомеханическим рабочим органом с горизонтальной осью вра-

щения и определение агротехнологических свойств разбрасывателя с учетом многофакторных полевых опытов в земледелии. В работе применялась экспертная оценка факторов и методика планирования многофакторного эксперимента. В соответствии с поставленными задачами разработаны общая и частные методики исследования.

Научная новизна. Обоснован технологический процесс внесения органоминеральных удобрений роторным пневмомеханическим органом с горизонтальной осью вращения. Установлены аналитические зависимости для определения параметров и формы выгрузных лопаток и дефлектора. Выявлены основные закономерности полосы рассева в зависимости от конструктивных параметров и режимов работы машины. Рассмотрены вопросы особенностей эксплуатации низкорамного разбрасывателя в условиях пересеченного рельефа местности.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в реализации предлагаемого технического решения низкорамного кузовного разбрасывателя органоминеральных удобрений с рабочим органом роторного типа (патенты), обеспечивающего качественные показатели работы в соответствии с агротехническими требованиями. Реализация результатов теоретических и экспериментальных исследований может быть использована при проектировании и эксплуатации разбрасывателей удобрений.

Степень достоверности и апробация результатов исследований. Подтверждается результатами теоретических и экспериментальных исследований, полученных с использованием измерительной аппаратуры при достаточном количестве повторностей, обработкой опытных данных с использованием методов математической статистики и опытов. Материалы диссертации обсуждались на международных научно-практических конференциях в 2012-2017 гг.

На защиту выносятся:

- конструктивно-технологическая схема низкорамного разбрасывателя с рабочим органом роторного типа на горизонтальной оси вращения;
- аналитические зависимости основных конструктивно-режимных параметров, угла установки и формы лопаток ротора, позволяющие повысить качество поверхностного внесения удобрений;
- зависимости влияния дефлектора на характеристику потока выбрасываемых удобрений;
- результаты оптимизации показателей работы разбрасывателя в лабораторно-полевых и производственных условиях Центрального Черноземья.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 15 печатных работ, пять из которых входят в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, три — патенты на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованных источников (122 наименований) и приложений. Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста и включает 10 таблиц и 63 рисунка. Кроме того, содержит приложения на 23 страницах с таблицами и рисунками.

Содержание работы

Введение включает обоснование актуальности темы исследования, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, основные положения выносимые на защиту, степень достоверности и апробацию работы.

В первом разделе «*Состояние вопроса и задачи исследования*» рассмотрены агротехнические требования, предъявляемые к органическим и минеральным удобрениям. Проведен обзор технологий смешивания органических и минеральных удобрений. Представлен анализ существующих конструкций и исследований рабочих органов для поверхностного внесения твердых гранулированных удобрений.

Патентно-информационный обзор роторных рабочих органов на горизонтальной оси вращения позволил установить, что у данного вида рабочих органов наблюдается несколько недостатков: вследствие удара лопасти о частицы удобрения происходит их разрушение до 30%. В результате повышается масса порошковидной фракции, и вследствие разнообразного гранулометрического состава частицы разной массы имеют различный угол вылета в вертикальной плоскости. Впоследствии это сказывается на траектории движения выброшенных частиц и неравномерном их распределении в зоне внесения. Также многие исследователи отмечают, что данный тип рабочих органов, особенно при внесении пылевидных удобрений, способствует образованию широкого неплотного вертикального веерного потока частиц, который способствует неравномерному их распределению и затрудняет работу в ветреную погоду.

Ряд авторов пришел к выводу, что уменьшить дробление частиц можно путем изменения угла наклона лопатки и ее формы. Уменьшение вертикального веерного распределения и корректировку траектории полета выбрасываемых удобрений позволит реализовать устройство, установленное над выгрузным окном рабочего органа.

В последнее время также наблюдается повышенное внимание к вопросу работы агрегатов для внесения удобрений в условиях пересеченного рельефа местности, так как при эксплуатации разбрасывателя, а особенно прицепного, значительно ухудшается равномерность внесения удобрений.

Во втором разделе «*Теоретические исследования параметров рабочего органа низкорамного разбрасывателя*» дается теоретическое обоснование

влияния конструктивных параметров лопадки, их положения относительно центра вращения, угла установки и радиуса, на динамику движения частиц удобрения. Также представлены аналитические зависимости движения удобрений по поверхности дефлектора и изменение пространственного положения низкорамного разбрасывателя при движении в условиях пересеченного рельефа местности.

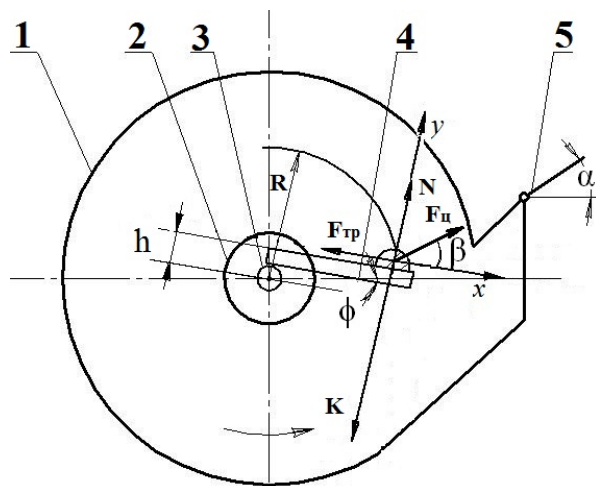


Рисунок 1 — Схема сил, действующих на частицу удобрения ($\varphi > 0$)

где 1 — кожух; 2 — диск ротора; 3 — вал; 4 — лопадка; 5 — дефлектор; N — сила нормальной реакции; $F_{ц}$ — центробежная сила инерции; $F_{тр}$ — сила трения; К — сила Кориолиса; R — радиус ротора (длина лопадки).

