

На правах рукописи

**Семенов Дмитрий Олегович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ  
ПОД ВОЗДЕЛЫВАНИЕ КАРТОФЕЛЯ ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ АГРЕГАТА  
ДЛЯ ПОСЛОЙНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства  
механизации сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Саратов 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова».

Научный руководитель: **Шардина Галина Евгеньевна**,  
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Цепляев Алексей Николаевич**,  
доктор с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО  
«Волгоградский государственный  
аграрный университет»  
**Костенко Михаил Юрьевич**,  
доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО  
«Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П. А. Костычева»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный  
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Защита диссертации состоится «15» мая 2020 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, улица Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» и на сайте [www.sgau.ru](http://www.sgau.ru).

Отзывы направлять учёному секретарю диссертационного совета по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1. E-mail: [chekmarev.v@yandex.ru](mailto:chekmarev.v@yandex.ru)

Автореферат разослан « » \_ 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Чекмарев Василий Васильевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Россия занимает 3-е место в мире по валовому сбору картофеля, имея в 4 раза больше площадей под его возделывание, чем США, и уступает только Индии и Китаю. При урожайности картофеля 9–15 т/га Россия получает 30–33 млн т в год, США при урожайности 42–48 т/га – 20 млн т.

Один из важнейших факторов, определяющих потенциальные показатели будущих урожаев, – создание благоприятной почвенной среды для развития картофеля. В настоящее время повсеместно используется традиционная гребневая технология его возделывания. В гребнях создается нужная структура почвы, где свободно развивается корневая система, имеющая лучшие условия для вентиляции. Гребни быстрее прогреваются, давая возможность раньше приступить к весенне – полевым работам.

При совершенствовании подготовки почвы для получения товарного картофеля высокого качества должны быть обоснованы применяемые виды её обработки и целесообразность использования современных способов внесения минеральных удобрений в почву для формирования необходимой растениям питательной среды.

В связи с мировой тенденцией интенсификации растениеводства применение минеральных удобрений в сельском хозяйстве стабильно растет. Рациональная обработка почвы в совокупности с эффективным внесением минеральных удобрений позволяет повысить рентабельность картофелеводства, особенно в засушливых регионах. Где эффективное развитие его зависит от способа внесения в почву минеральных удобрений и распределения их в ней, а также от видов сопутствующих операций возделывания. Таким образом, внедрение современных рабочих органов и технологий внесения удобрений под возделывание картофеля - актуальная научно-техническая задача.

Работа выполнена в соответствии с приоритетным научным направлением ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК» (регистрационный номер 01201151795) – разработка почвообраба-

тывающих машин нового поколения; Концепцией развития агропромышленного комплекса Саратовской области до 2020 года (п. 3.4.3 «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК»).

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросами выбора технологии возделывания картофеля для регионов с засушливым климатом на почвах с малой водоудерживающей способностью, а также способов внесения удобрений занимались ученые: К.А. Пшеченков, С.В. Мальцев, А.В. Смирнов, С.А. Турко, В.Г. Иванюк, Н.В. Алдошин, А.А. Манохина, А.Н. Цепляев, М.Ю. Костенко, А.И. Дементьев, С.Н. Карманов, В.С. Серебренков, В.П. Кирюхин, А.В. Коршунов и др.

На основании анализа литературного обзора предложено использовать гребневую технологию возделывания картофеля с уменьшенными размерами гребней и посадкой его в почвы, а также послойно дифференцированное внесение в нее минеральных удобрений.

**Цель работы** - повышение эффективности подготовки почвенной среды под возделывание картофеля путем разработки агрегата для дифференцированного внесения минеральных удобрений в почву.

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ существующих технологий и технических средств, применяемых для подготовки почвы под возделывание картофеля и определение основных направлений их совершенствования.

2. Обосновать конструктивно-технологическую схему агрегата, предназначенного для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений.

3. Теоретически обосновать конструктивно-режимные параметры агрегата с дифференцированным распределением минеральных удобрений и получить аналитические выражения для определения его производительности.

4. Экспериментально установить зависимости распределения минеральных удобрений, дифференцированных по слоям гребневидного почвенного фона, и производительность агрегата от его конструктивно-режимных параметров.

5. Определить экономическую эффективность предлагаемой технологии возделывания картофеля разработанным агрегатом.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- обосновании конструкционно-технологической схемы почвообрабатывающего и удобряющего агрегата (патент РФ на изобретение № 2671145);
- исследовании гребневидного способа подготовки почвы с послойным дифференцированным распределением минеральных удобрений;
- получении аналитических и экспериментальных зависимостей, описывающих распределение удобрений по слоям почвы и производительность агрегата;
- теоретическом обосновании оптимальных режимных и конструктивных параметров агрегата.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в получении аналитических выражений для определения скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором, массы удобрений для послойного дифференцированного распределения в почве, скорости движения трактора, обеспечивающей послойное дифференцированное распределение минеральных удобрений. На основе проведенных теоретических и полевых исследований подготовки почвы под возделывание картофеля разработан и изготовлен агрегат, предназначенный для формирования гребневидного почвенного фона и послойного дифференцированного распределения минеральных удобрений. Опытный образец агрегата внедрен в КФХ «Родники» Калининского района Саратовской области для выращивания картофеля. Полученные результаты могут быть использованы научно-исследовательскими институтами, проектными и конструкторскими организациями при разработке агрегатов аналогичного назначения.

**Методология и методы исследования.** В работе использовали методы системного анализа и математической статистики. В теоретических исследованиях применены основные законы и методы механики, математики и статистики. Экспериментальные исследования выполнены с использованием существующих методик проведения экспериментов и действующих стандартов. Получен-

ные данные обработаны методами математической статистики на ПК с использованием программ Microsoft Excel 2016 и Statistica 10.0.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- конструкционно-технологическая схема предлагаемого агрегата, предназначенного для формирования гребневидного почвенного фона, и технология дифференцированного распределения минеральных удобрений по слоям почвы;
- аналитические и экспериментальные зависимости, описывающие влияние конструкционно-технологических параметров агрегата на дифференцированное распределение минеральных удобрений в гребнях;
- результаты полевых исследований опытного образца агрегата для подготовки почвы под выращивание картофеля.

**Степень достоверности и апробация результатов** подтверждены достаточной сходимостью расчетных и экспериментальных данных, полученных в теоретических исследованиях и производственных условиях.

