

На правах рукописи

**ХОДЫРЕВ**  
**Илья Николаевич**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВ ИЗ  
МНОГОЛЕТНИХ БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ ТРАВ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТ-  
ВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ПОСЕВА**

Специальность 05.20.01 - технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

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

Киров - 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия» г. Киров.

**Научный руководитель:** **Курбанов Рустам Файзулхакович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта МТП.

**Официальные оппоненты:** **Юнусов Губейдулла Сибятуллович**, доктор технических наук, профессор кафедры механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Марийский государственный университет»; **Демшин Сергей Леонидович**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией механизации полеводства, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова»

Защита состоится «2» февраля 2017 г. в 15 часов 30 минут на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 006.048.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» по адресу: 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166-а, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» и на официальном сайте института [niish-sv.narod.ru](http://niish-sv.narod.ru)

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ декабря 2016 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук

Глушков Андрей Леонидович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность и степень разработанности темы исследования.** Кормопроизводство и животноводство являются важнейшими отраслями агропромышленного комплекса Российской Федерации, их темпы и научно-технический уровень развития определяют решение продовольственной проблемы страны. Государственная программа Кировской области по развитию сельского хозяйства и регулированию рынков сельскохозяйственного сырья и продовольствия на 2013-2020 годы ориентирует АПК на рост объёмных показателей. В настоящее время стоит вопрос о производстве дешёвых высококачественных кормов и обеспечению ими животноводства в полной мере. Для этого необходима модернизация кормопроизводства, применение современных методов и подходов, которые обеспечат надёжную кормовую базу. Решению проблемы повышения эффективности производства кормов посвятили свои труды В.Р. Вильямс, Л.Г. Раменский, И.В. Ларин, Н.Г. Андреев, А.П. Щенников, Л.А. Чугунов, С.П. Смелов, Л.Г. Раменский, И.А. Цаценкин, П.И. Ромашов, Л.П. Кормановский, В.М. Кряжков, В.А. Сысуев, А.Д.Кормщиков и другие ученые. В результате их исследований были разработаны новые способы и технические средства посева семян трав в дернину, которые с успехом применяются в хозяйствах Российской Федерации. Однако, проведенный анализ научных трудов показал, что существует возможность совершенствовать данные способы и технические средства, что будет способствовать увеличению урожайности кормовых угодий и повышению энергетической эффективности всего рабочего процесса. Применяемые в настоящее время технологии и технические средства не позволяют получить травостой с большим по продолжительности периодом производственного долголетия. Все это определяет проблему исследования: рассмотрение возможности повышения эффективности производства культурных кормовых угодий на территории Кировской области.

Системный подход к решению проблемы обеспечения животноводства качественными кормами позволит в ближайшее время увеличить объёмы производства животноводческой продукции при снижении затрат и повышении рентабельности и конкурентоспособности отрасли и решить задачи Государственной программы развития.

**Цель исследований** – повышение эффективности производства кормов из многолетних бобово-злаковых трав путем совершенствования технологии полосного посева семян трав и фрезерной секции дерниной сеялки.

**Задачи исследований:**

- совершенствовать технологию полосного посева семян трав в механически разрушаемую дернину и провести его производственные исследования;
- совершенствовать фрезерную секцию дернинной сеялки с изменением формы ножа почвенной фрезы и установкой двустороннего отвала внутри ее кожуха, провести их теоретические исследования;

- провести экспериментальные исследования по применению усовершенствованной формы ножа почвенной фрезы и двустороннего отвала, установленного внутри кожуха фрезерной секции;

- определить технико-экономическую эффективность применения усовершенствованной технологии полосного посева семян трав в механически разрушаемую дернину и усовершенствованной фрезерной секции дернинной сеялки.

**Объекты исследований** – технология полосного посева семян трав, естественные и культурные сенокосы и пастбища.

**Предметы исследований** – дернинная сеялка, нож почвенной фрезы и двусторонний отвал.

**Научную новизну работы составляют:**

- технология полосного посева семян озимых злаковых зерновых культур в механически разрушаемую дернину многолетних бобовых трав (заявка на изобретение №2014146154 от 19.11.2014);

- конструктивно-технологическая схема сеялки для полосного посева семян трав в дернину (заявка на изобретение №2016105039 от 15.02.2016);

- аналитические зависимости, описывающие процесс обработки почвы фрезерным сошником с усовершенствованными L-образными ножами, а также зависимости движения почвы по двустороннему отвалу;

- результаты экспериментальных исследований по усовершенствованию технологии полосного посева семян озимых злаковых зерновых культур в механически разрушаемую дернину многолетних бобовых трав;

- экспериментальное обоснование оптимальных конструктивно-технологических параметров L-образного ножа усовершенствованной формы, установленного на почвенной фрезе, а также двустороннего отвала, расположенного внутри кожуха фрезерной секции позади рабочих элементов.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученные аналитические зависимости позволяют на стадии проектирования и конструирования обосновать основные конструктивно-технологические параметры L-образного ножа усовершенствованной формы, установленного на почвенной фрезе, а также двустороннего отвала, расположенного внутри кожуха фрезерной секции позади рабочих элементов.

