

На правах рукописи



Андреев Константин Петрович

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ
ОРГАНОВ САМОЗАГРУЖАЮЩЕЙСЯ МАШИНЫ ДЛЯ
ПОВЕРХНОСТНОГО ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ
УДОБРЕНИЙ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2017

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Значительная часть твердых минеральных удобрений вносится посредством рассева их по поверхности полей с использованием центробежных машин. Широкое применение центробежных машин обусловлено целым рядом их преимуществ: высокая производительность, широкий диапазон доз внесения, достаточно простая и компактная конструкция, возможность использования твердых минеральных удобрений с различными физическими свойствами. Одним из недостатков центробежных машин остается значительная неравномерность распределения удобрений по полю.

Характерной особенностью применения минеральных удобрений стала поставка их в упакованном виде в мягких одноразовых контейнерах с массой 0,5÷1,0 т. В этих контейнерах они поступают в сельскохозяйственные предприятия и хранятся в них до использования, что обеспечивает их лучшую сохранность.

Для загрузки минеральных удобрений в бункеры машин используют имеющиеся в хозяйстве или привлеченные грузоподъемные устройства, в период весенне-полевых работ.

В связи с этим весьма перспективным и актуальным в этом направлении представляется разработка новых научно-обоснованных технических решений рабочих органов самозагружающейся машины для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений, включающей навесное центробежное устройство, агрегируемое с подъемником мягких одноразовых контейнеров массой до 1 т, что является важной народнохозяйственной задачей.

Степень разработанности темы.

Проблемами увеличения производительности машин при внесении минеральных удобрений и снижения неравномерности распределения минеральных удобрений с использованием центробежных машин занимались ученые: Василенко П.М., Гловацкий Б.Г., Догоновский М.Г., Дьячков А.П., Забродин В.П., Кегелес Е.С., Макаров В.А., Марченко Н.М., Назаров С.И., Нефедов Б.А., Овчинникова Н.Г., Рядных В.В., Скурятин Н.Ф., Тильный С.А., Хоменко М.С., Черноволов В.А., Patterson D.E., Resce A.R., Inns F.M., Hollmann W., Mathes A. и многие другие. Высоко оценивая полученные результаты, отраженные в работах вышеназванных авторов, необходимо отметить, что в них недостаточно полно рассматриваются процессы погрузки и разгрузки мягких контейнеров типа «Биг-Бэг», а так же влияние конструкции дозирующих устройств на равномерность распределения удобрений по поверхности почвы.

Диссертация выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО РГАУ на 2016-2020 г.г. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» и программой по основным научным направлениям Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева.

Цель исследования – повышение производительности и качества внесения минеральных удобрений самозагружающейся центробежной машиной.

Объект исследования – параметры рабочих органов самозагружающейся машины для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений

Предмет исследования – закономерности влияния параметров рабочих органов самозагружающейся машины на производительность и качество внесения удобрений

Научная новизна заключается в разработке математической модели перемещения гранул удобрений по лопасти ворошителя и силового взаимодействия лопасти ворошителя с удобрениями, получении аналитических зависимостей процесса

резания оболочки мягкого контейнера, с учетом её прогиба в зоне резания и углов лезвий ножа, математической модели влияния параметров питателя на качество внесения удобрений.

Практическая значимость работы. Обоснованы и экспериментально уточнены конструктивные параметры питателя самозагружающейся машины для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений, а также параметры формы ножа и углов его лезвий самозагружающейся машины для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений. Усовершенствованный процесс работы самозагружающейся машины для внесения минеральных удобрений, обеспечивающий повышение производительности.

Методы исследований - Теоретические исследования выполнены на основе положений, законов и методов теоретической и прикладной механики, математического анализа с использованием ЭВМ, в том числе с использованием программы Statistica, MatCad. Обоснование конструктивных параметров и расчет эксплуатационных показателей центробежной машины для внесения минеральных удобрений проводилось как по известным, так и по разработанным оригинальным методикам. При выполнении экспериментальных исследований использовались известные методики и разработанные на их основе частные. Экспериментальные исследования эксплуатационных показателей машины для внесения минеральных удобрений выполнены с использованием теории планирования полно факторного эксперимента. Обработка результатов исследований проведена с использованием методов математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

Параметры рабочих органов конструктивно-технологической схемы самозагружающейся машины для внесения минеральных удобрений.

Теоретически обоснованные параметры рабочих органов самозагружающейся машины для внесения удобрений.

Результаты исследований параметров рабочих органов самозагружающейся машины при растаривании мягких контейнеров типа «Биг-Бэг».

Технико-экономическая оценка результатов исследования.

Достоверность результатов исследований. Достоверность научных положений работы обусловлена обоснованностью принятых допущений при разработке математических моделей, сходимостью полученных экспериментальных результатов с теоретическими исследованиями (расхождение составило 5%) при точности 95%.

Апробация работы. Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по тематике исследования, и прошли широкую апробацию в печати, на международных научно-практических конференциях. Основные материалы диссертационной работы были доложены, обсуждены и получили положительную оценку на следующих конференциях: международная научно-практическая конференция «Современное состояние и пути развития» г. Оренбург 2016; национальная научно-практическая конференция «Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России» г. Рязань 2016; международная научно-практическая конференция «Теоретический и практический взгляд» г. Ижевск 2016; международная научно-практическая конференция «Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве» г. Рязань 2017; международная молодежная научная конференция «Юность и Знания - Гарантия Успеха-2017» г. Курск.