Теоретически рассмотрено три варианта расположения лопаток рабочего органа: радиальное — угол наклона $\varphi = 0^\circ$, с наклоном назад — $\varphi < 0^\circ$ и с наклоном вперед — $\varphi > 0^\circ$. Некоторое преимущество прослеживается в третьем варианте, то есть в лопатках с углом наклона вперед (рисунок 1). При таком расположении расстояние h уменьшает силу трения, а центробежная сила помогает сходу частиц с лопадки.

Движение частицы удобрения массой m, находящейся на лопадке, можно выразить уравнением

$$m\ddot{x} = F_{ц} \cdot \cos\beta - F_{тр}. \quad (1)$$

С учетом конструктивно-режимных параметров, силового анализа и физико-механических свойств удобрений получены универсальные математические выражения для определения скорости схода частиц удобрения

$$\dot{x}(t) = (-f\omega + \omega\sqrt{f^2 - 1}) \cdot c_1 e^{(-f\omega + \omega\sqrt{f^2 - 1})t} + (-f\omega - \omega\sqrt{f^2 - 1}) \cdot c_2 e^{(-f\omega - \omega\sqrt{f^2 - 1})t}. \quad (2)$$

где f - коэффициент трения; ω - частота вращения ротора, мин^{-1} .

На скорость вылета, и дальность полета частиц, выброшенных роторным рабочим органом влияет его радиус, угол вылета частиц и время движения удобрений по поверхности лопадки, включая коэффициент трения и коэффициент парусности.

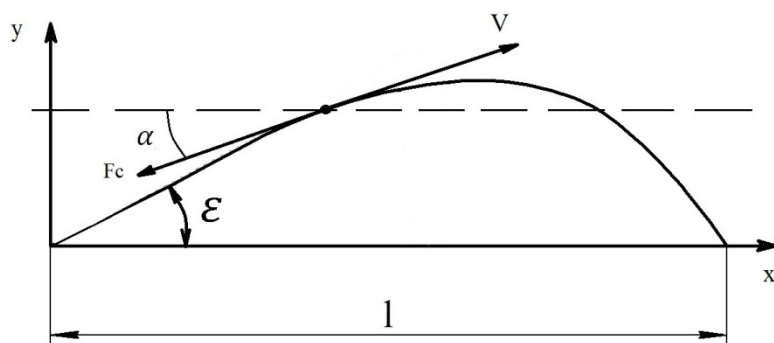


Рисунок 2 — Дальность полета частицы удобрения

Дальность полета частиц, тесно связанная со скоростью движения и парусностью удобрений (рисунок 2), определяется численным решением системы уравнений

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -mKV^2 \cos\alpha, \\ m\ddot{y} = -mKV^2 \sin\alpha - mg. \end{cases} \quad (3)$$

где V — скорость вылета частицы; K - коэффициент парусности;

Проектируя скорость вылета частицы на ось x и y (рисунок 3), получим

$$V = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}, \quad (4)$$

Из выражения 4 выделяем $\sin\alpha$ и $\cos\alpha$

$$\cos\alpha = \frac{\dot{x}}{V}, \sin\alpha = \frac{\dot{y}}{V}. \quad (5)$$

Тогда система уравнений примет вид

$$\begin{cases} \ddot{x} = -K\dot{x}V, \\ \ddot{y} = -K\dot{y}V - g. \end{cases} \quad (6)$$

Подставляя в данное выражение значение скорости, при начальном условии $t = 0; x = 0; y = 0; \dot{x} = V_0 \cdot \cos \varepsilon; \dot{y} = V_0 \cdot \sin \varepsilon$ получим значение дальности выраженное

$$\begin{cases} \ddot{x} = -K\dot{x}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}, \\ \ddot{y} = -K\dot{y}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g. \end{cases} \quad (7)$$

На динамику движения частиц по лопатке, кроме проанализированных факторов, влияет еще и ее форма. В связи с этим на рисунке 3 рассмотрены три варианта лопаток: а — плоские, б — с бортами, в — желобообразные.

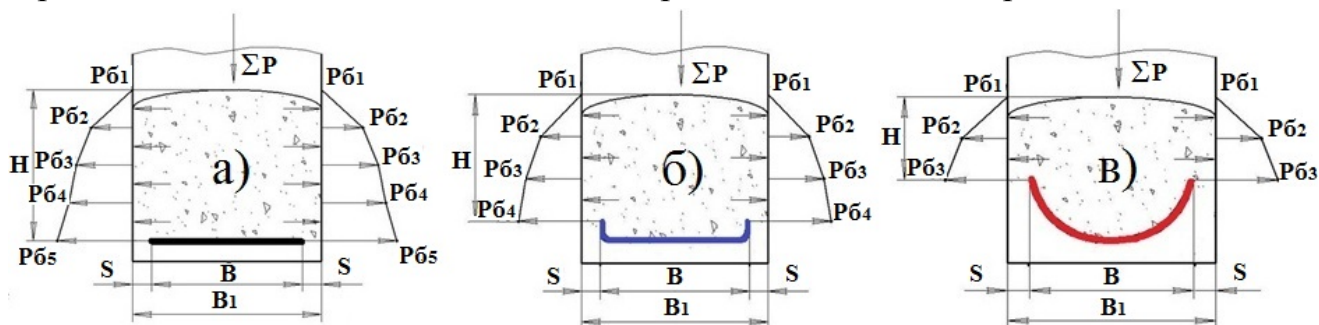


Рисунок 3 — Изменение бокового давления по ширине лопатки

В результате анализа уравнения вертикальной составляющей силы действия удобрений на поверхность лопатки выяснилось, что желобообразная форма создает минимальную силу трения удобрений о стенки кожуха за счет уменьшения боковой силы P_6 , увеличивается концентрация удобрений в центре лопатки с одновременным увеличением объема порции. В результате вертикальная составляющая суммарной силы действия удобрения на поверхность лопатки примет вид

$$\sum P = 2mg + m \frac{(R\omega^2 + g)(\cos\varphi - \sin\varphi) + gf(\cos\varphi + \sin\varphi)}{\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}}. \quad (8)$$

Значительное место в теоретических исследованиях уделяется дефлектору как одному из элементов корректирующих поток выбрасываемых удобрений. Исследуемые нами вопросы были направлены на обоснование конструкции дефлектора и его влияния на агротехнические показатели. Первоначально был рассмотрен вариант рабочей поверхности дефлектора постоянного радиуса.