Полученные теоретические и экспериментальные результаты исследований могут быть использованы при изготовлении и усовершенствованной дерниной сеялки СДК-2,8.

Материалы научных исследований рекомендуются для использования в учебном процессе высших учебных заведений сельскохозяйственного профиля.

**Методология и методы исследований.** Теоретические исследования были проведены на основе законов и методов классической механики, планирования экспериментов, математического моделирования и методов математической статистики.

Экспериментальные исследования были проведены в лабораторных и полевых условиях в соответствии с действующими государственными стандартами и

существующими методиками. Для проведения экспериментальных исследований была разработана лабораторно-полевая установка.

Основные расчеты и обработка результатов экспериментов выполнялись с использованием программных продуктов «Statgrafics Plus 5,1», «MathCad», Visual Studio 2012, «Microsoft Excel», «Компас-3D LT V12» и другие.

***Положения, выносимые на защиту:***

- технология полосного посева семян озимых злаковых зерновых культур в механически разрушаемую дернину многолетних бобовых трав (заявка на изобретение №2014146154 от 19.11.2014) и конструктивно-технологическая схема сеялки для полосного посева семян трав в дернину, которая имеет в своем составе L-образный нож совершенствованной формы, установленный на почвенной фрезе, а также двусторонний отвал, расположенный внутри кожуха фрезерной секции позади рабочих элементов (заявка на изобретение №2016105039 от 15.02.2016);

- аналитические зависимости, описывающие процесс обработки почвы фрезерным сошником с L-образными ножами совершенствованной формы, а также зависимости движения почвы по двустороннему отвалу;

- результаты экспериментальных исследований технологии полосного посева семян озимых злаковых зерновых культур в механически разрушаемую дернину многолетних бобовых трав;

- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивно-технологических параметров L-образного ножа совершенствованной формы и двустороннего отвала.

***Степень достоверности и апробация результатов.*** Достоверность общих выводов в диссертации подтверждена положительными результатами теоретических и экспериментальных исследований. Основные материалы диссертации доложены и одобрены на международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» г.Уфа (2016 г.), на международных научно-практических конференциях «Наука и образование в XXI веке» и «Наука и образование в жизни современного общества» г.Тамбов (2014, 2016 гг.), на VII, VIII, IX международных конференциях «Наука-Технология - Ресурсосбережение» и на XV международной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых «Знания молодых: наука, практика и инновации» ФГБОУ ВО Вятская ГСХА г.Киров (2014-2016 гг.).

Основное содержание диссертации изложено в 14 публикациях, из них 3 – издания рекомендуемые ВАК и 2 заявки на изобретение РФ.

***Структура и объем диссертации.*** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 103 наименований и приложений. Работа изложена на 154 страницах, включает 121 страницу основного текста, 58 рисунков, 9 таблиц и 7 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

***Во введении*** обосновывается актуальность темы исследования, содержатся основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Состояние вопроса и задачи исследования» выполнен анализ научно-исследовательской и патентной литературы, существующих способов по повышению продуктивности культурных кормовых угодий, а также проведен обзор технических средств для улучшения естественных кормовых угодий.

Анализ результатов исследований отечественных и зарубежных ученых, различных технических средств и их рабочих органов позволил создать улучшенную технологию по повышению продуктивности культурных кормовых угодий с продлением производственного долголетия посевов трав, а также усовершенствованную фрезерную секцию дерниной сеялки.

Сформулирована научная гипотеза: применение усовершенствованной технологии полосного посева семян трав и фрезерной секции дерниной сеялки будут способствовать повышению эффективности производства кормов из многолетних бобово-злаковых трав. Определены цели и задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** «Теоретические исследования работы фрезерной секции» описаны аналитические зависимости процесса обработки почвы фрезерным сошником с L-образными ножами усовершенствованной формы, а также зависимости движения почвы по двустороннему отвалу.

