

На правах рукописи



ЛИПАТОВ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КУЛЬТИВАТОРА-
ПОДКОРМЩИКА**

Специальность: 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

Научный

кандидат технических наук

руководитель:

Тетерин Владимир Сергеевич

Официальные

Гаджиев Парвиз Имранович,

оппоненты:

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО Министерства сельского хозяйства
Российской Федерации «Российский
государственный университет народного хозяйства
имени В.И. Вернадского», декан факультета
электроэнергетики и технического сервиса

Галич Дмитрий Сергеевич, доктор технических
наук, профессор, ФГБОУ ВО "Волгоградский
государственный аграрный университет",
заведующий кафедрой "Электроснабжение и
энергетические системы"

Ведущая

организация:

Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Федеральный исследовательский
центр картофеля имени А.Г. Лорха» (ФГБНУ
«ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»)

Защита диссертации состоится «20» декабря 2023 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Картофель - ценнейший продукт питания для человека, а также ценное сырье для пищевой промышленности. Картофель является культурой интенсивного типа. Гектар картофеля приносит в 2...4 раза больше питательных веществ, чем зерновые культуры. Картофель обладает высокой урожайностью и весьма требователен к содержанию питательных веществ в почве. Корневая система картофеля мочковатого типа слабо развита и расположена в основном в гребне на глубине не более 25 см. Поэтому для нормального развития растений необходимо создать запас доступных минеральных удобрений в гребне.

Внесение минеральных удобрений в осенний период способствует переходу минеральных веществ в доступные формы. Технология возделывания картофеля предполагает сплошное внесение твердых минеральных удобрений с культивацией. При весенней обработке удобрения распределяются по всему горизонту, что уменьшает их содержание в гребне. Внесение минеральных удобрений при посадке обеспечивает только стартовый запас питательных веществ на начальный период развития растений.

Для обеспечения растений картофеля питательными веществами необходимо разработать машины для локального внесения твердых и жидких минеральных удобрений в гребни с учетом современных тенденций ресурсосбережения.

Степень разработанности темы. Вопросом повышения эффективности производства картофеля занимались С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, К.З. Кухмазов, Н.П. Ларюшин, П.И. Гаджиев, А.Г. Пономарев, В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, А.А. Сорокин, И.А. Успенский и др., а также ряд зарубежных исследователей: R. Peters, J. Winkelmann, P.C. Struik и др. Вопросами совершенствования рабочих органов почвообрабатывающих машин занимались А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.С. Дорохов, М.Н. Чаткин, Д.С. Гапич, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович и др. Процесс внесения в гребни твердых минеральных удобрений достаточно изучен, однако не в полной мере исследованы вопросы осеннего внесения основной дозы удобрений в гребни, отсутствуют необходимые машины для локального внесения удобрений в гребни.

Работа выполнена в соответствии с «Основными направлениями НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы», тема 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских

территорий» (№ гос.рег. 122020200038-8), раздел 1.3. «Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки, хранения и переработки сельскохозяйственных культур в агропромышленном комплексе».

Цель исследования – обоснование параметров дозирующего устройства и сошника культиватора-подкормщика для внесения минеральных удобрений в гребни.

Задачи исследований:

- провести анализ существующих технологических процессов локального внесения минеральных удобрений;
- теоретически обосновать параметры культиватора-подкормщика;
- провести лабораторно-полевые исследования культиватора-подкормщика;
- провести производственную проверку культиватора-подкормщика в производственных условиях и выполнить экономическое оценку ее внедрения.

Объект исследования. Процесс локального внесения минеральных удобрений в гребни.

Предмет исследования. Теоретические и экспериментальные закономерности работы культиватора-подкормщика.

Научная новизна:

- теоретические зависимости подачи удобрений дозирующим устройством от его параметров;
- теоретические зависимости распределения минеральных удобрений по ширине борозды формируемого гребня от конструктивных параметров сошника;
- экспериментальные зависимости равномерности распределения минеральных удобрений от параметров дозирующего устройства и сошника.

Практическую значимость работы составляют:

- параметры дозирующего устройства и сошника культиватора-подкормщика;
- результаты оценки эффективности функционирования культиватора-подкормщика;
- результаты оценки экономического эффекта от внедрения культиватора-подкормщика.

Методология и методы исследования. На основе теоретической механики, математики, теории вероятности и математической статистики, проведены теоретические исследования. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и полевых условиях с использованием

стандартных и частных методик, специально разработанных для культиватора-подкормщика. Анализ полученных данных выполнялся с помощью программ «STATISTICA 8.0» и «MathCAD 15».