Приняв во внимание силы, действующие на частицу, получили уравнение движения в момент прохождения удобрений по касательной к поверхности дефлектора постоянного радиуса и во время схода с нее

$$V = V_p - \frac{r}{f \cdot t}. \quad (9)$$

Уравнение, выражающее зависимость между скоростью движения транспортируемой массы по дефлектору (V_p) и временем (t), подтверждает тот факт, что значение скорости (V) напрямую зависит от коэффициента трения и времени прохождения удобрений, а значит, и длины дефлектора.

Однако результатами проведенных исследований и работ ряда авторов было рекомендовано использовать дефлектор параболической формы, повторяющей траекторию движения тела, брошенного под углом к горизонту, которая наиболее приспособлена для транспортируемого материала, с учетом его физико-механических свойств (рисунок 4).

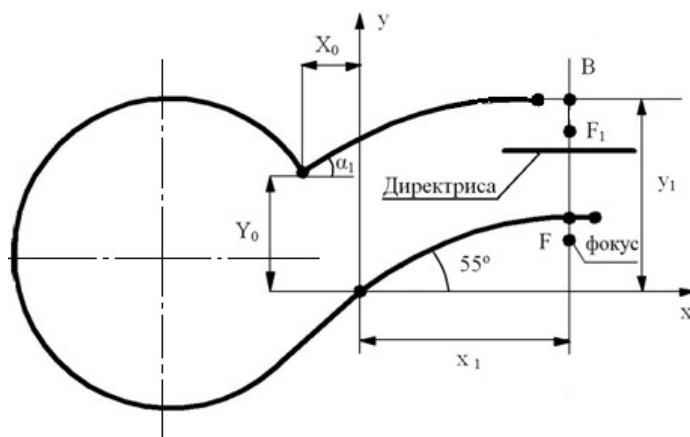


Рисунок 4 — Схема дефлектора параболической формы

Методом параллельного переноса осей, проходящих через начало траектории, в точку крепления дефлектора переместили параболу, повторяющую траекторию движения тела, брошенного под углом к горизонту, параметры которой соответствуют его форме. В результате было получено уравнение формы рабочей поверхности дефлектора относительно вершины его параболы

$$X^2 = -\frac{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}{g} \cdot Y. \quad (10)$$

В связи с тем, что на территории среднерусской возвышенности более 25% полей имеют угол наклона, превышающий 5° , возникает проблема эксплуатации разбрасывателя на этих площадях. При движении даже на ровном участке поля вследствие микронеровностей совершается незначительное боковое колебание на угол γ . При движении агрегата поперек склона к этому углу добавляется еще и угол склона. Для соблюдения агротребований кузов разбрасывателя должен находиться в горизонтальном положении (рисунок 5 а).

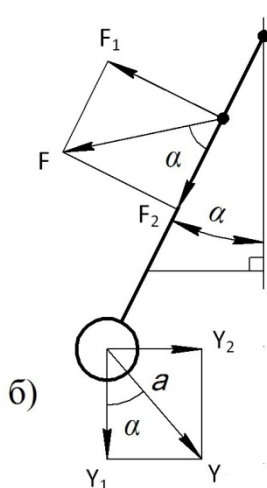
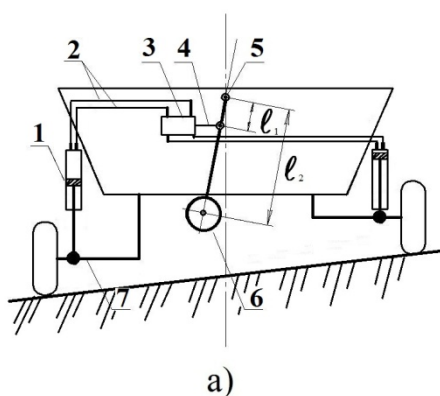


Рисунок 5 — Устройство и схема сил системы стабилизации:

- 1 — гидроцилиндр;
- 2 — трубопроводы;
- 3 — гидрораспределит;
- 4 — золотник;
- 5 — рычаг;
- 6 — груз;
- 7 — коленчатая ось.

Предлагается использовать разработанный нами датчик бокового крена (рисунок 5 б) маятникового типа, который управляет автоматической системой корректировки угла наклона разбрасывателя (Рисунок 5 а).

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложена программа, общая и частные методики экспериментальных исследований, направленные на решение следующих задач:

- установить влияние основных конструктивно-режимных параметров рабочего органа на дальность вылета удобрений;
- обосновать параметры и форму лопаток пневмомеханического рабочего органа разбрасывателя органо-минеральных удобрений;
- исследовать равномерность распределения органо-минеральных удобрений роторным рабочим органом;

- определить зависимости длины, ширины полосы рассева и траектории полета удобрений от формы лопатки рабочего органа и параметров дефлектора;
- выполнить проверку работы экспериментального низкорамного разбрасывателя в условиях пересеченного рельефа местности;
- проверить экономическую эффективность применения низкорамного разбрасывателя.

Для проверки результатов исследований в реальных условиях был модернизирован опытный образец низкорамной установки для внесения гранулированных удобрений (рисунок 6).