Содержание работы и основные результаты были обсуждены и получили положительную оценку:

- на Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко (г. Саратов, 2016 г.);
- на конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы СГАУ (г. Саратов, 2015–2017 гг.);
- на конференции, посвященной 100-летию Государственного аграрного университета имени императора Петра I «Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства» (г. Воронеж, 2015 г.).

По результатам исследования опубликованы 12 работ, в том числе 4-е в рецензируемых научных изданиях, включенных в «Перечень ведущих журналов и изданий ...» ВАК РФ, получено 2 патента РФ на изобретения (№2629283, №2671145). Объем публикаций составил 4,37 печ.л., из которых лично соискателю принадлежит 1,11 печ.л.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, содержащего выводы и рекомендации, приложений и списка использованной литературы. Текст работы изложен на 178 страницах, содержит 46 рисунков, 17 таблиц, список использованной литературы включает в себя 223 наименований, в том числе 57 – на иностранном языке.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** «Анализ технологий и технических средств подготовки почвы под возделывание картофеля» рассмотрены технологии и технические средства, используемые для обработки почвы, улучшения ее воздушно-водного режима и структурного состояния, а также способы их совершенствования.

Увеличение урожаев картофеля в регионах с засушливым климатом и выраженным дефицитом осадков требует повышенного количества питательных элементов в почве, что обусловлено биологическими особенностями развития растений. Это вызывает необходимость обоснованного подхода к внесению минеральных удобрений в почву. Для создания качественного питательного фона почвы под картофель предложено предпосадочное либо одновременное с посадкой внутрипочвенное внесение удобрений на оптимальном расстоянии от клубней, а в дальнейшем и от развивающейся корневой системы растений, что осуществляется при выполнении операции основной обработки почвы.

Проанализированы исследования по созданию обоснованного технологического и технического обеспечения подготовки почвенной среды для возделывания картофеля. На основе анализа обзорных сведений о технологиях внесения удобрений и о работающих по этим технологиям устройствах и механизмах выполнена классификация почвообрабатывающих средств внесения удобрений для возделывания картофеля. Рассмотрены современные почвообрабатывающие агрегаты для улучшения равномерности распределения минеральных удобрений по всей глубине пахотного горизонта с целью увеличения

урожайности картофеля, описаны их конструктивные и технологические преимущества и недостатки.

Анализ существующих технологий и технических средств обработки почвы и внесения удобрений позволил определить перспективное для картофелеводства направление безотвальной обработки почвы с последующим образованием гребней путем совершенствования рабочих органов почвообрабатывающих и вносящих минеральные удобрения машин.

Во втором разделе «Теоретическое исследование агрегата для формирования гребневидного почвенного фона и дифференцированного распределения минеральных удобрений» на основании анализа научных и теоретических исследований, разработана схема модернизации культиватора КПГ-2,2 (рисунок 1).

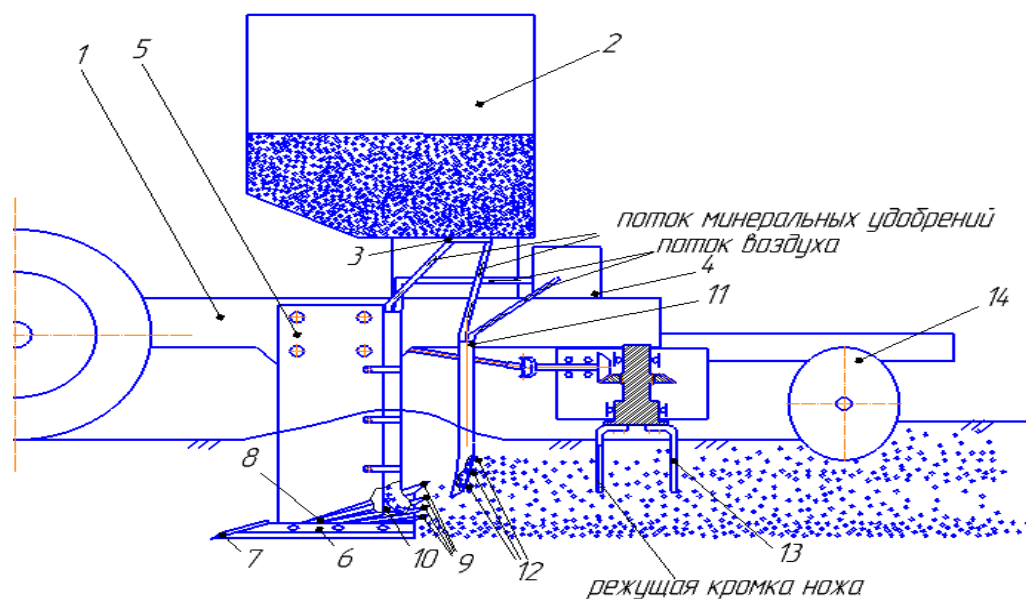


Рисунок 1 – Схема агрегата для формирования гребневидного почвенного фона и послойного дифференцированного распределения минеральных удобрений: 1 – рама; 2 – бункер; 3 – дозирующее устройство; 4 – вентилятор; 5 – клинообразная стойка; 6 – лемеха; 7 – долото, 8 – башмак; 9 – рыхлительные выступы; 10 – тукорассеиватель; 11 – нож-удобритель; 12 – пластины ножа-удобрителя; 13 – вертикальные фрезы; 14 – окучники

Для создания нужной структуры почвы внесены изменения в рабочий орган – лапу, состоящую из лемеха 6, долота 7, башмака 8 с треугольными



рыхлительными выступами 9. Для обеспечения послойного дифференцированного внесения удобрений измен рабочий орган - нож-удобритель 11, имеющий туконаправительные пластины 12. Для достижения оптимального объемного размещения удобрений предложено добавить вертикальные фрезы 13, для формирования гребней – окучки 14.

Работает предложенный агрегат следующим образом: в бункер 2, установленный на раме 1 с опорно-приводными колесами, засыпают минеральные удобрения. Привод вертикальных фрез 13 осуществляется от опорно-приводных колес через карданные передачи и конические редукторы.

При установившемся движении агрегата клинообразная стойка 5, представляющая собой плоскорез, подрезает в горизонтальной плоскости нижний пласт почвы.