Реализация результатов исследований. Разработанное устройство для внесения минеральных удобрений применяются в КФХ «Зорька» и колхозе «Шелковской» Рязанской области.

Вклад автора в решение поставленных задач состоит в разработке и формулировании цели работы, выборе методов исследований, совершенствовании рабочих органов, получении экспериментальных результатов, изложенных в диссертации и обобщении положений по повышению производительности самозагружающейся машины для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ из которых 2 являются самостоятельно написанные, получено 3 патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы, включающего 137 наименования, в том числе 10 источников на иностранных языках, и приложений. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста и содержит 61 рисунок, 10 таблиц.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сущность выполненной работы, сформирована цель работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследований» проведен анализ технологий внесения минеральных удобрений, конструкций отечественных и зарубежных машин для внесения минеральных удобрений и перспектив их совершенствования. Также рассмотрены средства для хранения и транспортировки твердых минеральных удобрений. Анализ научных работ известных ученых занимающихся вопросами механизированного внесения удобрений показал, что в настоящее время перспективным является повышение производительности и качества внесения удобрений путем применения усовершенствованных рабочих органов.

Анализ конструкций машин для внесения удобрений показал, что использование современных мягких контейнеров типа «Биг-Бэг» не в полной мере сочетается с существующими машинами, что может приводить к снижению качественных показателей работы. В связи с этим необходимо исследовать процесс растаривания мягких контейнеров и процесс движения удобрений в зоне ворошителя и дозирующего устройства. Таким образом, с учетом вышеизложенного были сформулированы следующие **задачи исследования:**

1. Провести анализ технологий и машин для внесения удобрений и разработать конструктивно-технологическую схему самозагружающейся машины для внесения минеральных удобрений.

2. Теоретически обосновать параметры рабочих органов самозагружающейся машины при растаривании мягких контейнеров типа «Биг-Бэг».

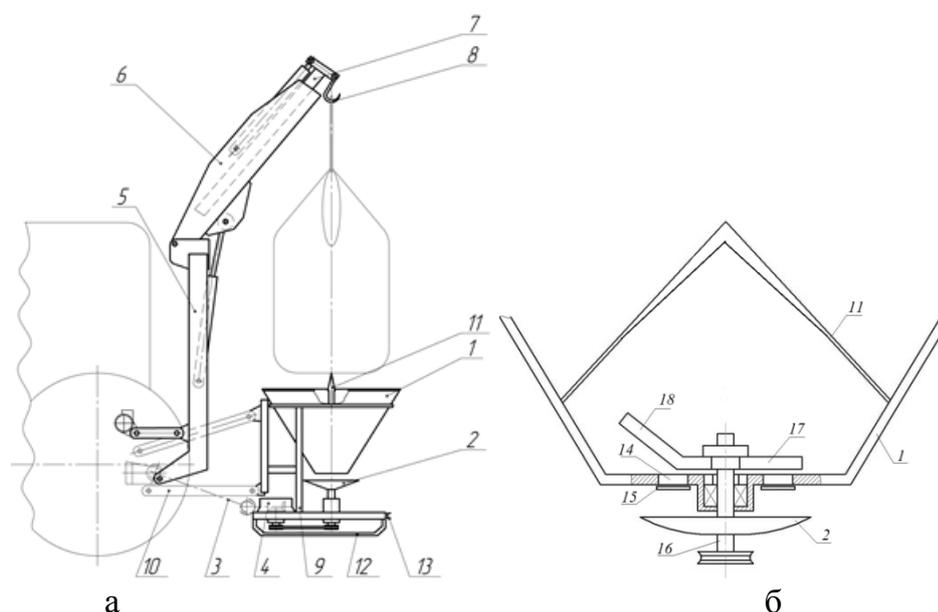
3. Экспериментально исследовать параметры рабочих органов самозагружающейся машины при растаривании контейнеров.

4. Провести экспериментальные исследования самозагружающейся машины в производственных условиях.

5. Оценить экономический эффект применения экспериментальной самозагружающейся машины для внесения минеральных удобрений.

Во второй главе «Теоретические исследования рабочих органов самозагружающейся машины для внесения удобрений» На основании проведенного анализа зарубежных и отечественных машин и погрузчиков минеральных удобрений была разработана конструктивно-технологическое решение самозагружающейся машины для внесения удобрений, теоретически исследованы и обоснованы параметры рабочих органов самозагружающейся машины, выбраны направления проведения экспериментальных исследований.

Конструктивно-технологическая схема самозагружающейся машины для внесения твердых минеральных удобрений (рисунок 1.а) состоит из бункера-питателя 1 и разбрасывающего диска 2 с механизмом привода, включающим карданную передачу 3 и конический редуктор 4; грузоподъемного устройства, состоящего из вертикальной стойки 5, с шарнирно закрепленным рычажным элементом 6 и выдвижной секцией 7, на внешнем конце которой установлен крюковой захват 8. Перемещение грузоподъемного устройства должно обеспечиваться силовыми цилиндрами, связанными с гидросистемой трактора.