Основные положения, выносимые на защиту:

- теоретически и экспериментально обоснованные параметры дозирующего устройства и сошника культиватора-подкормщика;
- результаты оценки эффективности функционирования культиватора-подкормщика;
- экономический эффект от внедрения культиватора-подкормщика.

Достоверность результатов исследований. Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований составила 95%, основные положения диссертации получили положительные результаты при апробации.

Реализация результатов исследования. По результатам теоретических исследований был изготовлен опытный образец культиватора-подкормщика (ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области), который проходил экспериментальные исследования в 2021-2022 г. на общей площади 20 га.

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследований, в проведении теоретических и экспериментальных исследований, интерпретации полученных результатов, обосновании параметров культиватора-подкормщика, написании научных статей и оформлении патентных заявок.

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования обсуждены на научно-технических конференциях: Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии : Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова, Рязань, 23 ноября 2021 года; Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве : Материалы национальной научно-практической конференции, посвященной 80-летию д.т.н., профессора Бычкова Валерия Васильевича 27 января 2022 года, Рязань, 27 января 2022 года.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 7 научных работах, из них 3 статьи в источниках, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ. Получено 2 патента РФ на изобретения, 1 патент на полезную модель и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Общий объем публикаций составил 3,22 п.л., из них лично соискателю принадлежит 1,52 п.л.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 159 наименования, приложения, изложена на 119 страницах, включает 37 рисунков и 4 таблицы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

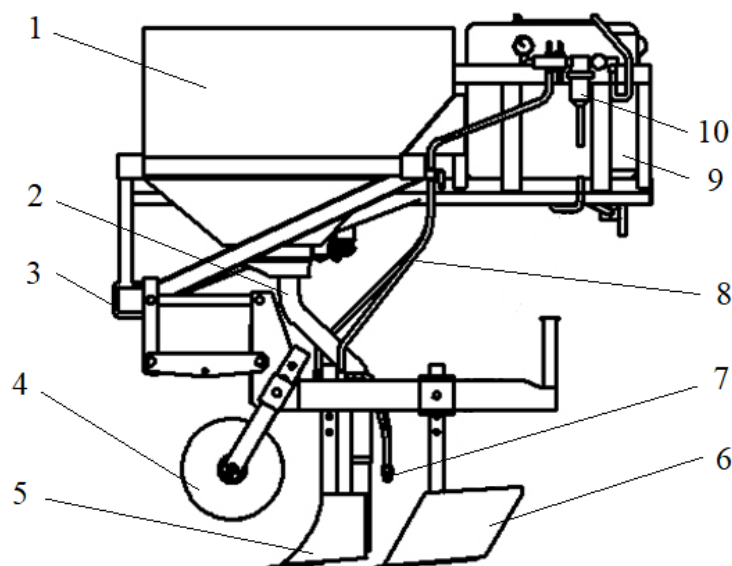
Во введении обоснована актуальность, сформулирована цель, отмечены научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Современное состояние и тенденции развития средств для локального внесения удобрений» рассмотрены современные технологии внесения удобрений в России и в мире, проведен анализ причин неоднородности урожайности и способов ее стабилизации. Рассмотрены особенности координатного внесения удобрений при возделывании картофеля, технические средства для дифференцированного и локального внесения удобрений.

Существующие культиваторы-подкормщики не удовлетворяют требованиям как внесения основной нормы удобрений, так и координатного внесения удобрений в гребни. Также не проработаны вопросы совместного внесения твердых минеральных удобрений и биопрепаратов, способствующих преобразованию их в более доступные формы. Необходимо совершенствование сошников для равномерного послойного распределения удобрения в гребне. Таким образом, необходимо разрабатывать машины и рабочие органы для координатного локального высокоточного внесения минеральных удобрений.

Во второй главе «Теоретическое обоснование параметров культиватора-подкормщика» разработана схема культиватора-подкормщика (рисунок 1).

Культиватор-подкормщик состоит из рамы 3, на которой установлен бункер для твердых минеральных удобрений 1 с дозирующими устройствами. Дозирующее устройство шнекового типа имеет регулируемое с помощью актуатора выгрузное окно. Корпус дозирующего устройства присоединен тукопроводом 2 к сошнику с рассеивателем. За сошником с рассеивателем закреплена форсунка 7. Рама культиватора-подкормщика установлена на опорных колесах 4. Окучник 6 закреплен на раме со смещением относительно сошника с рассеивателем. В задней части культиватора-подкормщика установлен бак для жидких препаратов 9, соединен шлангопроводами 8 с насосом-дозатором 10.