Лемех 6 и долото 7 установлены на башмаке 8 и связаны с дозирующим устройством 3 и вентилятором 4 соединительными магистралями. Подрезанный пласт почвы попадает на наклонную к направлению движения поверхность башмака 8 с установленными на ней треугольными рыхлительными выступами 9, проходя по которым структура нижнего обрабатываемого слоя почвы становится рыхлой и мелкокомковатой (рисунок 2). Это обеспечивает лучшее перемешивание почвы с минеральными удобрениями, сходящими с тукорассеивателя 10, который направляет их на осыпающуюся с башмака 8 почву.

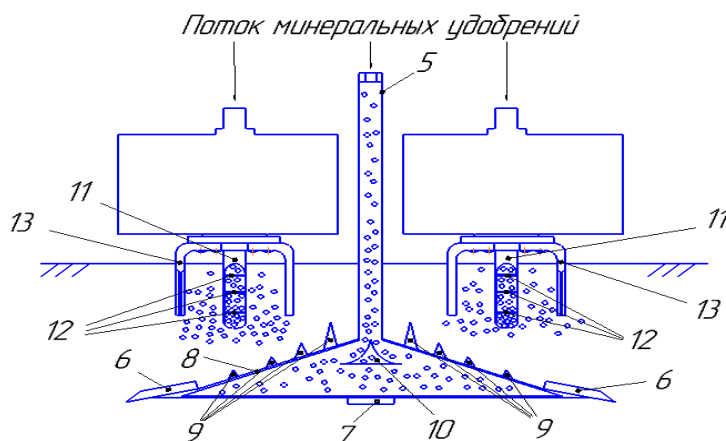


Рисунок 2 – Схема рабочих органов предлагаемого агрегата

Большая часть удобрений, поступающих из бункера 2 через дозирующее устройство 3 по соединительным магистралям и тукопроводу, попадает на нижний уровень обрабатываемого слоя почвы. Установленные ножи-удобрители 11 вносят минеральные удобрения, которые поступают из бункера 2 через дозирующее устройство 3 и соединительные магистрали под действием потока воздуха от вентилятора 4, в почву по слоям. Вертикальные фрезы 13 перемешивают внесенные удобрения с почвой. Вращаясь навстречу друг другу они перемещают их к центру формируемого окучниками гребня. В результате образуется гребень, который имеет оптимальное для возделывания картофеля распределение минеральных удобрений (рисунок 3).

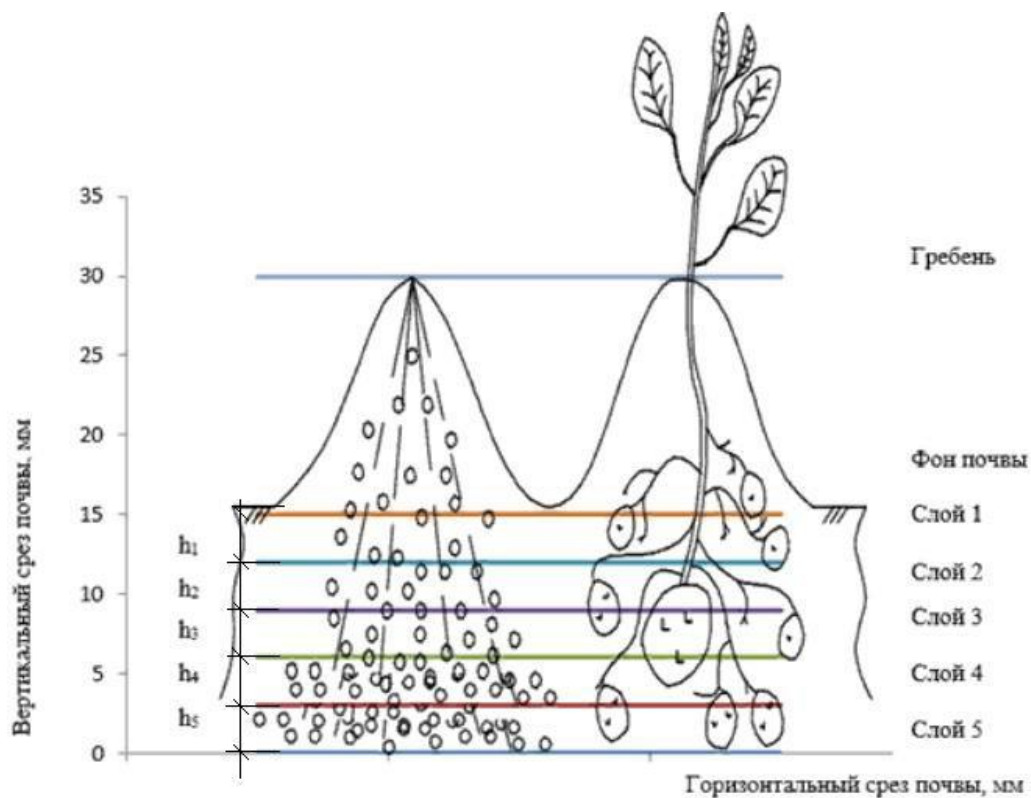


Рисунок 3 – Послойное дифференцированное распределение минеральных удобрений предлагаемым агрегатом

Почвенный пласт под воздействием лемеха культиватора КПГ-2,2 укладывается на поверхность почвы, которая имеет форму плоскости. Поэтому слой крошится главным образом после схода с рабочей поверхности лемеха. На каждое сечение направлено только одно разрывающее усилие, которое будет создавать сила тяжести. Количество разломов определяет крупность комков. С учетом того, что прочность почвы меняется в широких пределах даже на небольшой

длине, то трещины и разломы будут образовываться неравномерно, поэтому возникают комки различных размеров.

В предлагаемом рабочем органе – лапе за лемехом следуют пластины треугольного профиля с вершиной вверху. Поэтому после схода с поверхности лемеха почвенный пласт попадает на треугольные выступы пластин.

При этом каждая часть пласта оказывается на некоторое время на двух острых краях треугольных пластин (рисунок 4). Под действием силы тяжести пласта острые края внедряются в него, вызывая разрушение поперек ранее образовавшихся расколов. Кроме того, под действием силы тяжести пласт прогибается между пластинами. В результате прогиба образуются трещины и происходит разрушение пласта с образованием более мелких комков.