1-бункер-питатель, 2-центробежный разбрасывающий диск с механизмом привода, 3-карданная передача, 4-конический редуктор, 5- вертикальная стойка грузоподъемного устройства, 6-рычажный элемент, 7-выдвижная секция, 8-крюковой захват, 9-несущая рама, 10-силовые тяги, 11-нож, 12-рама в виде опор-лыж, 13-сцепное устройство, 14-дозировочные щели, 15-дозировочные заслонки, 16-приводной вал, 17-ворошитель, 18-лопасть ворошителя с углами подъема и поворота
а – общий вид; б - питатель.

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема самозагружающейся машины для внесения удобрений.

Бункер 1 посредством несущей рамы 9 шарнирно установлен на силовых тягах 10 навесной системы трактора. Внутри бункера в нижней его части установлен пирамидальный четырех лезвийным нож 11. Бункер имеет выпускное отверстие, выполненное с возможностью регулировки его пропускной способности, и под которым установлен разбрасывающий диск 2. Несущая рама 9 бункера удлинена и в нижней части выполнена в виде опор-лыж 12, на поперечной связи которых установлено сцепное устройство 13. Предложенная конструкция позволит улучшить

эксплуатационно-технологические характеристики самозагружающейся машины для внесения удобрений.

Эффективность внесения минеральных удобрений зависит от соблюдения высокой равномерности распределения удобрений, при этом, важное значение придается работе бункера-питателя.

В нижней части бункера - питателя 1 расположены дозирующие щели 14 с дозирующими заслонками 15. На приводном валу 16 разбрасывающего диска 2 имеется ворошитель 17 с лопастью 18, расположенной под углом подъема α и углом поворота β .

В процессе перемещения трактора по полю минеральные удобрения из мягкого контейнера поступают к выпускным дозирующим отверстиям бункера-питателя и далее на разбрасывающий диск. Для стабилизации процесса истечения минеральных удобрений из мягкого контейнера в бункере используется ворошитель, обеспечивающий посредством вращения разрушение комков и локально-слежавшихся масс сыпучего материала и снижение возможности сводообразования. При внесении удобрений ворошитель воздействует на истекающие массы до полного растаривания мягкого контейнера и способствует равномерной подаче их к разбрасывающему диску, что, в конечном итоге, ведет к повышению качественных показателей процесса внесения минеральных удобрений.

Частица удобрения, находящаяся на лопасти ворошителя совершает сложное движение, которое состоит из переносного вращательного движения вместе с лопастью и относительного движения по лопасти. Учитывая, что для обеспечения заданной ширины захвата вал разбрасывающего устройства должен вращаться с постоянной угловой скоростью, принимаем, что скорость ворошителя, закрепленного на том же валу, постоянна. Лопать ворошителя расположена на расстоянии от центра вращения с углом подъема α и углом поворота β . Рассмотрим движение в системе координат XYZ (рисунок 2).

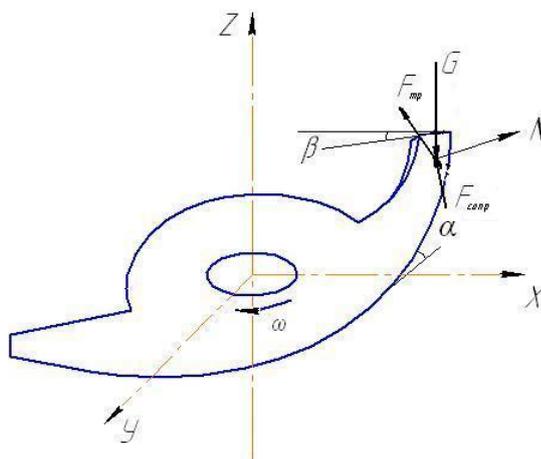


Рисунок 2 – Расчетная схема движения частиц удобрений относительно ворошителя.

Приложим к частице активные силы:

G – вес частицы ($G=mg$), Н;

где m – масса частицы, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

$F_{\text{сопр}}$ – силу сопротивления ($F_{\text{сопр}}=k\omega\rho$), Н;

где k – коэффициент вязкости среды, Н/(м/с) ;

ω – угловая скорость ворошителя, $1/\text{с}$;

ρ – текущий радиус расположения частицы, м.

Направление силы сопротивления примем противоположным окружной скорости лопатки ворошителя.

Реакциями связей частицы являются:

N – сила нормального давления, Н;

F_{mp} – сила трения ($F_{mp}=fN$), Н;

где f – коэффициент трения частицы о лопасть.

Спроектировав силы на ось координат, запишем основное уравнение динамики. Так как силы инерции находятся в плоскости, перпендикулярной оси вращения, то для вертикальной оси можем записать:

$$\sum F_z=0; N \sin \alpha - f N \cos \alpha - m g=0, \quad (1)$$

Из уравнения (1) получим значение силы нормального давления

$$N = \frac{mg}{\sin \alpha - f \cos \alpha}, \quad (2)$$

где α – угол подъема лопасти ворошителя.

Тогда значение силы трения будет равно:

$$F_{mp} = fN = \frac{fmg}{\sin \alpha - f \cos \alpha}, \quad (3)$$

Запишем дифференциальное уравнение движения частицы в выбранной системе координат.

$$\left\{ \begin{array}{l} m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{comp} \sin(\omega t) + N \sin \alpha \cos \beta \sin(\omega t) + F_{mp} \cos \alpha \cos \beta \sin(\omega t) \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = F_{comp} \cos(\omega t) + N \sin \alpha \cos \beta \cos(\omega t) + F_{mp} \cos \alpha \cos \beta \cos(\omega t) \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} = -F_{mp} \sin \alpha \cos \beta + N \cos \alpha \cos \beta - G \end{array} \right. , \quad (4)$$

где β – угла поворота лопасти ворошителя.