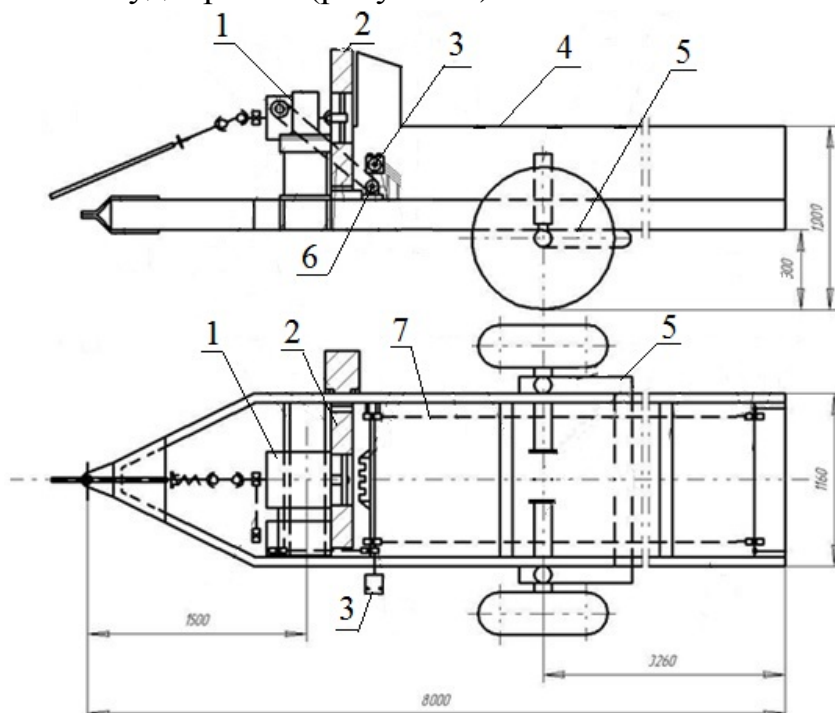


Рисунок 6 — Схема низкорамного разбрасывателя

- 1 — привод рабочего органа; 2 — ротор; 3 — гидромотор (привод транспортера); 4 — кузов; 5 — коленчатая полуось с гидроцилиндром; 6 — шнек; 7 — ленточный транспортер.

Рама, на которой посредством коленчатых полуосей установлен кузов грузоподъемностью 5 т. Полуоси опускаются в нижнее положение (300 мм от поверхности), параллельное поверхности поля, после чего происходит загрузка автомобилями-самосвалами. После загрузки коленчатые полуоси поднимают кузов в рабочее положение (до 500 мм), в зависимости от агрофона. Удобрения, подаваемые ленточным транспортером, выбрасываются пневмомеханическим роторным рабочим органом в одну сторону. Привод рабочего органа осуществляется от ВОМ трактора, а привод транспортера — от гидромотора.

Основным показателем предлагаемого рабочего органа является дальность вылета удобрений. Для построения математической модели технологического процесса внесения удобрений, оценки влияния отдельных факторов на качество работы разбрасывателя требовалось проведение многофакторного эксперимента. С целью сокращения временных затрат на проведение большого количества предварительных экспериментов нами была использована методика сверхнасыщенных факторных планов, которая позволила выделить наиболее

существенные факторы. В итоге наиболее существенными факторами из семи предложенных оказались частота вращения ротора, радиус ротора и масса выбрасываемого груза. Натуральным значениям факторов присвоили кодовые значения x_1, x_2, x_3 с соответствующими уровнями варьирования.

С целью получения математической модели объекта исследования использовали ротатабельный композиционный план второго порядка. На основании предварительных экспериментов была составлена матрица планирования. В качестве параметра оптимизации приняли показатель дальности вылета частиц удобрения. После обработки результатов эксперимента получили адекватное уравнение регрессии

$$y = 17,95 + 0,95x_1 + 0,53x_2 - 0,53x_3 + 0,59x_1^2 + 0,36x_2^2 - 0,88x_3^2 + 0,14x_1x_2 - 0,39x_1x_3. \quad (11)$$

Для интерпретации результатов опытов произведено его преобразование к реальным величинам. Было установлено, что данная модель выражает оптимальное соотношение факторов, влияющих на минимальную дальность вылета частиц удобрения. Так, значение дальности составляет 17,14 м. Она достигается при следующих реальных значениях факторов, соответствующих среднему уровню: частота вращения — $772,18 \text{ мин}^{-1}$, радиус ротора — 400 мм и масса выбрасываемого груза — 4,87 кг/с. Проведя дополнительный анализ влияния сочетания факторов на результат построили поверхности отклика (рисунок 7).

$$y = 17,95 + 0,95x_1 + 0,53x_2 + 0,59x_1^2 + 0,36x_2^2 + 0,14x_1x_2 \quad (12)$$

$$y = 17,95 + 0,95x_1 - 0,53x_3 + 0,59x_1^2 - 0,88x_3^2 - 0,39x_1x_3 \quad (13)$$