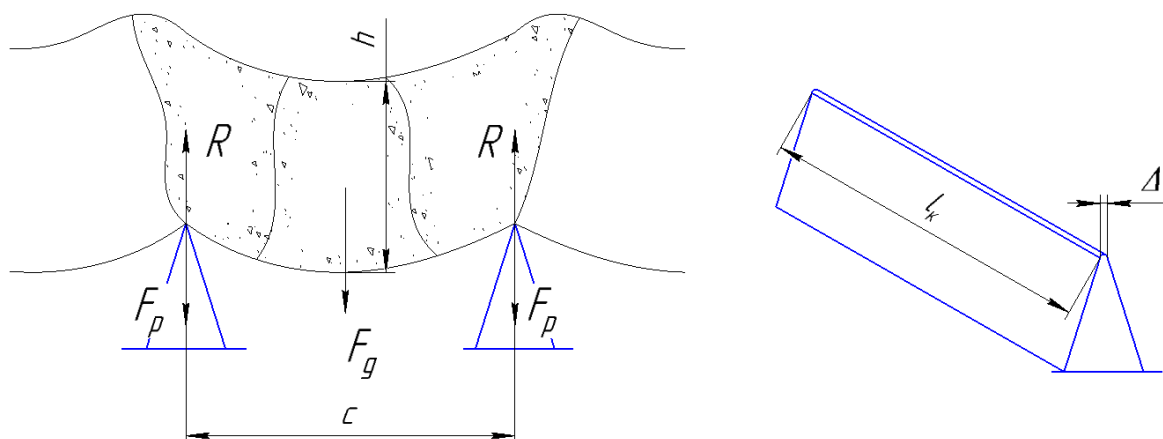


Рисунок 4 – Схема разрушения почвенного пласта под действием силы тяжести при работе предлагаемого рабочего органа:  $F_g$  – сила тяжести части почвенного пласта, Н/м;  $R$  – реакция кромки пластины Н;  $c$  – расстояние между центрами треугольных выступов пластин м;  $h$  – высота почвенного слоя, м

Сопrotивление внедрению кромки треугольных пластин составит:

$$F_p = \tau_p \Delta l_k, \quad (1)$$

где  $\tau_p$  – сопротивление резанию, МПа;  $\Delta$  и  $l_k$  – толщина и длина режущей кромки треугольных пластин, м.

Образовавшиеся на лемехе почвенные комки будут дополнительно разрушаться на треугольных пластинах. При движении агрегата по полю возникают вибрации, а почвенные комки испытывают знакопеременные ускорения, в ре-

зультате которых происходит дополнительное крошение. Количество образующихся комков может быть определено по формуле:

$$n = \left( \frac{F_g a}{\sigma_p l h^2 / 2} + \frac{F_g}{\tau_p \Delta l_k} N \right) K_{\text{ок}}, \quad (2)$$

где  $F_g$  – сила тяжести части почвенного пласта, Н;  $a$  – плечо приложения силы тяжести, м;  $N$  – количество треугольных пластин рабочего органа;  $K_{\text{ок}}$  – коэффициент дополнительного крошения от вибраций и колебаний агрегата;  $\sigma_p$  – напряжение растяжения, МПа;  $l$  – ширина почвенного слоя, м;  $h$  – высота почвенного слоя, м;

В обрабатываемую почву послойно и дифференцированно вносятся минеральные удобрения с помощью ножей-удобрителей и лапы под воздействием воздушного потока, создаваемого вентилятором. В результате исследования движения воздушного потока с минеральными удобрениями внутри ножа-удобрителя получено дифференциальное уравнение:

$$-\frac{P_1 - P_2}{L\eta} \frac{r^2}{2} = r \frac{dv}{dr} + A, \quad (3)$$

где  $P_1$  – давление в точке входа в нож-удобритель, МПа;  $P_2$  – давление в точке выхода из ножа-удобрителя, МПа;  $r$  – радиус ножа-удобрителя, м;  $A$  – постоянная дифференцирования,  $L$  – длина ножа-удобрителя, м;  $\eta$  – вязкость смеси воздуха и удобрений м<sup>2</sup>/с.

Решив уравнение (3), вычисляем скорость минеральных удобрений, перемещаемых потоком воздуха:

$$v r = \frac{P_1 - P_2}{4L\eta} (R^2 - r^2), \quad (4)$$

где  $R$  – радиус входа в нож-удобритель тукопровода, мм;  $r$  – радиус входа в нож-удобритель воздуховода, мм.

Выражение (4) позволяет рассчитать скорость удобрений в зависимости от размеров ножа-удобрителя и давления, создаваемого вентилятором.

Минеральные удобрения под действием достаточного потока воздуха от вентилятора поступают в обрабатываемый верхний слой почвы на различных

его уровнях посредством туконаправительных пластин, площади которых могут быть определены по формуле:

$$S_i = \frac{1}{2} R_i^2 \beta_i - \sin \beta_i, \quad (5)$$

где  $S_i$  – площадь туконаправительных пластин ножа-удобрителя, мм<sup>2</sup>;  $R_i$  – радиус ножа-удобрителя, мм;  $\beta_i$  – угол наклона туконаправительной пластины ножа-удобрителя.

Количество минеральных удобрений, вносимых посредством туконаправительных пластин дифференцированно по слоям почвы:

$$k_i = \frac{l_i}{S_{кр}}, \quad (6)$$

где  $k_i$  – коэффициенты внесения туков по слоям;  $l_i$  – длина перпендикуляра, восстановленного от стенки ножа к направляющей пластине, мм;  $S_{кр}$  – площадь основания ножа-удобрителя, мм<sup>2</sup>.

Длины перпендикуляров (рисунок 5), восстановленных от стенки ножа к направляющим пластинам:

$$l_i = \hat{l}_i \sin \alpha, \quad (7)$$

где  $\hat{l}_i$  – длина направляющей пластины, мм;  $\alpha$  – угол наклона пластины.