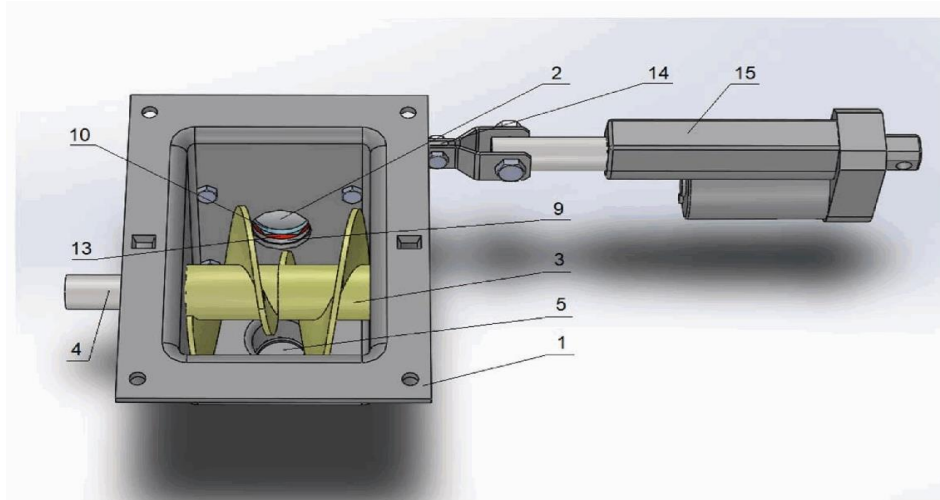
1- бункер для твердых минеральных удобрений; 2- тукопровод; 3- рама; 4- опорное колесо; 5- сошник с рассеивателем; 6- окучник; 7- форсунка; 8- шлангопроводы; 9- бак для жидких препаратов; 10- насос-дозатор

Рисунок 1 – Схема культиватора-подкормщика

Культиватор-подкормщик работает следующим образом. Перед началом работы осуществляют его загрузку твердыми минеральными удобрениями и заправку жидкими препаратами. Настройку глубины хода сошника с рассеивателем и окучника проводят с помощью опорных колес. Регулируют предварительную подачу твердых минеральных удобрений дозирующим устройством шнекового типа, окончательная норма внесения определяется на основе электронных карт заданий с помощью актуатора, изменяющего открытие выгрузного окна. Подача жидких препаратов определяется давлением насоса-дозатора и проходным сечением форсунки. При движении по полю культиватора-подкормщика сошник с рассеивателем образует борозду, в которой равномерно распределяются дозированные твердые минеральные удобрения. Жидкие препараты наносятся на гранулы твердых минеральных удобрений. Затем окучники закрывают борозду с образованием гребня. Культиватор-подкормщик имеет возможность внесения отдельно жидких препаратов и твердых минеральных удобрений, а также проводить подкормки и окучивание всходов картофеля.

Предлагаемое дозирующее устройство (рисунок 2) представляет собой корпус, имеющий выгрузное отверстие, внутри которого на валу установлен шнек со встречно направленными витками. При этом корпус соединён с выгрузным патрубком через систему дозирования, которая в свою очередь через

тягу соединена с актуатором. Система дозирования включает в себя боковую стенку корпуса и водило, которые имеют в своей конструкции направляющие пазы, при этом в пазах установлены заслонки с возможностью их перемещения внутри них, в свою очередь водило через тягу соединено с актуатором.



1 – корпус; 2 – выгрузное отверстие; 3 – составной шнек; 4 – вал; 5 – разгрузочная горловина; 9 – боковая стенка; 10 – водило; 13 – заслонка; 14 – тяга; 15 – актуатор.

Рисунок 2 – Система дозирования вид со стороны выгрузного патрубка

При работе дозирующей системы с блока управления подаётся сигнал на электропривод, который в свою очередь устанавливает скорость вращения вала с установленным составным шнеком, кроме того, с блока управления подаётся сигнал на актуатор, который перемещает тягу. В результате изменения положения тяги происходит вращение водила по часовой или против часовой стрелки в следствии чего изменяется положение заслонок. Перемещение заслонок изменяет проходное сечение выгрузного отверстия. В процессе вращения составного шнека твердые минеральные удобрения проталкиваются через выгрузное отверстие, проходя через систему дозирования, поступают в выгрузной патрубок, из которого происходит их подача в борозду.

Предлагаемая конструкция дозирующей системы подразумевает регулировку нормы внесения твердых минеральных удобрений как за счёт изменения проходного сечения выгрузного отверстия при помощи системы дозирования, так и в результате изменения частоты вращения составного шнека.