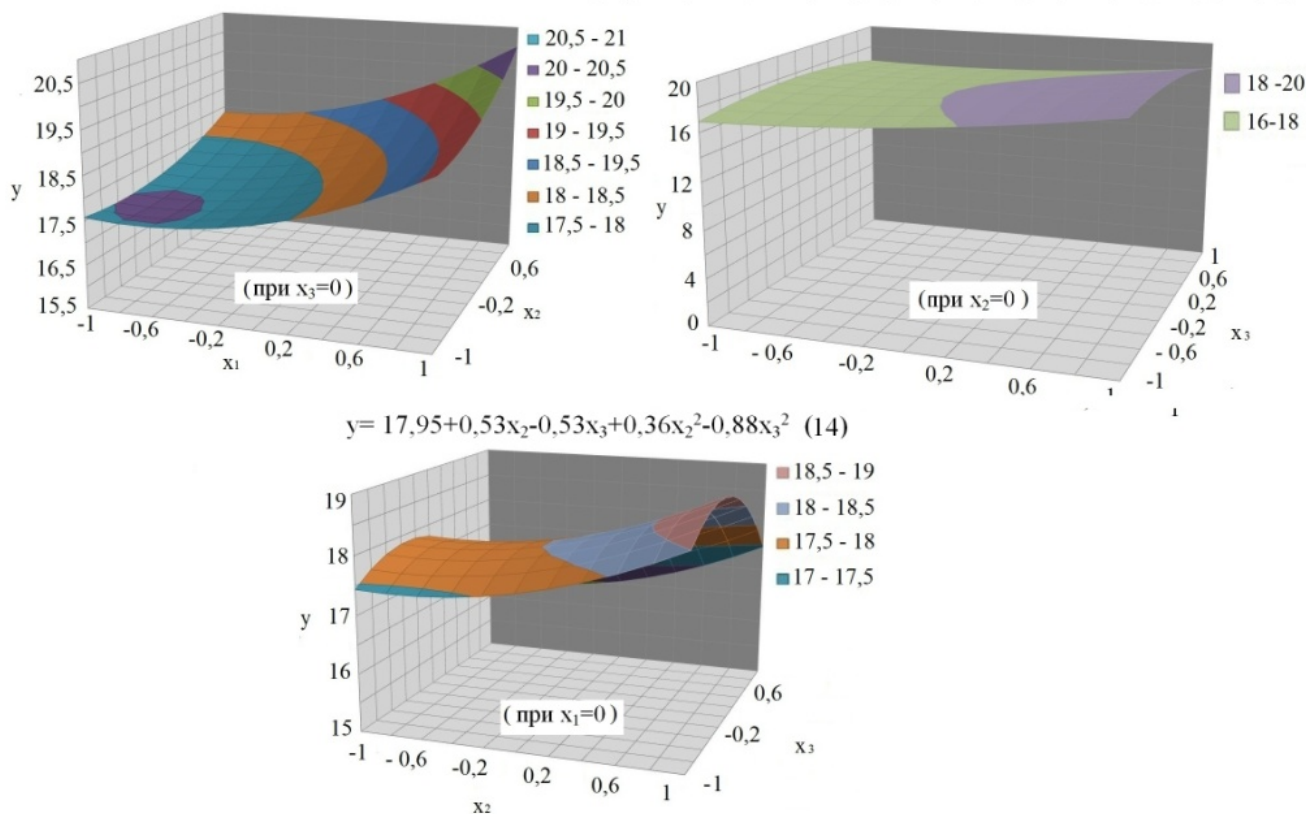


Рисунок 7 — Поверхности отклика факторов

Анализ полученных поверхностей показал, что наибольшее влияние на дальность вылета частицы удобрений оказывают радиус и частота вращения ротора.

В четвертом разделе «*Результаты и анализ экспериментальных исследований*» представлены результаты экспериментальных исследований низкорамного разбрасывателя гранулированных органо-минеральных удобрений.

Во время полевых экспериментов с учетом физико-механических свойств исследовались: угол установки и форма лопатки; влияние дефлектора на траекторию полета удобрений, а также осуществлена экспериментальная проверка стабилизации разбрасывателя на склонах. Разбрасыватель, загруженный ОМУ «Универсал», агрегатировали с трактором МТЗ-82. Разработаны и проверены три варианта лопаток: плоские, с бортами и желобообразные (рисунок 8).



Рисунок 8 — Виды испытываемых лопаток

При экспериментальной проверке угла наклона и наиболее эффективной формы лопаток рабочего органа учитывали: скорость вылета и дробление частиц удобрений. В результате минимальный процент дробления обеспечили желобообразные лопатки с углом наклона вперед на 12° (рисунок 9).

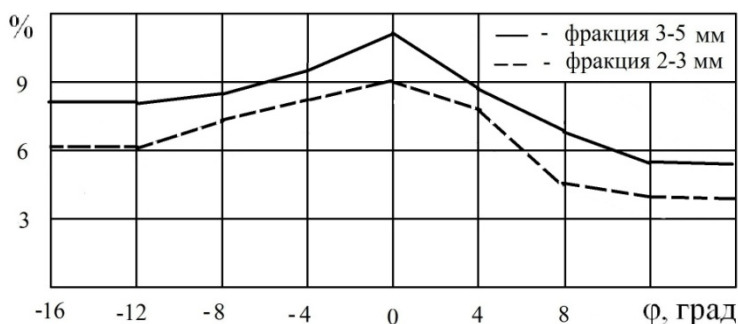


Рисунок 9 — Зависимость процента дробления частиц по фракциям от угла наклона ϕ , с использованием желобообразных лопаток

Фракция 3-5 мм разрушалась на 5%, а фракция 2-3 мм — на 4%. Максимальную скорость схода частицы с лопатки — 42 м/с, а соответственно, и даль-

ность вылета — 18 м, обеспечили также желобообразные лопатки, установленные под углом 12° вперед (рисунок 10).

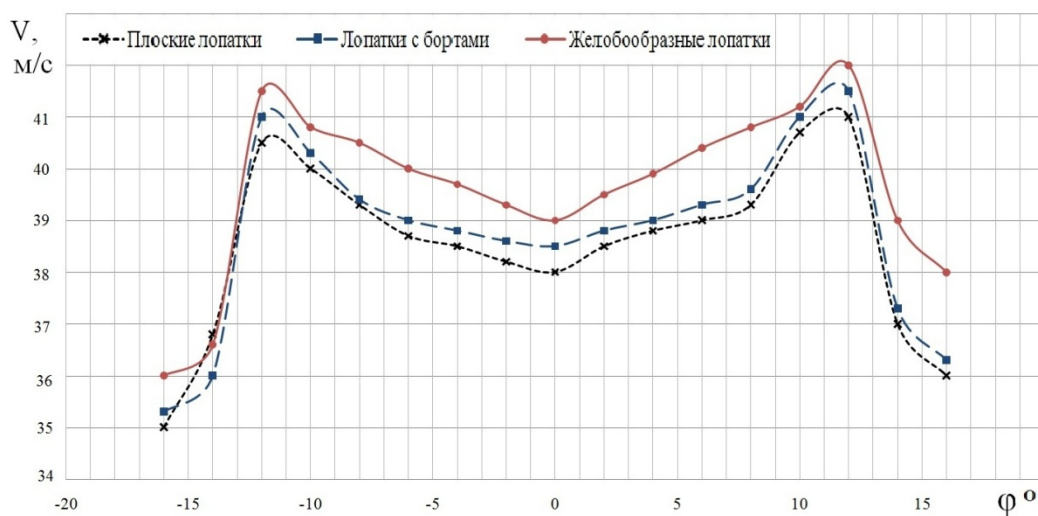


Рисунок 10 — Изменение скорости движения частицы удобрения (ϑ) в зависимости от угла наклона лопасти (φ)

Это объясняется уменьшением силы трения и увеличением эффективности схода удобрений с лопатки за счет повышения воздушного напора. Однако при длине лопатки 200 мм происходит пересыпание гранул через нее. В результате удобрения подвергаются повторному удару следующей лопаткой, что может повысить процент раздробленных частиц. Поэтому было принято решение удлинить лопатки непосредственно до центра вращения ротора. Это позволило сократить процент дробления фракции 3-5 мм до 3%. За счет повышения величины воздушного напора (от 156 до 209 мм.вод.ст.) скорость схода частицы увеличилась до 50 м/с.