Для простоты преобразований постоянные величины обозначим:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_x = \frac{k}{m} \omega \rho + \frac{g(\sin \alpha \cos \beta + fg \cos \alpha \cos \beta)}{\sin \alpha - f \cos \alpha} \\ \lambda_y = \frac{k}{m} \omega \rho + \frac{g \sin \alpha \cos \beta + fg \cos \alpha \cos \beta}{\sin \alpha - f \cos \alpha} \\ \lambda_z = \left[\frac{\cos \alpha \cos \beta - f \sin \alpha \cos \beta}{\sin \alpha - f \cos \alpha} - 1 \right] \end{array} \right. , \quad (5)$$

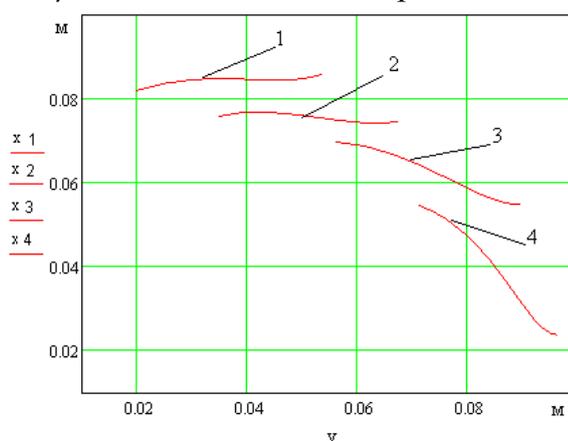
Дважды проинтегрировав выражение (5) получим выражение для закона движения частицы по лопасти ворошителя:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = x_0 + \left(V_{ox} + \frac{\lambda_x}{\omega} \right) t - \frac{\lambda_x}{\omega^2} \sin(\omega t) \\ y = y_0 + V_{oy} t + \frac{\lambda_y}{\omega^2} (1 - \cos \omega t) \\ z = z_0 + V_{oz} t + \frac{\lambda_z g t^2}{2} \end{array} \right. , \quad (6)$$

На основе полученных выражений (6) было проведено математическое моделирование в программе MathCAD для различных углов установки ворошителя α и β . Также варьировались масса гранул удобрений и коэффициент трения удобрений о

материал ворошителя. Обоснованный выбор углов установки лопасти ворошителя обеспечивает движение вдоль её поверхности по рациональной траектории, что способствует повышению равномерности подачи (рисунок 3). Полученные значения углов обеспечивают минимальные нагрузки – создают предпосылки для снижения измельчения гранул удобрений.

Анализ траекторий движения частиц удобрений показал, что при движении ворошителя происходит перемещение частиц к периферии. Так как выгрузка удобрений происходит из центральной части мягкого контейнера, в зоне над дозирующими щелями образуется зона повышенного давления. Обеспечение движения удобрений в зоне дозирования способствует снижению возможности сводообразования. В результате математического моделирования установлено, что для повышения равномерности дозирования угол подъема лопасти ворошителя α должен находиться в диапазоне 17...21 град, а угол наклона β в диапазоне 10...12 град.



1..4 – траектории гранул в горизонтальной плоскости.

Рисунок 3 – Траектории движения гранул удобрений под действием ворошителя в зависимости от первоначального положения.

Для определения усилий, возникающих при действии ворошителя на слой удобрений, были сделаны следующие допущения:

- 1) слой удобрений идеально эластичен, то есть не сжимаем, не сопротивляется изгибу;
- 2) клиновые части ворошителя не совершают работу по резанию и измельчению частиц удобрений;
- 3) движение ворошителя можно считать равномерным, так как он вращается с постоянной угловой скоростью ω .

Теоретические исследования энергозатрат ворошителя позволили установить, что мощность, необходимая для привода ворошителя определяется выражением:

$$P = mg \left[\frac{f \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\left(\cos \alpha \left[\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right] \right)} - \operatorname{tg} \alpha \right] \cdot \omega \cdot \rho_{cp}, \quad (7)$$

где ρ_{cp} – средний радиус расположения лопасти ворошителя, м.

После исследования полученной модели (7) в программе MathCad был построен график зависимости мощности, требуемой на привод ворошителя, от угла подъема лопасти (рисунок 4).

Анализ графика показал, что с увеличением угла подъема лопасти α мощность, требуемая на привод ворошителя, существенно увеличивается. При построении модели было учтено взаимодействие гранул удобрений только с основной поверхностью лопасти. Мощность на перемещение частиц удобрений по лопасти может составлять до 100-150 Вт. При этом интенсивный рост мощности наблюдается при углах подъема лопасти ворошителя более 30 градусов. Полученные рациональные значения углов постановки лопасти не превышают допустимых значений. Следует отметить, что взаимодействие торцевых поверхностей ворошителя может существенно повысить мощность на привод, особенно при попадании частиц между ворошителем и корпусом разбрасывающего устройства. Расчеты показали, что общая мощность на привод ворошителя складывается из мощности на преодоление сил трения, взаимодействия торцевых поверхностей ворошителя, транспортировки частиц удобрений, и не превышает 1,5 кВт.