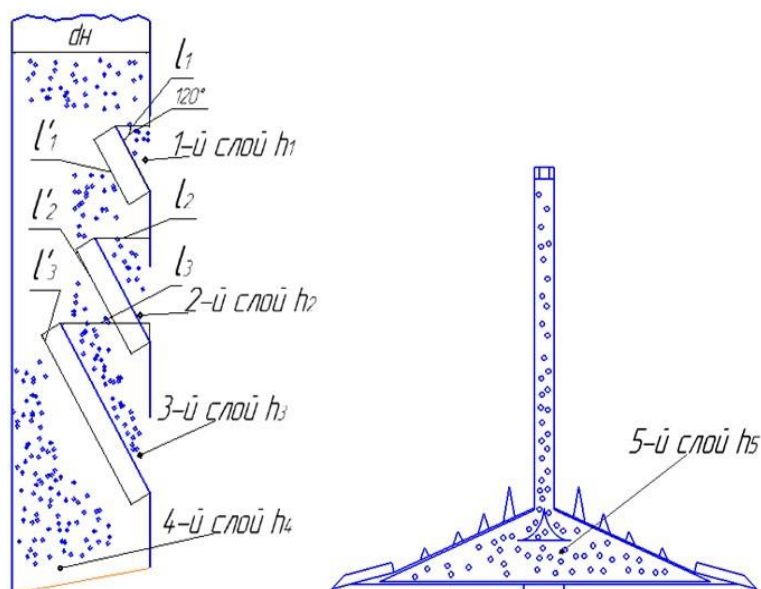


Рисунок 5 – Распределения минеральных удобрений по слоям почвы

В результате проведенной серии экспериментов определен оптимальный угол наклона пластин ножа-удобрителя 120°.

где  $l_1, l_2, l_3$  – длины перпендикуляров, восстановленных от стенки ножа к направляющим пластинам, мм;  $d_n$  – диаметр ножа-удобрителя, мм.

Коэффициенты внесения туков по слоям составят:

$$k_1 = \frac{l_1}{S_{кр}}; \quad (8)$$

$$k_2 = \frac{l_2 - l_1}{S_{кр}}; \quad (9)$$

$$k_3 = \frac{l_3 - l_2}{S_{кр}}; \quad (10)$$

$$k_4 = \frac{d_n - l_3}{S_{кр}}; \quad (11)$$

$$k_5 = \frac{d_n}{S_{кр}}; \quad (12)$$

Масса удобрений в слоях почвы:

первом  $h_1$ :

$$\frac{M_1}{M} = 2 \cdot k_1; \quad (13)$$

втором  $h_2$ :

$$M_2 = M \cdot 2k_2; \quad (14)$$

третьем  $h_3$ :

$$M_3 = M \cdot 2k_3; \quad (15)$$

четвертом  $h_4$ :

$$M_4 = M \cdot 2k_4; \quad (16)$$

пятом  $h_5$ :

$$M_5 = M \cdot k_5, \quad (17)$$

где  $M_1 - M_5$  – масса удобрений в соответственно слое  $h_1 - h_5$ , кг;  $M$  – масса вносимых удобрений, кг;  $k_1 - k_5$  – коэффициенты внесения туков в слой  $h_1 - h_5$ ; 2 – удваивающий коэффициент ножа-удобрителя.

Оптимальная скорость трактора  $v_{тр}$  составит:

$$v_{тр} = \beta \frac{\rho}{t_{вбр} + t_{распр} + t_{ок}}, \quad (18)$$

где  $\beta$  – коэффициент равномерности распределения удобрений;  $\rho$  – расстояние, пройденное трактором, м;  $t_{вбр}$  – время вброса массы удобрений, с;  $t_{распр}$  – время распределения удобрений, с;  $t_{ок}$  – время создания гребней, с.

Отсюда

$$\beta_i = \frac{\varepsilon_i}{2\omega}; \quad (19)$$

$$t_{\text{вбр}} = \frac{M_i}{N}; \quad (20)$$

$$t_{\text{распр}} = \frac{S}{2 v_n^2 + v_\alpha^2}; \quad (21)$$

$$t_{\text{ок}} = \frac{m_{\text{зем}}}{N_{\text{ок}}}, \quad (22)$$

где  $\varepsilon_i$  – масса частиц пласта удобрений, контактирующих с рабочими поверхностями лопастей фрезы в единицу времени, кг·м<sup>2</sup>/с;  $M_i$  – масса удобрений в слоях  $h_i$  почвы, кг;  $S$  – площадь обрабатываемого участка, м<sup>2</sup>;  $m_{\text{зем}}$  – масса земли, необходимой для формирования гребня, кг;  $\omega$  – производительность одной фрезы, распределяющей массу удобрений в горизонтальной плоскости, кг·м<sup>2</sup>/с;  $N$  – величина внесения удобрений, кг/с;  $v_n^2$  – нормальная скорость частицы удобрения, м/с;  $v_\alpha^2$  – касательная скорость частиц удобрения, м/с;  $N_{\text{ок}}$  – производительность орудий, кг/с; 2 – удваивающий коэффициент фрез.

Послойное дифференцированное распределение минеральных удобрений в слое  $h_1$ :

$$\beta_1 = \frac{\varepsilon_1}{2\omega}; \quad (23)$$

$$t_{1\text{вбр}} = \frac{M_1}{N}, \quad (24)$$

в слое  $h_2$ :

$$\beta_2 = \frac{\varepsilon_2}{2\omega}; \quad (25)$$

$$t_{2\text{вбр}} = \frac{M_2}{N}, \quad (26)$$

в слое  $h_3$ :

$$\beta_3 = \frac{\varepsilon_3}{2\omega}; \quad (27)$$

$$t_{3\text{вбр}} = \frac{M_3}{N}, \quad (28)$$

в слое  $h_4$ :

$$\beta_4 = \frac{\varepsilon_4}{2\omega}; \quad (29)$$

$$t_{4\text{вбр}} = \frac{M_4}{N}, \quad (30)$$

в слое  $h_5$ :

$$\beta_5 = \frac{\varepsilon_5}{2\omega}; \quad (31)$$

$$t_{5\text{вбр}} = \frac{M_5}{N}. \quad (32)$$

Тогда формула для нахождения скорости трактора примет следующий вид:

$$v_{\text{тр}} = \frac{5}{i=1} \beta_i \frac{\rho}{\frac{5}{i=1} t_{\text{вбр}} + t_{\text{распр}} + t_{\text{ок}}}. \quad (33)$$

**В третьем разделе** «Программа и методика экспериментальных исследований» изложена методология экспериментальных исследований, цель которых – проверка расчетных значений конструкционно-кинематических параметров предложенного агрегата и дано описание опытного образца агрегата.

Исследованиями установлены физико-механические свойства минеральных удобрений: плотность, угол естественного откоса, коэффициенты внутреннего и внешнего трения, сопротивление сжатию и механическому контактному разрушению.

Критерием оптимизации служит распределение гранул минеральных удобрений в слоях почвы. Для исследования конструктивных параметров проведена серия однофакторных экспериментов, в результате которых установлен рекомендуемый диапазон скоростей воздушного потока для оптимального дифференцированного распределения удобрений. (рисунок 6).