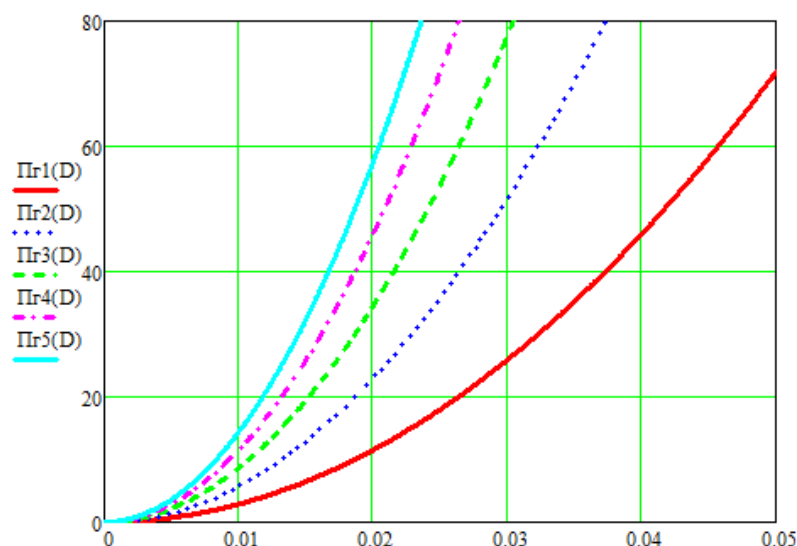
Подача удобрений шнековым дозирующим устройством определяется:

$$П_{г} = 60\sqrt{3}\rho \cdot \psi \cdot n_{ш} \cdot \pi^2 \cdot S_{ш} \cdot D^2. \quad (1)$$

где $П_{г}$ – подача удобрений шнековым дозирующим устройством, кг/ч;
 ρ – объемная масса удобрений, кг/м³.

D – диаметр вписанной окружности выгрузного окна, м;
 ψ – коэффициент заполнения дозирующего устройства;
 $n_{ш}$ – частота вращения шнека, об/мин;
 $S_{ш}$ – шаг витков шнека, м.

Воспользовавшись выражением (1) в программе Mathcad были проведены исследование подачи шнекового дозирующего устройства (рисунок 3). Анализ рисунка 3 показал, что подача шнекового дозирующего устройства определяется частотой вращения шнека и площадью, выгрузного отверстия. Стоит также отметить, взаимное влияние частоты вращения шнека и площади выгрузного окна. С увеличением частота вращения шнека диаметр выгрузного отверстия оказывает более существенное влияние на подачу. Поэтому при выборе подачи дозирующего устройства следует изменять частоту вращения шнека и площадь выгрузного окна.



1-20 об/мин; 2- 40 об/мин; 3- 60 об/мин; 4- 80 об/мин; 5- 100 об/мин

Рисунок 3 – Зависимость подачи дозирующего устройства от изменения частоты вращения шнека и проходного сечения выгрузного окна

Проведенные теоретические исследования показывают, что разработанное дозирующее устройство обладает широким диапазоном регулировок, тем самым способно обеспечивать внесение минеральных удобрений в необходимых дозах с высокой степенью точности. При этом рациональные режимы работы предложенного дозирующего устройства будут достигаться при площади выгрузного окна в диапазонах от 100 мм² до 600 мм² и частоте вращения составного шнека от 40 до 70 об/мин.

Сошник для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений (рисунок 4) состоит из закрепленных на вертикальной трубчатой

стойке 1 тукопровода 2, прямого вертикального наральника 3 с приклепанной к нему культиваторной лапой 4 и рассеивателя 5, причем рассеиватель 5 выполнен в виде свободно вращающегося обода 6 с разнонаправленными зубьями 7.

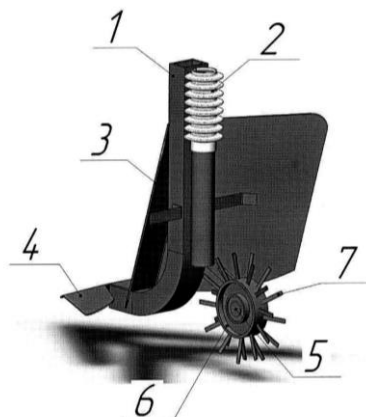


Рисунок 4 – Схема сошника для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений

Работает предлагаемая полезная модель следующим образом. При заглублении сошника происходит взаимодействие наральника 3 с приклепанной к нему культиваторной лапой 4 с почвой. В результате раскрывается картофельная гряда и через тукопровод 2 подаются удобрения, которые взаимодействуют с зубьями 7 свободно вращающегося обода 6 рассеивателя 5 и распределяются в объеме картофельной гряды. Вращение рассеивателя 5 с зубьями 7 происходит за счет его внедрения в дно борозды, что способствует заглублению частиц минеральных удобрений в различные горизонты картофельной гряды.