Дальнейшие исследования траектории полета удобрений и равномерности их распределения (рисунок 11) позволили подтвердить наиболее приемлемую форму лопаток для достижения максимальной рабочей ширины.



Рисунок 11 — Полевые испытания разбрасывателя

Желобообразная форма в сравнении с остальными позволяет концентрировать массу удобрений в центре лопатки, образуя более плотный поток, при этом дальность вылета составляет 18 м (рисунок 12). Однако высота пиковых

точек вертикального веера доходит до 3,5 м и приводит к недопустимому по агротребованиям значению коэффициента вариации — 14.2%.

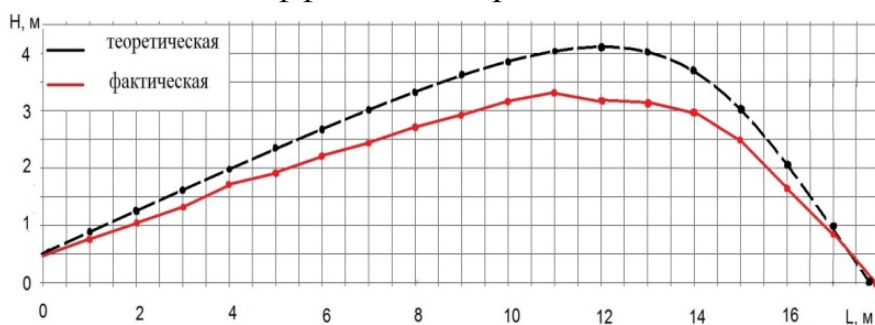


Рисунок 12 — Траектория полета частиц удобрения

Данный недостаток устраняли с помощью разработанной конструкции дефлектора, корректирующего поток удобрений. Для нахождения наиболее рациональной формы дефлектора было изготовлено три телескопических дефлектора, радиус которых составлял 980 мм, 890 мм, 650 мм. Каждый дефлектор имел три телескопических сегмента, длина всех дефлекторов изменялась от 935 мм до 565 мм с шагом 185 мм. После построения всех кривых траекторий выяснилось, что при увеличении радиуса дефлектора, дальность и высота траектории увеличиваются. Увеличение длины дефлектора приводит к уменьшению дальности и пиковой высоты траектории. В результате проведения серии опытов выяснилось, что наиболее рациональными параметрами дефлектора, позволяющими снизить пиковые точки траектории, не нанося ущерб дальности полета удобрений, а соответственно, и производительности разбрасывателя, является радиус — 980 мм, длина 565 мм, в комплектации с желобообразными лопатками. Пиковая высота траектории полета, в данном случае достигает 2,8 - 3 м, а дальность — 17,6 м. При этом коэффициент вариации распределения удобрений остается в пределах допустимого значения и составляет 9,88%. В соответствии с теоретическими исследованиями, проведенными в настоящей работе, необходимо было проверить возможность еще большего снижения пиковых точек траектории посредством использования дефлектора параболической формы. Для этого разработали дефлектор длиной 565 мм, рабочая поверхность которого является параболой, повторяющей траекторию движения тела, брошенного под углом к горизонту. В результате испытания данного дефлектора, в совокупности с тремя формами лопаток, в очередной раз подтвердили эффективность желобообразных. Наибольшая пиковая высота траектории полета не снизилась по сравнению с результатом работы радиального дефлектора и достигла 2,8 м (рисунок 13 а). Тем не менее, форма дефлектора позволила увеличить дальность вылета до 18 м. Коэффициент вариации не вышел за пределы допустимого значения и составил 9,83 % (рисунок 13 б).