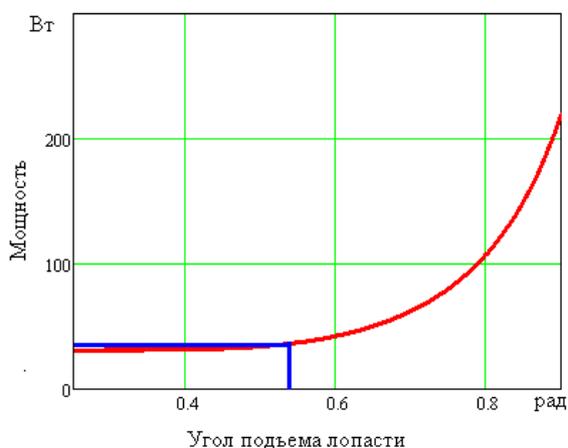


Рисунок 4 – Зависимость мощности, требуемой на привод ворошителя, от угла подъема лопасти.

Расстаривание мягких контейнеров типа «Биг-Бэг» самозагружающейся машиной для внесения минеральных удобрений происходит с помощью ножа в виде пирамиды с квадратным основанием, ребра которой выполнены в виде лезвий. Эффективность работы резания $A_{рез}$ оболочки мягкого контейнера будет характеризоваться коэффициентом полезного действия ножа. Рассмотрим схему резания оболочки (рисунок 5):

Работа резания будет определяться:

$$A_{рез} = P_{рез} (h - h_{np}), \quad (8)$$

где: $P_{рез}$ – усилие резания, Н;

h – перемещение ножа при образовании необходимого разреза, м;

h_{np} – величина прогиба, связанная с растяжением полотна мягкого контейнера при воздействии ножа, м.

Прогиб полотна мягкого контейнера зависит от натяжения полотна и формы ножа.

$$h_{np} = \epsilon_{растяж} \cdot \sin \alpha_{np}, \quad (9)$$

где $\epsilon_{растяж}$ – ширина растянутой зоны оболочки мягкого контейнера, м;

α_{np} – угол прогиба, град.

Тогда работа растяжения тканей мягкого контейнера будет определяться следующим выражением:

$$A_{\text{растяж}} = P_{\text{растяж}} \cdot \epsilon_{\text{растяж}}, \quad (10)$$

где $P_{\text{растяж}}$ - усилие растяжения оболочки мягкого контейнера, Н.

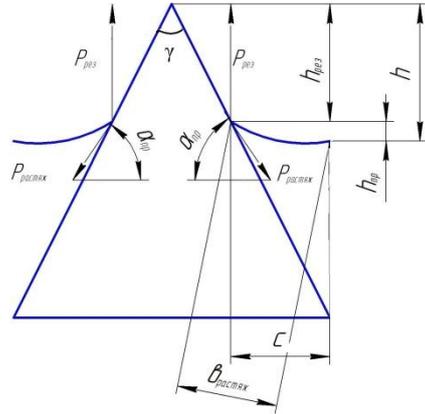


Рисунок 5 – Схема резания оболочки мягкого контейнера.

Подставив значения (9) в выражение (10), получим:

$$A_{\text{растяж}} = P_{\text{растяж}} \cdot \frac{h_{\text{пр}}}{\sin \alpha_{\text{пр}}}, \quad (11)$$

С учетом принятых допущений получим упрощенное выражение для расчета усилий резания оболочки ножом:

$$P'_{\text{рез}} = \frac{P_{\text{рез}} \left(h - \frac{h_{\text{пр}}}{2} \right)}{l_{\text{ножа}} \cos \gamma}, \quad (12)$$

где $l_{\text{ножа}}$ – длина ножа, м;

γ – угол заострения ножа, град.

Таким образом, установлено, что процесс резания оболочки мягкого контейнера Биг-Бэг будет зависеть от первоначального прогиба мягкой оболочки в зоне резания и углов лезвий ножа. Рациональной величиной угла заострения ножа (угла установки лезвий при вершине) является 38 град, что соответствует работе резания около 12 Дж.

В третьей главе «Программа и методики экспериментальных исследований» представлены программа, общие (ГОСТ 28714-2007, ГОСТ Р 52778-2007) и частные методики экспериментов.

Программа экспериментальных исследований имела своей целью уточнение теоретических значений, полученных в результате исследования, а также обоснование рациональных значений параметров рабочих органов машины для внесения минеральных удобрений. Программа включала экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях: исследования влияния гранулометрических характеристик удобрений на их прочностные свойства; экспериментальные исследования эффективности работы подающих устройств; исследования процесса растаривания мягких контейнеров удобрений типа «Биг-Бэг»; полевые исследования предлагаемой машины для внесения минеральных удобрений; исследование схемы транспортировки, загрузки и внесения минеральных удобрений.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты экспериментальных исследований, предусмотренных программой, определены рациональные параметры рабочих органов

самозагружающейся машины для внесения минеральных удобрений, уточнены операции технологического процесса доставки и внесения минеральных удобрений.