Рисунок 6 — Подготовка почвенной среды под развитие картофеля опытным агрегатом

**В четвертом разделе** «Экспериментальные исследования агрегата для формирования гребневидного почвенного фона и дифференцированного распределения минеральных удобрений» представлены результаты исследований физико-механических свойств минеральных удобрений. Представлены результаты экспериментальных исследований и полевых испытаний опытного агрегата проведенных в Калининском районе Саратовской области в сезон 2018-го года.



Для обеспечения объемного по ширине захвата лапы распределения удобрений в конструкции предлагаемого агрегата имеются вертикальные фрезы, влияние режимных параметров на эффективность послойного дифференцированного распределения удобрений которых, экспериментально исследовано.

Результаты экспериментов показали, что при рабочей скорости трактора с агрегатом 12 км/ч и частоте вращения фрез на 3-м режиме работы редуктора 428,5 мин<sup>-1</sup> они выбрасывают почву за пределы области их воздействия. При скорости трактора 10 км/ч и частоте вращения фрез 264,4 мин<sup>-1</sup> на 2-м режиме работы редуктора фрезы не успевают вращаться и сдвигают почву за собой. Объемное по ширине захвата лапы распределения удобрений обеспечивается при рабочей скорости трактора МТЗ-82 с агрегатом 9 км/ч и частоте вращения фрез 360 мин<sup>-1</sup> на 3-м режиме работы редуктора, что подтверждено теоретическим расчетом кинематического режима фрез. Полученный коэффициент изменяется от 1,2 до 1,7.

Важным параметром, влияющим на качество распределения удобрений, является скорость воздушного потока (рисунок 7).

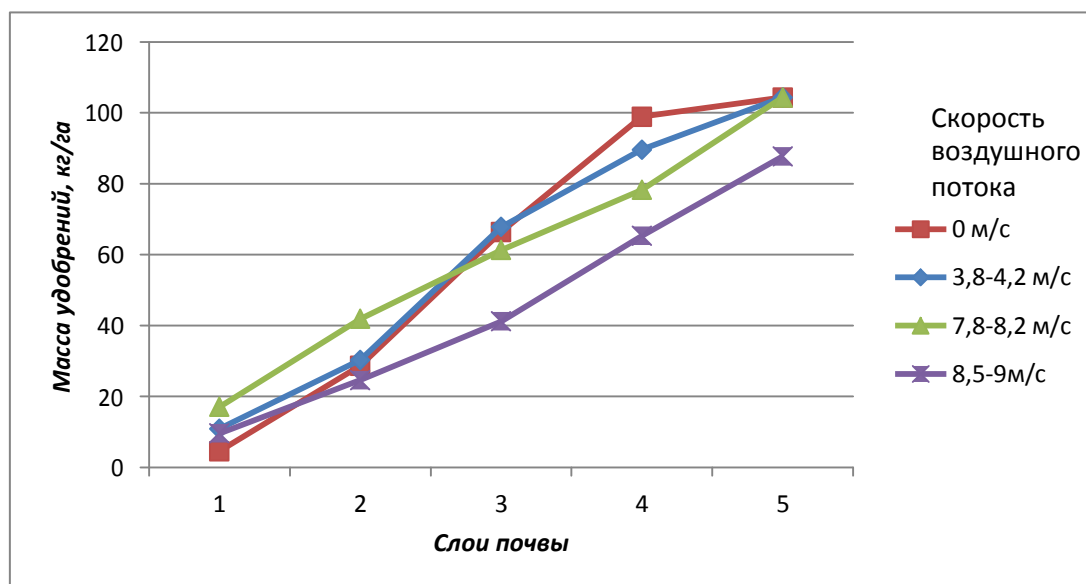


Рисунок 7 – Влияние скорости воздушного потока на послойное распределение минеральных удобрений в почве

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований показал: при скорости воздушного потока 3,8...4,2 м/с удобрения распределяются равномерно в почвенных слоях. При повышении скорости от 7,8 до 8,2 м/с

большее количество минеральных удобрений наблюдается в 4-м и 5-м почвенных слоях, что и требуется для эффективного выполнения технологического процесса подготовки почвы с послойным дифференцированным распределением минеральных удобрений. Дальнейшее увеличение скорости воздушного потока приводит к выдуванию воздушным потоком удобрений на поверхность почвы.

Распределение минеральных удобрений при скорости воздушного потока 0 м/с описывается функцией  $y = -20,3 + 26,96x$ , при  $R^2 = 0,9609$ ; С изменением скорости воздушного потока 3,8-4,2 м/с распределение описывается функцией  $y = -13,25 + 24,61x$ ; при  $R^2 = 0,9783$ ; При скорости воздушного потока 7,8-8,2 м/с распределение минеральных удобрений описывается функцией  $y = -2,66 + 21,08x$ ; при  $R^2 = 0,9951$ ; При скорости воздушного потока 8,5-9,0 м/с распределение минеральных удобрений описывается функцией  $y = -13,39 + 19,69x$ ; при  $R^2 = 0,9898$ .

При исследовании массы удобрений, вносимых предлагаемым агрегатом и прототипом, отбор проб осуществлялся с помощью лабораторной установки.

Массу распределения удобрений по слоям почвы определили путем отсечения пластинами каждого слоя почвы через шаг 30 мм, с последующим отбором удобрений и их взвешиванием.

Взятие проб показало, что в верхнем слое почвы средняя масса удобрений составила 17,1 кг/га, во втором – 41,9 кг/га, в третьем – 61,3 кг/га, в четвертом – 78,3 кг/га, в пятом – 104,3 кг/га (рисунок 8). Средняя масса удобрений, внесенная прототипом, составила 300 кг/га, предлагаемым агрегатом – 302,9 кг/га. Она не превышает рекомендуемую норму внесения удобрений, по данным почвенно-грунтовых условий при посадке картофеля.

Анализ результатов исследований показал, что прототип укладывает гранулы минеральных удобрений в один слой – лентой. Такая укладка приводит к недостаточно эффективному их использованию. Так как питательные вещества становятся недоступными для корневой системы картофеля. Масса внесенных удобрений прототипом и просуммированная масса удобрений, послойно внесен-

ных агрегатом, отличается менее чем на 5 %, подтверждая эффективность использования предлагаемого агрегата.