Ударный импульс при отсутствии силы трения перпендикулярен плоскости разнонаправленного зуба, запишем уравнение

$$m \cdot U_1 - m \cdot V_1 = S \quad (2)$$

где V_1 – скорость гранулы в начале удара, м/с;

U_1 – скорость гранулы в конце удара, м/с;

m – масса гранулы, кг;

S – ударный импульс, кг·м/с.

Спроецировав уравнение на касательное направление (рисунок 5), получим

$$m \cdot U_{1\tau} - m \cdot V_{1\tau} = 0 \quad (3)$$

или

$$U_{1\tau} = V_{1\tau} \quad (4)$$

Тогда можно записать

$$U_{1\tau} = V_1 \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

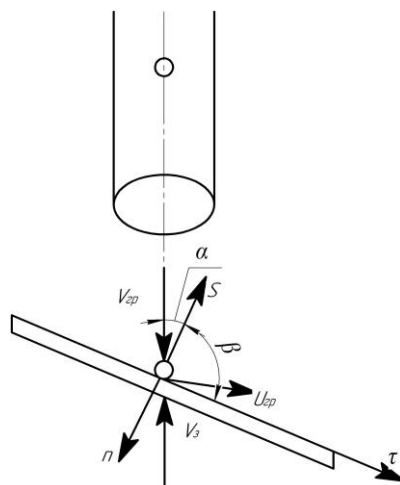


Рисунок 5 – Схема к определению ударного взаимодействия гранул с разнонаправленными зубьями

Так как процесс удара имеет 2 этапа, в течение 1 этапа происходит деформация гранулы, на втором этапе происходит частичное восстановление гранулы – то соотношение ударных импульсов этапов характеризуется коэффициентом восстановления

$$U_{1n} = -k \cdot V_{1n} \quad (6)$$

где k – коэффициент восстановления гранулы минеральных удобрений.

Тогда спроецировав уравнение импульса на нормаль, имеем

$$U_{1n} = -k \cdot V_1 \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

Выражение для определения угла отражения β можно записать в следующем виде

$$\tan \beta = \frac{|U_{1n}|}{|V_{1\tau}|} \quad (8)$$

С учетом выражения (5) и (7) имеем

$$\tan \beta = \frac{\tan \alpha}{k} \quad (9)$$

где α – угол соударения гранулы с разнонаправленным зубом (угол падения).

Определим полное значение скорости гранулы после отскока от зуба рассеивателя

$$U_1 = \frac{U_{1n}}{\cos \beta} \quad (10)$$

С учетом выражения (7), можно записать

$$U_1 = \frac{-k \cdot V_1 \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} \quad (11)$$

Воспользовавшись значением скорости (11) и направлением движения гранулы после отскока, определим расстояние и траекторию полета гранулы (рисунок 6).

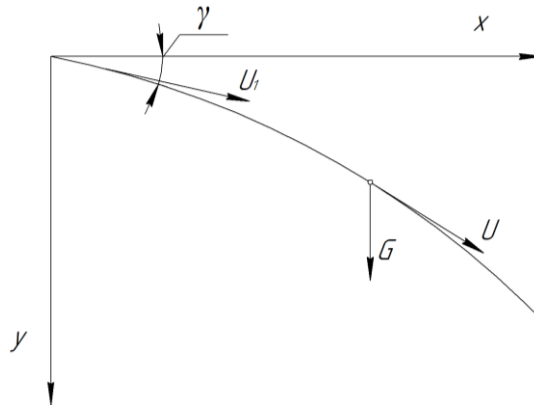


Рисунок 6 – Расчетная схема к определению траектории гранулы после ударного взаимодействия

Величину угла γ определим из выражения

$$\gamma = 90^\circ - (\alpha + \beta) \quad (12)$$

Так как после соударения гранула движется в свободном полете, приложим к ней силу тяжести G , тогда основной закон движения запишется в виде

$$m \cdot a = G \quad (13)$$

где a – ускорение гранулы, м/с²;

G – сила тяжести гранулы ($G = m \cdot g$), Н;

Спроецируем выражение (13) на оси координат (рисунок 6)

$$\begin{cases} m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = 0 \\ m \cdot \frac{d^2y}{dt^2} = m \cdot g \end{cases} \quad (14)$$

Проинтегрировав первое уравнение системы (14), получим

$$x = U_1 \cdot t \cdot \cos \gamma + x_0 \quad (15)$$

Аналогичным образом преобразуем и проинтегрируем второе уравнение системы (14)

$$y = \frac{gt^2}{2} + U_1 \cdot t \cdot \sin \gamma + y_0 \quad (16)$$

На основании выражений (15) и (16) в программе Mathcad построим траекторию полета гранулы после соударения с зубом рассеивателя (рисунок 7).