Исследование эффективности предлагаемого ворошителя проводили в КФХ «Зорька». В ходе эксперимента исследовалось влияние углов установки лопасти ворошителя на изменение производительности подающего устройства.

В результате получено уравнение регрессии, которое характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0,881$ и коэффициентом корреляции $R = 0,939$, что показывает высокую достоверность соответствия полученных данных уравнениям регрессии.

$$\text{Var1} = -290 + 51,6667 \cdot x + 14,6667 \cdot y - 1,4 \cdot x^2 + 0,4 \cdot x \cdot y - 1,2 \cdot y^2, \quad (13)$$

где Var1- доза внесения, кг/га;

x –угол подъема лопасти ворошителя, град;

y –угол поворота лопасти ворошителя, град.

Наибольшую значимость на дозу внесения оказывает угол подъема лопасти ворошителя. На основании представленного уравнения регрессии был построен график зависимости дозы внесения от углов подъема и поворота лопасти ворошителя (рисунок 7).

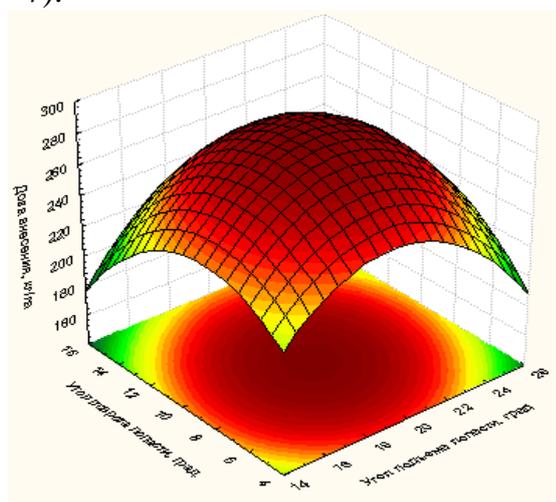


Рисунок 7 – График зависимости дозы внесения от углов подъема и поворота лопасти ворошителя

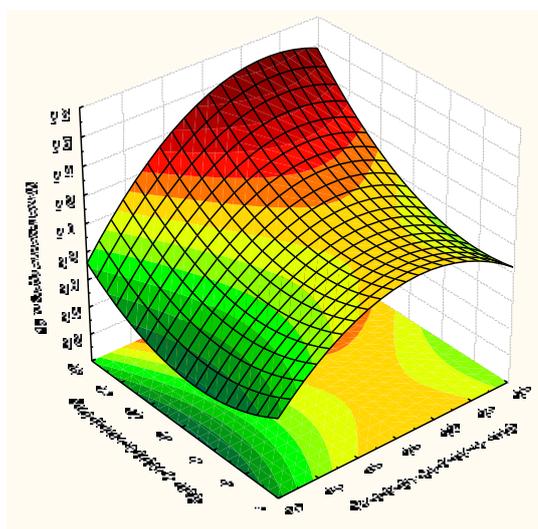


Рисунок 8 – График зависимости измельчения гранул удобрений от углов подъема и поворота лопасти

Анализ зависимости дозы внесения удобрений от конструктивных параметров лопасти ворошителя, показывает, что рациональным значением является угол поворота лопасти 10 град, а угол подъема лопасти 20 град, что соответствует дозе внесения около 290 кг/га.

Измельчение гранул удобрений при воздействии усовершенствованного ворошителя оценивалось параллельно с исследованием влияния углов ворошителя на дозу внесения. В результате получено уравнение регрессии, которое характеризуется коэффициентом детерминации $R^2=0,961$ и коэффициентом корреляции $R =0,980$, что показывает высокую достоверность соответствия полученных данных уравнениям регрессии.

$$\text{Var2} = 0,0111 + 0,4333 \cdot x - 0,19 \cdot y - 0,0107 \cdot x^2 + 0,004 \cdot x \cdot y + 0,0073 \cdot y^2, \quad (14)$$

где Var2- измельчение гранул, %;

x –угол подъема лопасти ворошителя, град;

у – угол поворота лопасти ворошителя, град.

В результате статистического анализа было выявлено, что наиболее значимым фактором, влияющий на измельчение в эксперименте, является угол подъема лопасти, хотя на графике можно увидеть, что дальнейшее увеличение угла поворота лопасти может существенно увеличить измельчение гранул (рисунок 8).

Анализ графика показал, что зона рациональных параметров ворошителя совпадает с ранее установленными параметрами в предыдущем эксперименте. По итогам лабораторных исследований установлены рациональные параметры ворошителя: угол поворота лопасти 10 град, а угол подъема лопасти 20 град, что соответствует дозе внесения около 290 кг/га и измельчения гранул удобрений 4,02 %.

В лабораторных условиях проводились исследования по установлению зависимости работы резания от угла при вершине пирамидального ножа и натяжения мягкого контейнера типа «Биг-Бэг». Обработка полученных опытных данных позволило получить уравнение регрессии, адекватность которого подтверждена коэффициентом детерминации $R^2 = 99,3$ и коэффициентом корреляции $R = 0,996$.

$$\text{Var3} = 6,2786 - 0,3264 \cdot x + 0,0977 \cdot y + 0,0107 \cdot x^2 - 3,3333x \cdot y - 0,0003 \cdot y^2, \quad (15)$$

где Var3 - работа резания Дж,

x - угол при вершине ножа, град;

y - прогиб полотна мягкого контейнера, мм.