Для создания компактной сеялки СДК-2,8 с низкой энергоемкостью, металлоемкостью, с высоким качеством равномерного рыхления почвы и уплотнением почвы в полосах после посева, для обеспечения наиболее приемлемого роста и развития семян трав необходимо на почвенной фрезе заменить Г-образные ножи на L-образные ножи усовершенствованной формы, а также установить двусторонний отвал внутри кожуха фрезерной секции позади рабочих элементов, который позволит уменьшить долю невозвращенной почвы в обработанные полосы (рисунок 1).

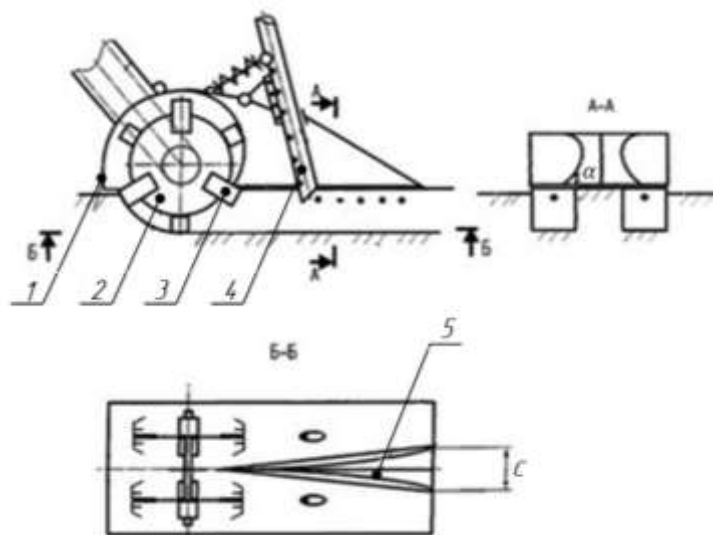


Рисунок 1 – Усовершенствованный фрезерный сошник сеялки СДК-2,8: 1 – кожух фрезерной секции; 2 – фреза; 3 – усовершенствованные L-образные ножи; 4 – семянаправитель; 5 – двусторонний отвал

Усовершенствованные ножи фрезерной секции выполнены в виде L-образной формы (рисунок 2). Крыло имеет не более половины своей ширины вырез металла с образованием тыльной кромки с отогнутой частью под углом  $\alpha$  в

продольно-вертикальной плоскости стойки крыла в форме трапеции и боковой кромки, вдоль которой жестко закреплен рыхлительный элемент в форме пластины высотой равной величине отогнутой части крыла. Плоскость рыхлительного элемента относительно плоскости крыла расположена под углом 90 градусов.

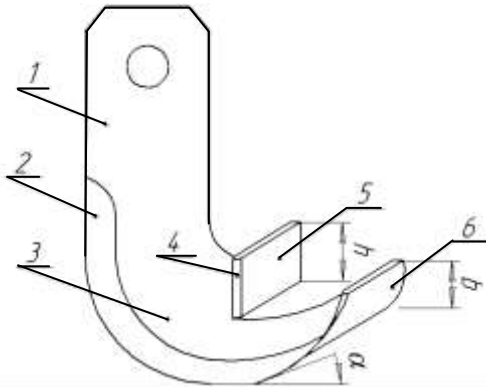


Рисунок 2 – Схема L-образного ножа совершенствованной формы: 1 – стойка ножа; 2,4 – режущая часть; 3 – крыло; 5 – рыхлитель; 6 – отогнутая часть крыла

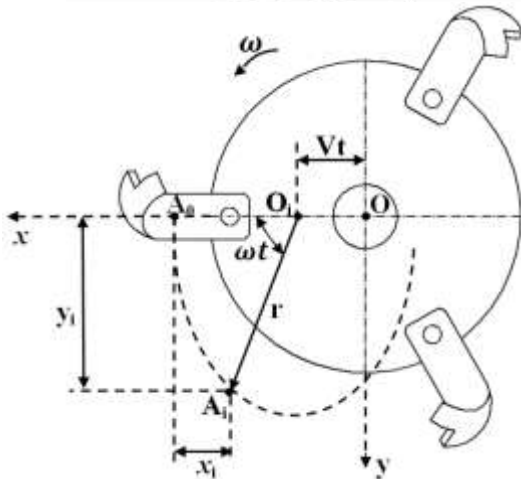


Рисунок 3 – Схема траектории движения точки L-образного ножа совершенствованной формы, установленного на почвенной фрезе

L-образные ножи совершенствованной формы, установленные на почвенной фрезе, совершают сложное движение, такое как поступательное и вращательное. Траектория движения любой точки рабочего органа представляет собой трохоиду. Рассмотрим движение конечной точки  $A_0$  почвенного ножа (рисунок 3), находящейся в начальный момент на оси  $x$ . Через промежуток времени  $t$  ось барабана переместится в положение  $O_i$ , пройдет путь  $Vt$ , а диск барабана повернется на угол  $\omega t$ , при этом точка ножа перейдет из положения  $A_0$  в положение  $A_i$ .