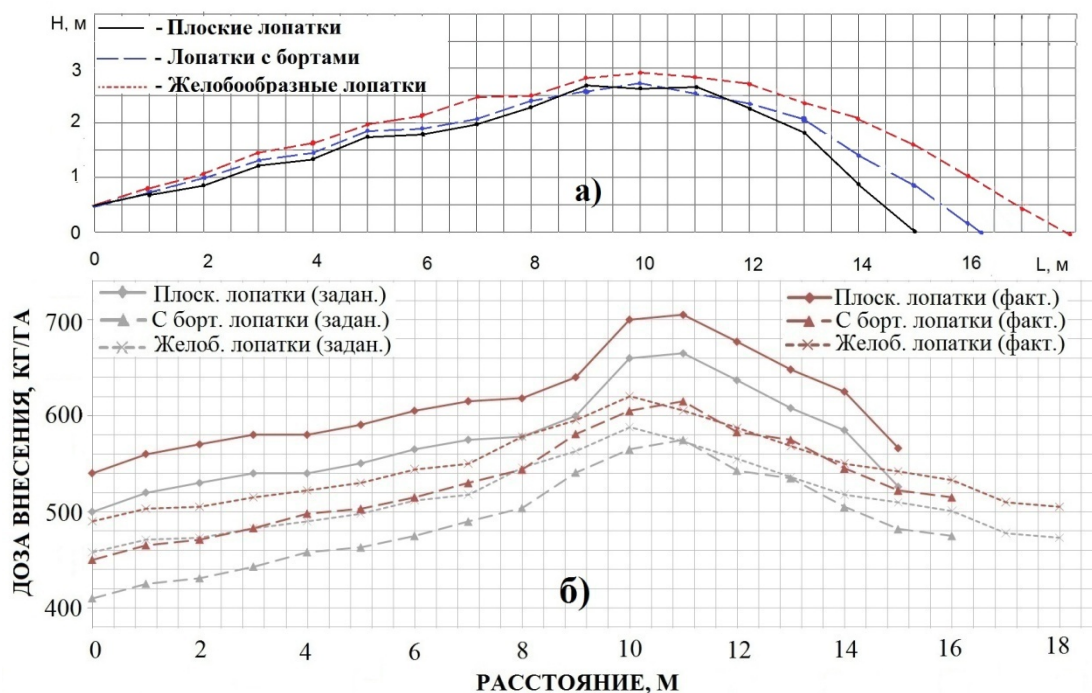


Рисунок 13 — Кривая траектории полета и характер распределения частиц удобрения

Ввиду того, что параболический дефлектор длиной 565 мм способствовал повышению качества работы и производительности, произвели проверку равномерности распределения удобрений в движении. Агрегат двигался со скоростью 5,55 м/с, был настроен на дозу 500 кг/га и рабочую ширину внесения — 18 м. После проведенных расчетов получили эпюры распределения частиц органических удобрений. При производительности агрегата 19,8 га/ч, коэффициент вариации для плоских лопаток составил — 14,5%, для лопаток с бортами — 11,2%, для желобообразных — 9,81%.

При движении агрегата по полям с пересеченным рельефом местности, характерным для среднерусской возвышенности, основным требованием почвозащитного земледелия является движение агрегата поперек склона. С этой целью была произведена проверка определения возможности эксплуатации низкорамного разбрасывателя на склонах до 12-15°.

В конструкции для измерения угла бокового крена применили датчик маятникового типа с весом груза 20 кг и длиной подвеса 635 мм. Для автоматического регулирования угла наклона использовали распределитель Р-75В2 и гидроцилиндр Ц-100, соединенный с коленчатой полуосью. Данное устройство (рисунок 14 б) позволяет вне зависимости от угла склона устанавливать кузов разбрасывателя с ленточным транспортером в горизонтальное положение. В этом случае устраняется сгуживание удобрений к одному борту. Равномерная подача удобрений к рабочему органу в таком случае идентична горизонтальному положению.

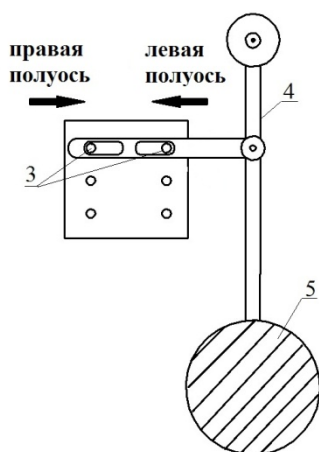


Рисунок 14 а - Схема включения гидроцилиндров

1 - гидрораспределитель; 2 - трубопроводы; 3 - золотник гидрораспределителя; 4 - рычаг маятникового типа; 5 - груз.



Рисунок 14 б - Опытный образец системы стабилизации

Проверка показала, что на склонах до 3 градусов маятниковый датчик, в силу своей инертности, плохо реагирует на изменение угла наклона. На рисунке 16 показаны кривые изменения производительности агрегата в зависимости от угла склона и скорости его движения.

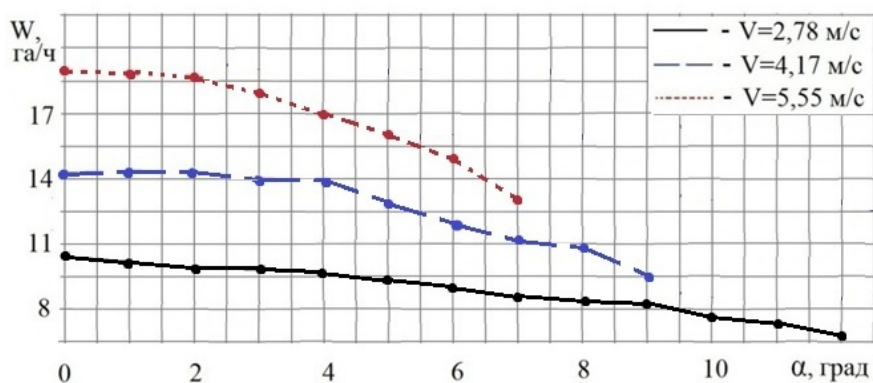


Рисунок 15 - Изменение производительности (W) разбрасывателя от угла склона (α) и скорости движения (V)

Анализ возможности внесения удобрений рабочим органом вниз по склону показал на возможность работы разбрасывателя на поверхностях с наклоном до 12°, с рабочей шириной внесения — 19 м. Однако разбрасывание вверх по склону возможно при углах до 8°. При этом длина полосы рассева составляет 13-16 м. Дальнейшее увеличение угла склона будет сокращать длину этой полосы. Для устранения этого недостатка целесообразно предусмотреть возможность регулирования поворота кожуха ротора в пределах угла склона.

Работа разбрасывателя в агрегате с трактором типа «Беларусь», в зависимости от агрофона, возможна на склонах до 8-12°, а на склонах большей крутизны — с тракторами крутосклонной модификации.

В пятом разделе «Технико-экономическая оценка агрегата на внесении готовых органо-минеральных удобрений» экономическая эффективность экспериментального разбрасывателя определялась в сравнении с серийным разбрасывателем МВУ-5. За счет повышения производительности эксперимен-

тального агрегата, по сравнению с базовым, прямые эксплуатационные затраты сократились на 17%, а приведенные — на 18%. При норме внесения 500 кг/га годовой экономический эффект составил 145 747 руб. В производственных условиях при внесении органо-минеральных удобрений на полях с рапсом получена прибавка урожая 8-10%.

Заключение

1. При внесении гранулированных органо-минеральных удобрений целесообразно применение кузовного низкорамного разбрасывателя с пневмомеханическими рабочими органами на горизонтальной оси вращения.