Анализ значимости коэффициентов уравнения регрессии показал, что наиболее значимым фактором будет угол при вершине ножа, а влияние прогиба полотна мягкого контейнера типа «Биг-Бэг» значительно меньше.

Полевые исследования эффективности работы машины для внесения удобрений с различными ворошителями проводились в КФХ «Зорька». Эффективность работы машины для внесения удобрений оценивали по неравномерности внесения удобрений. Испытания проводились в установившемся рабочем режиме на скорости 6,8 км/ч, что соответствует 3 передачи трактора Беларусь 1025.2. После прохода агрегата для внесения удобрений бумагу с прилипшими удобрениями фотографировали с помощью камеры, на всем участке проводимого эксперимента.

Полученные в ходе лабораторных исследований рациональные параметры ворошителя – угол подъема лопасти 20 град, угол поворота лопасти 10 град, проверялись в полевых условиях (рисунок 9), в ходе которых было установлено, что неравномерность внесения удобрений на рабочей ширине захвата составила 23,4 %, а по ходу движения агрегата – 9,8 %; нестабильность внесения дозы удобрений получена 4,2%. Полевая проверка работы ворошителя машины для внесения удобрений с рациональными параметрами показала высокое качество работы и при других дозах внесения.



Рисунок 9 – Экспериментальные исследования СЗМВУ-0,5 в полевых условиях

Хронометражное исследование процесса доставки и внесения минеральных удобрений, путем замера, проводили в колхозе «Шелковской». В ходе эксперимента определялись затраты времени на погрузку мягких контейнеров «Биг-Бэг» с удобрениями из штабеля в прицеп, и из тракторного прицепа; на транспортировку удобрений на поле; на внесение удобрений, а также изучение, обобщение и распространение рациональных методов и приемов работы передовых рабочих: проверки возможности совмещений и синхронизации работ и в целях полной загрузки агрегатов, оборудования и рабочих-операторов.

Во время исследования осуществлялся визуальный контроль процесса внесения минеральных удобрений, а также был проведен анализ и выполнена обработка результатов наблюдения.

Анализ полученных результатов показал, что наиболее эффективной будет организация работ с применением прицепа, которая сокращает время погрузочно-транспортных работ, особенно при удалении поля от склада удобрений. Удобрения вносятся СЗМУ-0,5 емкостью бункера 1000 л, шириной захвата 17 м. Рабочая скорость 7 км/ч, средняя транспортная скорость 10 км/ч. Удобрения в контейнерах «Биг-Бэг» по 0,85 т. Производительность агрегата в поле, не считая загрузок, будет примерно 8,02 га/час. Один контейнер будет выработываться за 22 минуты. Загрузка займет максимум 5 минут. Таким образом, один цикл с учетом непроизводительных потерь времени составляет 29 минут. За 8 часовую смену это составит 4 полных оборотных цикла, или около 32,08 га.

В пятой главе «Расчет экономического эффекта от внедрения самозагружающейся машины для внесения минеральных удобрений» приведен расчет экономического эффекта от повышения качественных показателей работы предлагаемой машины для внесения минеральных удобрений

Для определения экономического эффекта путем сравнения существующей машины и предлагаемой самозагружающейся машины для внесения минеральных удобрений, были использованы рекомендуемые методы экономической оценки ГОСТ 53056-08. В качестве исходных данных для расчета использовались нормативные документы и литературные источники.

Результаты расчетов экономического эффекта предлагаемых решений показывают, что эффект достигается как за счет снижения эксплуатационных затрат, так и за счет повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Общий экономический эффект от внедрения предложенных решений составляет 405,2 рублей с 1 га.

В шестой главе «Перспективы развития самозагружающихся машин для внесения удобрений»

В дальнейшей перспективе научных исследований необходимо продолжить работу в направлении совершенствования конструкций самозагружающихся машин для внесения удобрений. Анализ существующих самозагружающихся машин показал, что при организации работы навесные и полунавесные машины для внесения удобрений, несмотря на преимущества, имеют небольшой объем бункера. Самозагружающиеся машины для внесения удобрений позволяют повысить производительность за счет механизации процесса разгрузки минеральных удобрений и увеличения объема бункера за счет мягких контейнеров. Совмещение процесса механизированной погрузки мягких контейнеров с минеральными удобрениями в бункер с подготовкой их к внесению – растаривание, сепарация, разрушение слежавшихся комков и удаление посторонних включений, повышает производительность и качество работы разбрасывателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Эффективность внесения минеральных удобрений зависит от соответствия дозы внесения необходимой растениям. Важную роль в этом процессе играет повышение равномерности распределения удобрений. Конструктивно-технологическая схема питателя расположенного в нижней части бункера должна иметь дозирующие щели с дозирующими заслонками. На приводном валу разбрасывающего диска имеется ворошитель с лопастью, установленной с углом подъема к направлению к окружной скорости и углом поворота.

2. Анализ траекторий движения частиц удобрений показал, что при работе ворошителя происходит их перемещение к периферии лопасти. Обеспечение движения удобрений в зоне дозирования способствует снижению вероятности сводообразования. В результате математического моделирования установлено, что для повышения равномерности дозирования и снижения измельчения гранул удобрений угол подъема лопасти должен находиться в диапазоне 18...21 град, угол поворота лопасти 10...12 град.