Уравнение траектории абсолютного движения точки почвенной фрезы:

$$\begin{cases} x_i = Vt - r \cos \omega t; \\ y_i = r \sin \omega t. \end{cases} \quad (1)$$

Геометрическая форма трохоиды будет зависеть от показателей кинематического режима работы фрезы.

Подачу на нож вычисляют по формуле:

$$S_z = Vt_z, \quad (2)$$

где  $t_z$  – время, за которое последующий нож в относительном движении займет положение предыдущего, с.

Время  $t_z$  находят из выражения:

$$t_z = \frac{t_{об}}{z}, \quad (3)$$

где  $t_{об}$  – время, за которое диск повернется на один оборот, с;

$z$  – число ножей на одном диске.

Также подачу на нож можно найти по формуле:

$$S_z = \frac{2\pi r}{\lambda z}, \quad (4)$$

где  $r$  – радиус окружности, м;

$\lambda$  – кинематический показатель режима фрезы.

Качество крошения почвы фрезой зависит от величины подачи  $S_z$  на один нож.

Отношение окружной скорости конца ножа к поступательной скорости движения машины характеризуется кинематическим показателем режима работы фрезы:

$$\lambda = \frac{\omega r}{V_n} \text{ или } \lambda = \frac{2\pi r}{z S_z}, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – кинематический показатель режима фрезы;

$\omega$  – угловая скорость фрезерного барабана,  $c^{-1}$ ;

$r$  – радиус по концам ножей, м;

$V_n$  – скорость движения машины, м/с;

$\pi \approx 3,14$ ;

$z$  – число ножей на одной стороне диска, шт.

Отогнутая часть крыла совершенствованных L-образных ножей должна быть выполнена в виде трапеции, отогнутой к стойке ножа вверх под углом  $\alpha$ :

$$b = \frac{\pi D \sin \alpha}{z \lambda}, \quad (6)$$

где  $b$  – величина отгиба крыла ножа, м;

$\alpha$  – угол отгиба крыла ножа, град;

$D$  – диаметр фрезы, м;

$z$  – число ножей фрезы, размещенных в одной плоскости, шт.;

$\lambda$  – кинематический показатель режима фрезы.

Из выражения (6) получим теоретически обоснованный интервал рациональных значений величины отгиба крыла ножа:

$$b = \frac{3,14 \times 0,385 \times \sin(30 \dots 50)}{3 \times (9 \dots 15)} = 0,01 \dots 0,03 \text{ м.}$$

Рассмотрим силу резания совершенствованных L-образных ножей. С теоретической точки зрения работу крыла совершенствованных L-образных ножей можно рассмотреть как работу двугранного клина в почве, а работу стойки и рыхлителя как резание прямым ножом. Сила сопротивления резанию отгибом крыла совершенствованного L-образного ножа будет отличаться от соответствующей силы Г-образного ножа на коэффициент  $n$ . Также совершенствованные ножи будут иметь дополнительную силу сопротивления резанию от рыхлителя. На основании всего вышесказанного, сила сопротивления  $F_n$  при отрезании стружки совершенствованным L-образным ножом будет иметь следующий вид:

$$F_n = F_{cm} + F_{кр} + n F_{кр} + F_{рых} + F_{отр} + F_{тр}, \quad (7)$$

где  $F_{cm}$  – сила сопротивления резанию стойкой ножа, кН;

$F_{кр}$  – сила сопротивления резанию крылом ножа, кН;

$n F_{кр}$  – сила сопротивления резанию отгибом крыла ножа, кН;

$F_{рых}$  – сила сопротивления резанию рыхлителем, кН;



$F_{omp}$  – сила сопротивления отрыву почвенной стружки от монолита почвы, кН;

$F_{mp}$  – сила трения при скольжении почвы по поверхности ножа, кН.

Рассмотрим аналитическое исследование движения частички почвы вдоль ножа. После отделения от массива почвы частичка измельчаемого материала приобретает запас кинетической энергии. Движение частички разделяется на следующие этапы: движение частички по ножу и свободное движение. Отделенная от массива почвы частичка материала, которая не потеряла контакта с ножами, совершает переносное движение вместе с рабочим органом по закону  $\varphi = \varphi_0 + \omega t$  и относительное движение вдоль ножа по закону  $x = x_0 + Vt$ .