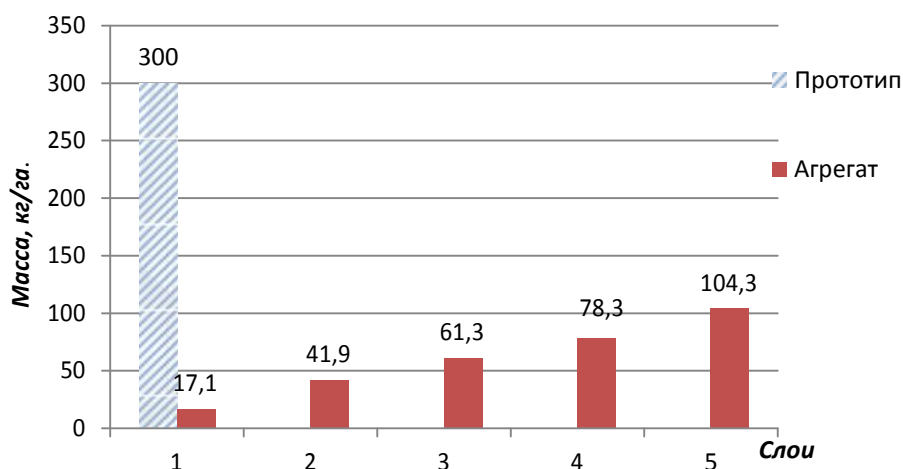


Рисунок 8 – Результаты распределения удобрений агрегатом и прототипом

Анализ практических и теоретических результатов послойного дифференцированного распределения удобрений (рисунок 9) показал их хорошую сходимость, которая не превышает 9,3 %.

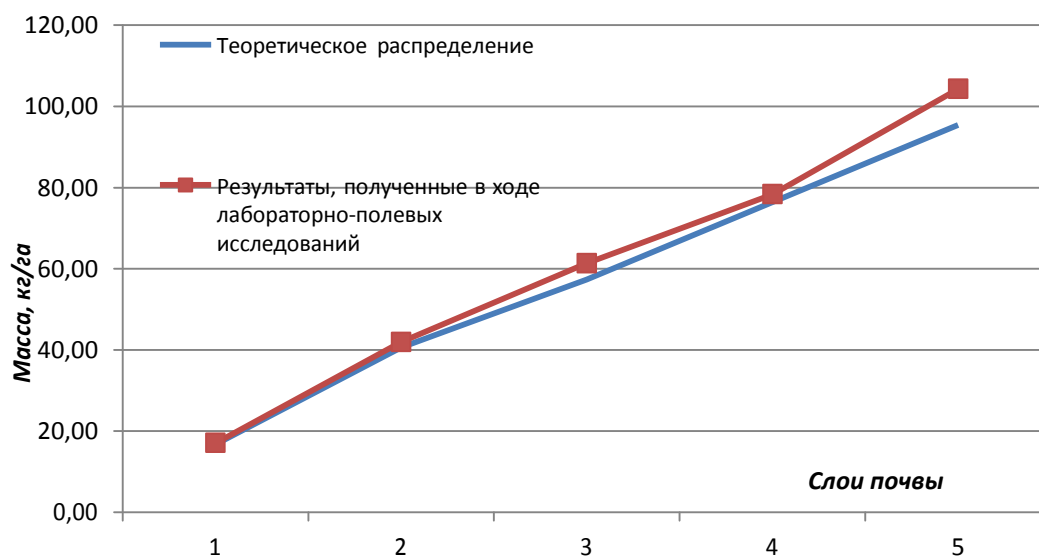


Рисунок 9 – Сравнение теоретических результатов и лабораторно-полевых испытаний послойного дифференцированного распределения минеральных удобрений

Уравнение регрессии описывающее изменение массы удобрений, полученной в результате теоретических исследований от послойного дифференцированного их внесения, при  $R^2 = 0,995$  имеет следующий вид  $y = 21,08x - 2,67$ .

Проведенная производственной проверка показала, дифференцированное распределение удобрений по слоям почвы увеличивает урожайность картофеля на 14,7 %, или на 1,9 т/га, по сравнению с внесением удобрений однослойным способом, при котором урожайность составила 12,9 т/га (рисунок 10).

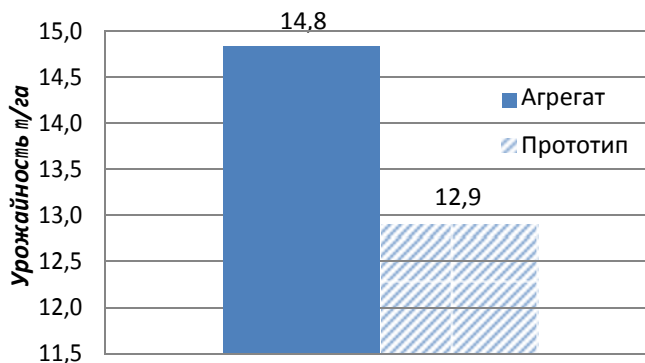


Рисунок 10 – Результат производственной проверки агрегата

**В пятом разделе «Экономическая эффективность экспериментального агрегата для формирования гребневидного почвенного фона и дифференцированного распределения минеральных удобрений»** определен годовой экономический эффект 41485 руб. в ценах на 4-й квартал 2019 года. Срок окупаемости – 2,1 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа существующих технологий и технических средств обработки почвы и внесения удобрений определено перспективное для картофелеводства направление совершенствования рабочих органов почвообрабатывающих и вносящих минеральные удобрения машин и обоснована схема агрегата, позволяющего подготовить оптимальную воздушно-водную и питательную почвенную среду для возделывания картофеля в засушливых условиях Саратовской области. Разработан агрегат, предназначенный для формирования гребневидного почвенного фона (патент на изобретение № 2671145). Проведены теоретические, экспериментальные и полевые исследования технологического процесса разработанного устройства с обоснованием основных его конструктивно-режимных параметров.

1. Анализ существующих технологий и технических средств выращивания картофеля показал, что внесение удобрений обеспечивающее поступление в почву требуемого количества питательных веществ для возделываемой культуры, при реализации поверхностным способом с последующей их заделкой в почву не позволяет создать нужный питательный фон почвы и является значительно менее эффективным в сравнении с глубинным размещением туков, в особенности в засушливых условиях.