3. Лабораторно-полевыми исследованиями определено, что рациональными параметрами ворошителя являются – угол подъема лопасти 20 град, угол поворота лопасти 10 град. Неравномерность внесения удобрений на рабочей ширине захвата составила 23,4 %, а по ходу движения агрегата – 9,8 %.

4. Установлено, что процесс резания оболочки мягкого контейнера «Биг-Бэг» зависит от первоначального прогиба мягкой оболочки в зоне резания и угла резания. Рациональное значение угла установки лезвий при вершине 40 град.

5. Экономический эффект от экспериментальной самогружающейся машины для внесения минеральных удобрений составил с одного гектара 405,2 рублей, при повышении урожайности на 1,8 %.

Рекомендации производству

Совершенствование рабочих органов бункера-питателя, для использования мягких контейнеров типа «Биг-Бэг», способствует повышению производительности, снижению вероятности сводообразования, повышает равномерность внесения удобрений, а также снижает измельчение гранул. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы предприятиями, занимающимися созданием рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейшей перспективе научных исследований для небольших и фермерских хозяйств необходимо продолжить работу в направлении совершенствовании рабочих органов самогружающихся машин, с целью повышения их производительности и качества внесения твердых минеральных удобрений.

**Положения диссертации и полученные результаты отражены
в следующих основных публикациях:**

Статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК РФ:

1. Самозагружающийся разбрасыватель удобрений / Макаров В.А., Костенко М.Ю., Андреев К.П. // Механизация и электрификация сельского хозяйства, №3, 2015. С. 2-4.
2. Исследования движения частицы удобрений по лопасти ворошителя / Шемякин А.В., Андреев К.П., Костенко М.Ю., Макаров В.А., Костенко Н.А. // Вестник Рязанского государственного университета имени П.А. Костычева. 2016. № 4 (32). С. 65-68.
3. Совершенствование центробежных разбрасывателей для поверхностного внесения минеральных удобрений / Андреев К.П., Макаров В.А., Шемякин А.В., Костенко М.Ю. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2017. № 1 (33). С. 54-59.
4. Силовое взаимодействие лопасти ворошителя со слоем удобрений / Андреев К.П., Костенко М.Ю., Шемякин А.В. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 2. С. 163-167.
5. Андреев К.П. Самозагружающийся разбрасыватель минеральных удобрений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 6. С. 173-179.
6. Андреев К.П. Самозагружающийся разбрасыватель минеральных удобрений // Аграрная Россия. 2017. № 10. С. 37-42.

Патенты

7. Самозагружающийся разбрасыватель удобрений: пат. RU 2 363 133 С1, РФ, МПК А01С17/00 / В.Н. Буробин, А.М. Королев, К.П. Андреев. № 2008110352/12; заявл. 20.03.08; опубл. 10.08.09, Бюл. № 22.
8. Самозагружающийся разбрасыватель удобрений: пат. RU 2 363 134 С1, РФ, МПК А01С17/00 / В.Н. Буробин, А.М. Королев, К.П. Андреев. № 2008110353/12; заявл. 20.03.08; опубл. 10.08.09, Бюл. № 22.
9. Самозагружающийся разбрасыватель удобрений: пат. RU 2 363 135 С1, РФ, МПК А01С17/00 / В.Н. Буробин, А.М. Королев, К.П. Андреев. № 2008110354/12, заявл. 20.03.08; опубл. 10.08.09, Бюл. № 22.

Статьи в других изданиях

10. Исследование работы самозагружающегося разбрасывателя минеральных удобрений / Андреев К.П., Макаров В.А., Шемякин А.В., Костенко М.Ю. // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного университета имени П.А. Костычева, 2015 год – Рязань : ФГБОУ ВО РГАТУ, №1 . – С. 140-143.
11. Разбрасыватель минеральных удобрений с сепарацией крупных примесей / Андреев, К.П. Шемякин А.В., Костенко М.Ю., Макаров В.А. // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного университета имени П.А. Костычева, 2015 год – Рязань : ФГБОУ ВО РГАТУ, №1. – С. 241-244.
12. Андреев К.П. Исследование траектории полета частиц минеральных удобрений при работе центробежных разбрасывателей // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. – Стерлитамак, 2016.- № 117-2 – С. 105-108.
13. Устройство самозагружающегося разбрасывателя минеральных удобрений / Костенко М.Ю., Андреев К.П., Шемякин А.В. // Новая наука: Современное состояние и пути развития. – Стерлитамак, 2016.- № 11-2 – С. 136-139.

14. Устройство самозагружающегося разбрасывателя удобрений / Андреев К.П., Костенко М.Ю., Шемякин А.В. // В сборнике: Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". 2016. С. 15-18.

15. Андреев К.П. Влияние неравномерности внесения удобрений на урожайность // В сборнике: Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». 2017. С. 13-17.

16. Андреев К.П. Направление совершенствования машин для поверхностного внесения минеральных удобрений // В сборнике: Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». 2017. С. 17-21.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л.2. Тираж 100 экз. Заказ No 1327
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет имени
П. А. Костычева»
390044 г. Рязань, ул. Костычева, 1
Отпечатано в издательстве учебной литературы и учебно-методических пособий
ФГБОУВО РГАТУ 390044 г. Рязань, ул. Костычева, 1