Силы, которые действуют на частицу почвы, находящуюся на поверхности крыла совершенствованного L-образного ножа, и соответствующие силы Г-образного ножа совпадают. Однако, сила трения совершенствованного L-образного ножа будет отличаться, так как частица почвы в этом случае встречает дополнительное сопротивление при движении крыла ножа, который имеет вырез металла с образованием тыльной кромки с отогнутой частью под углом  $\alpha$  в продольно-вертикальной плоскости стойки крыла в форме трапеции и боковой кромки, вдоль которой жестко закреплен рыхлительный элемент в форме пластины.

$$\bar{F}_{mp} = -qNf \frac{\bar{v}}{V}, \quad (8)$$

где  $q$  – коэффициент, характеризующий степень увеличения силы сопротивления движению частицы почвы по поверхности совершенствованного L-образного ножа;

$f$  – коэффициент трения;

$N$  – сила нормального давления, Н.

Силы трения будут выражаться через координаты  $x, y, z$  следующим образом:

$$F_{mpx} = -qNf \frac{\dot{x}}{V}; F_{mpy} = -qNf \frac{\dot{y}}{V}; F_{mpz} = -qNf \frac{\dot{z}}{V}, \quad (9)$$

$$N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2 + N_z^2}.$$

Уравнения движения частицы почвы по совершенствованному L-образному ножу:

$$\begin{cases} \ddot{x} = g \cos \omega t + \omega^2 x + 2\omega \dot{y} - q \frac{\lambda^*}{m} \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_n \sin^2 \beta_n} \frac{\dot{x}}{V} f - \frac{\lambda^*}{m} \cos \alpha_n \cdot \cos \beta_n; \\ \ddot{y} = -g \sin \omega t + \omega^2 y - 2\omega \dot{x} - q \frac{\lambda^*}{m} \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_n \sin^2 \beta_n} \frac{\dot{y}}{V} f + \frac{\lambda^*}{m} \cos \alpha_n \cdot \sin \beta_n; \\ \ddot{z} = \frac{\lambda^*}{m} \sin \alpha_n \cdot \sin \beta_n - q \lambda^* \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_n \sin^2 \beta_n} \frac{\dot{z}}{V} f, \end{cases} \quad (10)$$

После прохождения по совершенствованному L-образному ножу почва попадает на двусторонний отвал, установленный позади почвенной фрезы, а также на защитный кожух и в борозду. Рассмотрим движение частицы почвы по поверхности двустороннего отвала (рисунок 4).

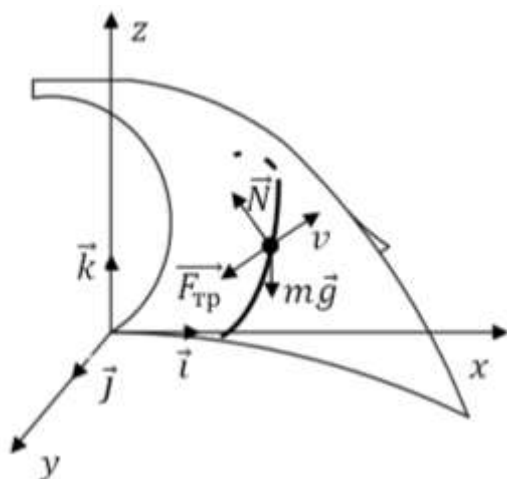


Рисунок 4 – Схема движения частицы почвы по поверхности двустороннего отвала

Уравнение поверхности:

$$f(x, y, z) = 0 \text{ или} \quad (11)$$

$$-y + a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3xz + a_4z + a_5z^2 = 0$$

Запишем уравнение основного закона динамики:

$$m\vec{W} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{mp} \quad (12)$$

$$\vec{N} = \lambda \text{grad}f(x, y, z) \quad (13)$$

Проекции силы  $\vec{N}$  на оси координат:

$$\begin{cases} N_x = \lambda \frac{\partial f}{\partial x}; \\ N_y = \lambda \frac{\partial f}{\partial y}; \\ N_z = \lambda \frac{\partial f}{\partial z}. \end{cases} \quad (14)$$

Обозначим модуль нормальной реакции  $|\vec{N}| = N$ :

$$N = |\lambda| \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} = |\lambda| \cdot |\text{grad}f| \quad (15)$$

$$\vec{F}_{mp} = -|\vec{F}_{mp}| \cdot \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|}$$

$$\vec{v} = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}$$

$$v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$$

$$|\vec{F}_{mp}| = F_{mp} = N \cdot C,$$

где  $C$  – коэффициент трения.