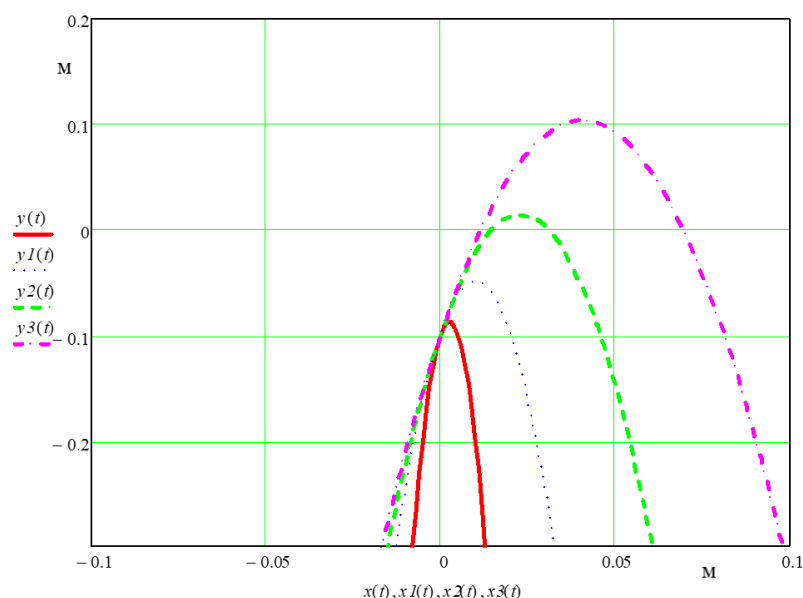


Рисунок 7 – Траектория гранул удобрений при падении в борозду

Анализ рисунка 7 показал, что применение рассеивателя с разнонаправленными зубьями позволяет обеспечивать распределение гранул твердых минеральных удобрений по ширине гребня. Важным фактором отскока гранул от разнонаправленных зубьев является начальная скоростью гранулы. Различная начальная скорость гранул обеспечивается гофрированным тукопроводом и способствует равномерному распределению гранул твердых минеральных удобрений по ширине гребня. Также применение зубьев с положительным и отрицательным углом наклона распределяет гранулы по обе стороны рассеивателя. Моделирование расстояния отскока позволило определить, что рациональными параметрами являются: начальная скорость гранул 1,5...3,5 м/с; угол наклона зубьев 5...6°; высота расположения зуба при соударении 0,15 м.

В третьей главе «Программа, методики экспериментальных исследований» описаны программа и методика экспериментальных исследований рабочих органов культиватора-подкормщика. Теоретическими исследованиями установлены рациональные параметры дозирующего устройства и сошника. При проведении лабораторных экспериментов исследовались процессы дозирования и распределения минеральных удобрений.

При проведении полевых исследований проведены исследования точности дозирования минеральных удобрений, равномерности и зоны распределения минеральных удобрений в гребне.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» приведены результаты дозирования и распределения минеральных удобрений в гребне, показатели работы серийной и разработанной машин для

локального внесения минеральных удобрений в гребни в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области в сентябре 2021-2022 годов.

В процессе определения равномерности распределения гранул минеральных удобрений по объёму гребня была проведена серия экспериментальных исследований. В ходе которых оценивалось распределение удобрений по высоте, ширине и длине гребня. В процессе исследований оценивалось количество гранул, находящихся в одной элементарной пробе.

Полученные данные агрегировали в таблицы для каждого из вариантов опыта. На основе полученных данных в программе Statistica были построены графические зависимости распределения гранул по площади гребня. На основании опытных данных было получено уравнение регрессии, описывающее распределение гранул по ширине гребня:

$$b = -5,62 + 0,2826 \cdot N - 0,0008 \cdot N^2 \quad (17)$$

где b – ширина распределения удобрений в гребне, мм;

N – количество гранул минеральных удобрений, шт.