2. На основании теоретических исследований и экспериментальной проверки установлены следующие параметры разбрасывателя: радиус ротора — 400 мм; частота вращения ротора — 800 мин⁻¹; геометрические размеры лопаток — 200 x 400 мм; угол установки лопаток — 12°; форма лопаток — желобообразная; количество лопаток — 5 шт; угол наклона выгрузного окна ротора к горизонту — 35°.

3. Устойчивое транспортирование частиц удобрения, исключение вертикального веерного распределения и увеличение плотности потока выбрасываемых удобрений достигается установкой дефлектора параболической формы, длиной 565 мм.

4. Экспериментальная проверка разбрасывателя показала, что при подаче удобрений 5 кг/с., обеспечивается доза внесения от 300-2000 кг/га., при рабочей ширине внесения до 18 м. Неравномерность распределения - 9,81% с возможным перекрытием смежных проходов до 1 м.

5. Производительность агрегата в зависимости от нормы внесения, регулируемая, в основном, скоростью движения агрегата и достигает 19,28 га/ч.

6. При использовании машины в условиях пересеченного рельефа местности, на склонах до 12°, необходима установка кузова в горизонтальное положение с использованием стабилизирующего устройства бокового крена.

7. Годовой экономический эффект от внедрения экспериментального разбрасывателя составил 145 747 руб.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Шварц А.А. Конструктивные особенности и результаты работы разбрасывателя органо-минеральных удобрений / А.А. Шварц, Б.П. Беседин, Е.Ю. Колесников // Вестник Курской ГСХА. - 2015. - №7. - С. 186-188.

2. Шварц А.А. Конструктивные особенности и экспериментальная проверка двух барабанного разбрасывателя минеральных удобрений / А.А. Шварц, Е.Ю. Колесников, Б.П. Беседин // Вестник Курской ГСХА. - 2015. - №8. - С. 227-229.

3. Шварц А.А. Обоснование конструктивно-режимных параметров рабочего органа низкорамного разбрасывателя удобрений / А.А. Шварц, Б.П. Беседин, Е.Ю. Колесников // Вестник Мичуринского ГАУ. - 2015. - №3. - С. 203-207.

4. Шварц А.А. Аналитическое исследование движения удобрений по дефлектору разбрасывателя сыпучих минеральных и органоминеральных удобрений / А.А. Шварц, Б.П. Беседин // Вестник Курской ГСХА. -2016. - №7. - С. 66-69.

5. Шварц А.А. Стабилизация пространственного положения кузовного низкорамного разбрасывателя удобрений / А.А. Шварц, Б.П. Беседин // Вестник Курской ГСХА. - 2016. - №7. - С. 73-76.

Статьи в других изданиях

6. Беседин Б.П. Обзор машин для внесения твердых органических удобрений / Б.П. Беседин // Научное обеспечение агропромышленного производства материалы Международной научно-практической конференции / Курская ГСХА. - Курск 2014. - часть 2. - С. 78-79.

7. Беседин Б.П. Обзор конструкций машин для внесения органических удобрений / Б.П. Беседин // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы 7 (VII) научно-практической конференции молодых ученых / Красноярский ГАУ. - Красноярск 2015. - С. 181-182.

8. Беседин Б.П. Характеристика органо-минеральных удобрений / Б.П. Беседин // Агропромышленный комплекс: контуры будущего: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Курская ГСХА. - Курск 2016. - ч. 1. - С. 10-11.

9. Беседин Б.П. Влияние органо-минеральных удобрений на урожайность яровой пшеницы. / Б.П. Беседин, Е.Ю. Колесников // Агропромышленный комплекс: контуры будущего: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Курская ГСХА. - Курск 2016. - ч. 1. - С. 11-13.

10. Колесников Е.Ю. Разработка низкорамного двух барабанного разбрасывателя минеральных удобрений / Е.Ю. Колесников, Б.П. Беседин // Агропромышленный комплекс: контуры будущего: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. / Курская ГСХА. - Курск 2016. - ч. 1. - С. 73-75.

11. Шварц А.А. Анализ основных факторов определяющих качество поверхностного внесения органо-минеральных удобрений / А.А. Шварц, Б.П. Беседин, Е.Ю. Колесников // Актуальные вопросы инновационного развития агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции / Курская ГСХА. - Курск 2016. - ч. 2. - С. 176-179.

12. Колесников Е.Ю. Показатели работы двух барабанного разбрасывателя минеральных удобрений. / Е.Ю. Колесников, Б.П. Беседин // Актуальные вопросы инновационного развития агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции / Курская ГСХА. - Курск 2016. - ч. 2. - С. 200-204.

Патенты

13. Пат. 165224 Российская федерация, МПК А01С 17/00. Рабочий орган устройства для внесения твердых минеральных и органо-минеральных удобрений [Текст] / Шварц А.А., Беседин Б.П., Колесников Е.Ю. ; заявитель и патентообладатель Курская ГСХА. - № 2016100776/13 ; заявл. 12.01.16 ; опубл. 10.10.16, Бюл. № 28. - 3 с. : ил.

14. Пат. 166958 Российская федерация, МПК А01С 17/00. Двухбарабанный разбрасыватель минеральных удобрений [Текст] / Шварц А.А., Беседин Б.П., Колесников Е.Ю. ; заявитель и патентообладатель Курская ГСХА. - № 2016105365/13 ; заявл. 17.02.16 ; опубл. 20.12.16, Бюл. № 35. - 4 с. : ил.

15. Пат. 166959 Российская федерация, МПК А01С 15/00. Рабочий орган устройства для внесения твердых минеральных и органо-минеральных удобрений [Текст] / Шварц А.А., Беседин Б.П., Колесников Е.Ю. ; заявитель и патентообладатель Курская ГСХА. - № 2015152882/13 ; заявл. 09.12.15, опубл. 20.12.16, Бюл. № 35. - 4 с. : ил.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 и выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева д.13, ученому секретарю. Телефон (473) 224-39-39, 8-900-924-5638, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.