Проекции силы  $\vec{F}_{mp}$  на оси координат:

$$\begin{cases} F_{mpx} = -NC \frac{\dot{x}}{v}; \\ F_{mpy} = -NC \frac{\dot{y}}{v}; \\ F_{mpz} = -NC \frac{\dot{z}}{v}. \end{cases} \quad (16)$$

Проекции силы тяжести  $m\vec{g}$  на оси координат:

$$\begin{cases} mg_x = 0; \\ mg_y = 0; \\ mg_z = -mg. \end{cases} \quad (17)$$

Подставляя (18), (20) и (21) в проекции уравнения (16) на оси координат получим:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \lambda \frac{\partial f}{\partial x} - |\lambda| \cdot |gradf| \cdot C \cdot \frac{\dot{x}}{v}; \\ m\ddot{y} = \lambda \frac{\partial f}{\partial y} - |\lambda| \cdot |gradf| \cdot C \cdot \frac{\dot{y}}{v}; \\ m\ddot{z} = -mg + \lambda \frac{\partial f}{\partial z} - |\lambda| \cdot |gradf| \cdot C \cdot \frac{\dot{z}}{v}. \end{cases} \quad (18)$$

Дополняя систему трех дифференциальных уравнений (18) уравнением связи (11) получаем замкнутую систему уравнений в форме уравнений Лагранжа 1<sup>го</sup> рода с четырьмя неизвестными функциями:  $x(t), y(t), z(t), \lambda(t)$ , для которых необходимо задать начальные условия при  $t=0$ .

Функцию  $\lambda(t)$  называют множителем Лагранжа. После ее определения по выражению (14) находятся проекции нормальной реакции на оси координат. В процессе численного решения необходимо на каждом этапе отслеживать знак множителя Лагранжа  $\lambda(t)$ . При его смене материальная точка отрывается от поверхности и уравнение связи (11) нарушается и в уравнении (12) остается в правой части только сила тяжести. Кроме того необходимо на каждом этапе решения по времени проверять значение модуля скорости  $|\vec{v}|$  при его стремлении к нулю точка останавливается и необходимо обеспечить обработку исключения, когда в знаменателе выражений (16) появляется нулевая скорость. Если материальная точка не отрывается от поверхности в процессе движения и не останавливается, то траектория движения стремится до границы физического тела, описываемого поверхностью вида (11). Конечные координаты и скорости в проекциях на оси являются начальными условиями для следующего этапа движения под действием силы тяжести. Решение системы дифференциальных уравнений (18) проводим методом усредненного ускорения, причем интегрирование вели по первому и третьему уравнению по переменным  $x$  и  $z$ . Уравнение для переменной  $y$  использовалось для нахождения множителя  $\lambda(t)$ , с учетом уравнения поверхности (11) в виде:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3xz + a_4z + a_5z^2, \quad (19)$$

где  $a_i$ - постоянные координаты, определенные по форме двустороннего отвала.

На каждом этапе интегрирования  $\lambda(t)$  находится по выражению:

$$\lambda_i(t) = \frac{1}{\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)} \cdot (m\ddot{y} + |\lambda_{i-1}(t)| |gradf|) C \frac{\dot{y}}{v} \quad (20)$$

где  $\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) = -1$  (в соответствии с (19), если перенести  $y$  в правую часть).

Скорость в проекции на ось  $y$ :

$$\dot{y} = a_1\dot{x} + 2a_2x\dot{x} + a_3x\dot{z} + a_3\dot{x}z + a_4\dot{z} + 2a_5z\dot{z}. \quad (21)$$

Проекция ускорения на ось  $y$ :

$$\ddot{y} = a_1\ddot{x} + 2a_2(\dot{x}^2 + x\ddot{x}) + a_3(\dot{x}\dot{z} + x\ddot{z}) + a_3(\ddot{x}z + \dot{x}\dot{z}) + a_4\ddot{z} + 2a_5(\dot{z}^2 + z\ddot{z}). \quad (22)$$

Причем  $\lambda_{i-1}(t)$  - значение  $\lambda$  на следующем этапе решения.

В уравнение (18) подставляем производные от уравнения поверхности:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial x} = a_1 + 2a_2x + a_3z; \\ \frac{\partial f}{\partial z} = a_3x + a_4 + 2a_5z. \end{cases} \quad (23)$$

Таким образом, два дифференциальных уравнения по  $x$  и  $z$  решаются численно, а для вычисления функции  $v, f, gradf$ , используются соотношения (19), (20), (21) и (22).