Проверку работоспособности регрессионной модели осуществляли по коэффициенту детерминации. Адекватность регрессионной модели характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0,80$, в связи с чем регрессионная модель в достаточной степени объясняет полученные опытные данные. Анализ значимости коэффициентов регрессионной модели показал, что коэффициенты уравнения являются значимыми (рисунок 8).

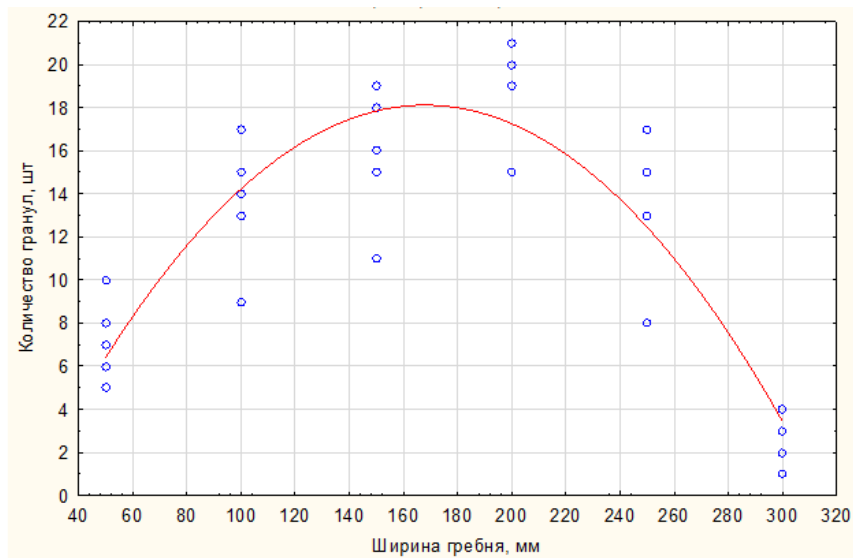


Рисунок 8 – График распределения гранул удобрений по ширине гребня

Для серии опытов, определяющей распределение минеральных удобрений по ширине гребня расчётное значение критерия Кохрена составляло 0,27, в свою очередь табличное значение для данной серии опытов составляет 0,74.

Так как расчётные значения получились меньше табличных данных, то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми и достоверными.

Анализ рисунка 8 показал, что основное количество минеральных удобрений располагается в центре гребня.

Также на основании опытных данных было получено уравнение регрессии, описывающее распределение гранул по глубине (рисунок 9):

$$h = 3,0667 + 0,0369 \cdot n + 0,0002 \cdot n^2 \quad (18)$$

где h – глубина распределения гранул удобрений в гребне, мм;

n – количество гранул минеральных удобрений, шт.

Проверку работоспособности регрессионной модели осуществляли по коэффициенту детерминации. Адекватность регрессионной модели характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0.94$, в связи с чем регрессионная модель в достаточной степени объясняет полученные опытные данные. Анализ значимости коэффициентов регрессионной модели показал, что второй коэффициент уравнения регрессии является наиболее значимым при переменной, обозначающей количество гранул высеянных удобрений.

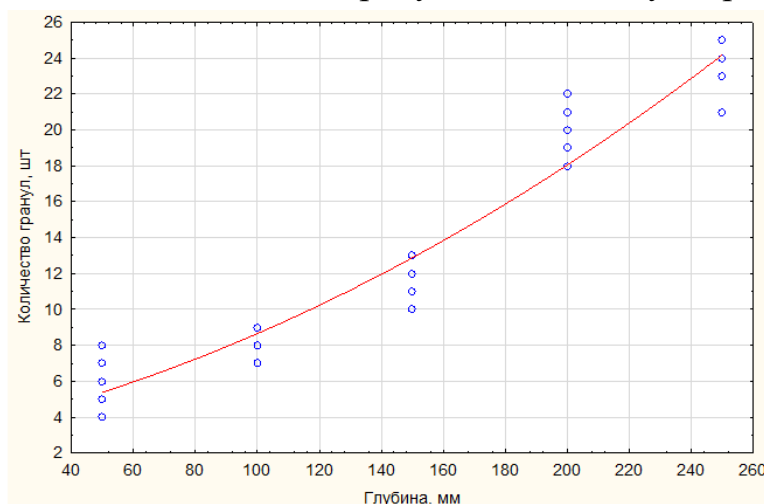


Рисунок 9 – График распределения гранул удобрений по глубине гребня

Так как расчётные значения получились меньше табличных данных, то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми и достоверными. Анализ рисунка 9 показал, что основное количество минеральных удобрений располагается внизу гребня на глубине 150-250 мм. Также благодаря рассеивателю с разнонаправленными зубьями обеспечивается распределение гранул по глубине гребня за счет его вращения и заглубления разнонаправленных зубьев в почву.