2. Для сохранения влаги в почве и оптимальной структуры почвы предложен способ подготовки почвы путем с нарезкой гребней, имеющих меньшую высоту, а посадку клубней картофеля осуществлять в основной горизонт обработанного почвенного слоя, позволяет минимизировать негативное влияние на развивающиеся клубни засушливых периодов, по сравнению с обычной гребневой технологией. Внесение в обрабатываемый пласт почвы минеральных удобрений выполняется дифференцировано тремя рабочими органами, два из которых установлены на агрегате в верхнем ярусе и один в нижнем. Разработан агрегат (патент № 2671145) для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным внесением и распределением по слоям минеральных удобрений под развитие картофеля.

3. Проведены теоретические исследования и получены аналитические выражения для обоснования параметров рабочих органов агрегата для агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным распределением минеральных удобрений. Скорость движения гранул минеральных удобрений и их распределение в почве зависят от скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором (выражение 4). Качество распределения гранул в почве так же определяется параметрами пластин ножа-удобрителя. Аналитически обоснована скорость движения трактора (выражение 33) и производительность агрегата.

4. В ходе экспериментально-полевых исследований опытного образца агрегата установлена эффективность применения на поверхности башмака треугольных рыхлительных выступов, обеспечивающих преобладание в структуре

почвы комков размером менее 20 мм и эффективность последующих операций. Исследованиями установлено, что рациональная производительность агрегата достигается при частоте встречного вращения фрез, равной  $360 \text{ мин}^{-1}$  при рабочей скорости трактора МТЗ-82 с агрегатом - 9 км/ч, в результате чего обеспечивается оптимальное внесение в почвенный фон по пространственному распределению и объему минеральных удобрений. Послойное взятие проб показало, что в верхнем слое почвы средняя масса удобрений на 1 га составила 17,1 кг, во втором слое – 41,9 кг, в третьем слое – 61,3 кг, в четвертом слое – 78,3 кг, пятом - 104,3 кг.

5. Исследования влияния скорости воздушного потока на процесс распределения удобрений позволил установить оптимальное значение скорости. Рекомендуемый диапазон скорости воздушного потока в ноже-удобрителе составляет 6-7 м/с. При данном значении большее количество гранул сосредоточено на 2 и 3 туконаправительных пластинах, что и требуется для эффективного выполнения технологического процесса подготовки почвы с дифференцированным распределением удобрений.

6. В результате полевых исследований в КФХ «Родники» Калининского района Саратовской области подтверждена возможность применения разработанного агрегата для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцируемым распределением минеральных удобрений. Годовой экономический эффект составил 41,5 тыс. рублей. Срок окупаемости дополнительных капиталовложений 2,1 года.

**Рекомендации производству.** В сельскохозяйственных предприятиях, ориентированных на выращивание картофеля, рекомендуется внедрять разработанный агрегат для послойного дифференцированного распределения удобрений при подготовке почвы под возделывание картофеля, с целью получения высоких урожаев качественного товарного картофеля.

**Перспективы дальнейшей разработки темы.** Совершенствовать процесс подготовки почвы под возделывание картофеля и конструкцию агрегата для послойного внесения удобрений. Провести исследования возможности использо-

вания агрегата для послойного внесения удобрений при посеве зерновых и других сельскохозяйственных культур.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

**Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

*в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:*

1. Семенов, Д. О. Агрегат для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным по слоям распределением минеральных удобрений под развитие картофеля в Саратовской области / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, А. П. Марченко, Е. С. Нестеров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3. – С. 130 – 135.

2. Семенов, Д. О. Параметры работы агрегата для подготовки почвенной зоны под возделывание картофеля / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, А. П. Марченко, Е. С. Нестеров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 5. – С. 140 – 145.

3. Семенов, Д. О. Построение фона почвы для возделывания картофеля / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, А. П. Марченко, Е. С. Нестеров // Научное обозрение. – 2016. – № 9. – С. 38-39.

4. Семенов, Д. О. Обоснование схемы агрегата для подготовки почвы под возделывание картофеля в Саратовской области / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, А. П. Марченко, Е. С. Нестеров // Научное обозрение. – 2016. – № 11. – С. 133 – 137.

*Патенты:*

5. Пат. 2629283 Российская Федерация, МПК А 01 В 79/02, А 01 С 21/00, А 01 В 49/06, А 01 В 13/02, А 01 В 13/14, А 01 В 33/06. Способ подготовки почвенной зоны под развитие картофеля и устройство для его осуществления / Е. С. Нестеров, А. П. Марченко, Г. Е. Шардина, Д. О. Семенов. – № 2016129273 ; заявл. 19.07.2016 ; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 25 – 11 с. : ил.

6. Пат. 2671145 Российская Федерация, МПК А 01 С 21/00, А 01 В 49/06, А 01 В 13/02, А 01 В 13/14, А 01 В 33/06. Агрегат для формирования гребневидного почвенного фона с дифференцированным по слоям распределением минеральных удобрений под развитие картофеля / Г. Е. Шардина, Д. О. Семенов, Е.

С. Нестеров, А. П. Марченко. – № 2017142695 ; заявл. 07.12.2017 ; опубл. 29.10.2018, Бюл. № 31 – 8 с. : ил.

*Публикации в периодических изданиях и материалах конференций*

7. Семенов, Д. О. Полевые испытания экспериментальной картофелесажалки / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, М. В. Карпов, Е. С. Нестеров, О. В. Саяпин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Междунар. науч.-техн. семинара им. В.В. Михайлова. – Саратов, 2016. – С. 7.

8. Семенов, Д. О. Применение удобрений в гребневой технологии производства картофеля / Д. О. Семенов, Е. С. Нестеров // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства : материалы Междунар.науч.-практ. конф., посвященной 100-летию Государственного аграрного университета имени императора Петра I. – Воронеж, 2015. – С. 280 – 284.

9. Семенов, Д. О. Применение удобрений при выращивании картофеля, их влияние на качество урожая / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко. - Саратов, 2016. – С. 88 – 90.

10. Семенов, Д. О. Исследование факторов, влияющих на урожайность картофеля / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, М. В. Карпов, Е. С. Нестеров // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения профессора А. Г. Рыбалко. - Саратов, 2016. – С. 68 – 70.

11. Семенов, Д. О. Полевые испытания экспериментальной картофелесажалки / Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина, М. В. Карпов, Е. С. Нестеров, О. В. Саяпин // Научная мысль.– 2016. – № 5. – С. 7.

12. Семенов, Д. О. Technology of fertilizer application for potatoes, the conditions required for the formation of high-quality tubers // Д. О. Семенов, Г. Е. Шардина // Молодой ученый: Междунар. научный журнал. – 2016. – № 18. – С. 2.