Исходя из выше приведенного математического моделирования, нами была написана компьютерная программа для нахождения траектории движения частицы почвы по поверхности двустороннего отвала. На основании математического моделирования движения почвы по поверхности двустороннего отвала можно обоснованно подойти к выбору оптимальных конструктивных параметров двустороннего отвала.

**В третьей главе** «Программа, методика исследований и оборудование» дано описание программы лабораторно-полевых экспериментальных исследований, а также самих методик исследований.

Основными задачами экспериментальных исследований являлись:

- оценка эффективности совершенствованной технологии полосного посева трав в механически разрушаемую дернину;
- оценка конструктивно-технологической схемы совершенствованной формы L-образного ножа почвенной фрезы;
- оценка конструктивно-технологической схемы двустороннего отвала;
- определение оптимальных конструктивных параметров совершенствованной формы L-образного ножа почвенной фрезы;
- определение оптимальных конструктивных параметров двустороннего отвала.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана лабораторно-полевая установка (рисунок 5). Установка выполнена на базе отдельной фрезерной секции дернинной сеялки, под кожухом 4 расположены две дисковые фрезы 2 с двухсторонним расположением совершенствованных L-образных ножей 1, за фрезами установлен двусторонний отвал 3, выполненный в виде двух сопряженных поверхностей и симметричный в продольно-вертикальной плоскости.



Рисунок 5 – Лабораторно-полевая установка: 1 – L-образный нож; 2 – фреза; 3 – двусторонний отвал; 4 – кожух

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены совершенствованные L-образные ножи с различными параметрами (рисунок 6, а) и двусторонние отвалы (рисунок 6, б).



а



б

Рисунок 6 – а – совершенствованный L-образный нож; б – двусторонний отвал

Для сравнения использовалась дисковая фреза с двусторонне установленными Г-образными ножами.

**В четвертой главе** «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты исследования технологии полосного посева семян озимых злаковых зерновых культур в механически разрушаемую дернину многолетних бобовых трав; результаты экспериментальных исследований фрезерной секции дернинной сеялки с установленными L-образными ножами совершенствованной формы; результаты экспериментальных исследований фрезерной секции дернинной сеялки с установленным двухсторонним отвалом внутри ее кожуха. При выполнении полевых экспериментальных исследований была взята сеялка СДК-2,8, которая агрегатировалась с трактором МТЗ-82. Работы проводились на территории СПК "Красная Галица" Слободского района Кировской области, на дернисто-подзолистой почве с влажностью от 13,5 до 15,9% в слое 0...10 см, твердостью 1,18...2,58 МПа и связностью дернины – 10,08 кН/м<sup>2</sup>. Для повышения эффективности посевов многолетних бобовых трав нами предложена следующая технология, при котором в последний год производственного долголетия после первого укоса в механически разрушенную дернину многолетних бобовых посевов полосным способом подсевают озимые злаковые зерновые культуры. Одновременно с посевом семян озимых злаковых зерновых культур в полосы механически разрушенной дернины многолетних бобовых трав вносят фосфорно-калийные минеральные удобрения. На следующий год обновленные посевы убирают на кормовые цели. В ходе проведения исследований был произведен укос старосеянного клевера в фазе бутонизации. После чего на данном участке были высеяны семена озимой ржи сорта Фаленская 4 с внесением минеральных удобрений диаммофоска N<sub>10</sub>P<sub>26</sub>K<sub>26</sub> и без удобрений. Сеялка СДК-2,8 производила высев семян злаковых культур (озимой ржи) с нормой высева 145 кг/га и внесением минеральных удобрений от 50 кг/га. Неравномерность высева между отдельными аппаратами на высевах семян озимой ржи составила 1,2...3,4%. Глубина обработки

фрезерными рабочими органами составила 0,055...0,065 м. Глубина заделки семян озимой ржи составила 0,016...0,020 м. Ширина механически разрушаемых полос равна 110 мм, а ширина полос, оставшихся под клевером также равна 110 мм. Затем, обработанные и засеянные полосы были уплотнены. При таком расположении полос засеивается 50% площади зерновыми культурами, остальная часть остается под клевером. В ходе опытов изучали динамику появления всходов семян озимой ржи (рисунок 7), посеянных в дернину клевера, и их всхожесть.

На следующий год мы получили травостой совместного посева клевера лугового и озимой ржи (рисунок 8).