Локальное внесение удобрений осуществлялось с одновременным формированием гребня при помощи разработанного культиватора-подкормщика (рисунок 10).



Рисунок 10 – Локальное внесение удобрений с одновременным формированием гребня

Установлено, что внесение твёрдых минеральных удобрений локально ленточным способом позволило повысить урожайность на 16,3 % с увеличением средней массы клубней на 26,2 %.

В пятой главе «Экономический эффект локального внесения удобрений в гребни» экономическую оценку разработанной машины для локального внесения минеральных удобрений в гребни проводили на основе результатов сравнительных полевых испытаний с серийным культиватором окучником КОН-2,8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа установлено, что перспективным направлением развития культиваторов-подкормщиков является совершенствование дозирующих устройств и сошников для внесения минеральных удобрений в гребни.

2. Теоретически определено, что рациональными параметрами дозирующего устройства являются площадь выгрузного окна в диапазоне от 100 мм² до 600 мм² и частота вращения составного шнека от 40 до 70 об/мин. Применение сошника оборудованного рассеивателем с разнонаправленными зубьями позволяет обеспечивать равномерное распределение гранул твердых минеральных удобрений по ширине гребня. Моделирование расстояния отскока гранул удобрений позволило установить, что рациональными параметрами

рассеивателя являются: угол наклона зубьев $5...6^0$; высота расположения зуба при соударении 0,15м.

3. Экспериментальными исследованиями установлено, что равномерность подачи удобрений дозирующим устройством наблюдается при частоте вращения шнека 50 об/мин и площади проходного сечения 350 мм^2 , что соответствует подачи дозирующего устройства 163,51 кг/ч. Установлено, что использование сошника, оборудованного рассеивателем с разнонаправленными зубьями, обеспечивает равномерность по ширине борозды 13,8%, что соответствует агротехническим требованиям.

4. Внесение твёрдых минеральных удобрений в гребни позволило повысить урожайность на 16,3 % с увеличением средней массы клубней на 26,2 %. В результате совокупные затраты культиватора-подкормщика на внесение удобрений в гребни на 1 гектар ниже, чем у культиватора КОН-2,8 на 20,65%, снижение себестоимости работ составило 55,38%.

Рекомендации производству. Для повышения эффективности функционирования машин для локального внесения минеральных удобрений в гребни необходимо использовать системы точного земледелия.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Совершенствование рабочих органов машин для локального внесения минеральных удобрений в гребни на основе составления электронных карт-заданий.

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

Статьи в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ:

1. К вопросу совершенствования гребнеобразующего культиватора-подкормщика / М. Ю. Костенко, В. С. Тетерин, Н. В. Липатов, А. С. Терентьев // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 2(296). – С. 10-14. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-2-10-14.

2. Исследование технологии по применению гуматов для повышения эффективности минеральных удобрений / В. С. Тетерин, Н. В. Липатов, М. Ю. Костенко [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 187. – С. 304-315. – DOI 10.21515/1990-4665-187-028. – EDN MNXDSJ.

3. Разработка шнекового дозирующего устройства твердых минеральных удобрений / М. Ю. Костенко, И. А. Успенский, И. А. Юхин, Н. В. Липатов [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5(311). – С. 16-21. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-16-20. – EDN YQUMVR.

Патенты

4. Патент № 2762212 С1 Российская Федерация, МПК А01В 49/06, А01С 23/00. Гребнеобразующий культиватор-подкормщик : № 2021110486 : заявл. 14.04.2021: опубл. 16.12.2021 / В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – EDN SFSVCV.

5. Патент № 2780210 С1 Российская Федерация, МПК А01С 15/16. Дозатор твёрдых минеральных удобрений: № 2022109181: заявл. 07.04.2022: опубл. 20.09.2022 / В. С. Тетерин, С. А. Пехнов, М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ". – EDN EBRHQJ.

6. Патент на полезную модель № 213790 U1 Российская Федерация, МПК А01С 7/20. Сошник: № 2022115755: заявл. 09.06.2022: опубл. 29.09.2022 / Н. В. Липатов, В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN EFGYQU.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022665285 Российская Федерация. Программа управления системой дозирования твердых минеральных удобрений: № 2022664284: заявл. 01.08.2022: опубл. 12.08.2022 / А. С. Дорохов, А. Г. Аксенов, А. Ю. Овчинников, Н. В. Липатов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – EDN WPPXPO.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1570 подписано в печать
19.10.2023 г.*

*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 ФГБОУ ВО РГАТУ*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1