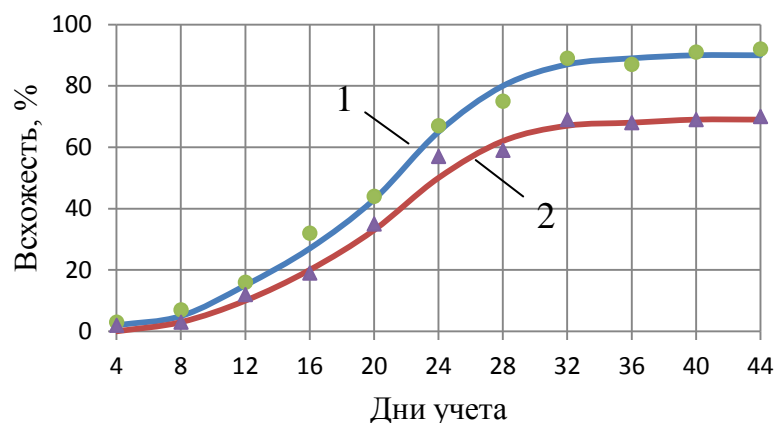


Рисунок 7 – Динамика появления всходов озимой ржи с минеральными удобрениями: 1 – совершенствованные L-образные ножи; 2 – Г-образные ножи

Рисунок 8 – Общий вид травостоя

После чего был произведен сбор урожая и анализ на биохимический состав травосмеси. Средняя урожайность (таблица 1) при применении предложенного нами способа за 2012-2015 гг. составила 5,41 т/га сухого вещества (СВ), что выше средних значений урожайности при одновидовом посеве бобовых культур.

Таблица 1 – Урожайность, т/га СВ

Фон	Годы использования				Среднего- довое зна- чение
	Первый	Второй	Третий	Четвертый	
Естественный фон клевера лугового	4,57	6,87	4,39	2,5	4,58
Улучшенный фон клевера лугового с подсевом озимой ржи	4,57	6,87	4,39	5,8	5,41

Результаты анализа на биохимический состав травосмеси показали достаточно высокий уровень содержания сырого протеина и относительно низкий уровень клетчатки, то мы можем считать, что снижения кормовой ценности не произошло и травосмесь достаточно питательна.

Исходя из полученных результатов исследования, можно сделать выводы: технология полосного посева семян озимых злаковых зерновых культур в механически разрушаемую дернину многолетних бобовых трав с использованием совершенствованной фрезерной секции дернинной сеялки позволяет повысить среднюю урожайность травостоя в последний год производственного долголетия на 18 %, а также еще на 1 год продлить сроки производственного использования этих посевов с высокой продуктивностью.

Для определения оптимальных параметров совершенствованного L-образного ножа почвенной фрезы комбинированной сеялки СДК-2,8 для посева семян трав в дернину был реализован трехуровневый план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для трех факторов. В качестве факторов были приняты значения высоты рыхлителя  $h$ , мм, величины отгиба крыла ножа фрезы  $b$ , мм, угла отгиба крыла ножа фрезы  $\alpha$ , град. В качестве критериев оптимизации приняты степень крошения фракции 0...0,03 м  $Y_1$ , %, степень крошения фракции более 0,03 м  $Y_2$ , % и тяговое сопротивление лабораторной установки  $Y_3$ , кН.

После реализации плана эксперимента и обработки результатов с помощью программы Statgrafics Plus 5,1 получены следующие математические модели критериев оптимизации:

$$Y_1 = 83,05 + 1,73X_1 - 1,14X_2 - 0,68X_3 - 0,27X_1^2 - 0,05X_2^2 - 0,34X_2X_3 \quad (24)$$

$$Y_2 = 16,95 - 1,73X_1 + 1,14X_2 + 0,68X_3 + 0,27X_1^2 + 0,05X_2^2 + 0,34X_2X_3 \quad (25)$$

$$Y_3 = 1,203 + 0,081X_1 + 0,053X_2 + 0,032X_3 + 0,012X_2X_3 \quad (26)$$

Решая компромиссную задачу получаем (рисунок 9), что оптимальные условия рабочего процесса почвенной фрезы с совершенствованным L-образным ножом достигаются при следующих значениях параметров ножа: высота рыхлителя ножа  $h=10$  мм, величина отгиба крыла ножа фрезы  $b=10$  мм, угла отгиба крыла ножа фрезы  $\alpha=30^\circ$ . При этих значениях факторов степень крошения фракции 0...0,03 м находится в пределах  $Y_1=83,00..84,49$  %, степень крошения фракции более 0,03 м  $Y_2=25,51..26,25$  %, а тяговое сопротивление машины  $Y_3=1,13..1,21$  кН

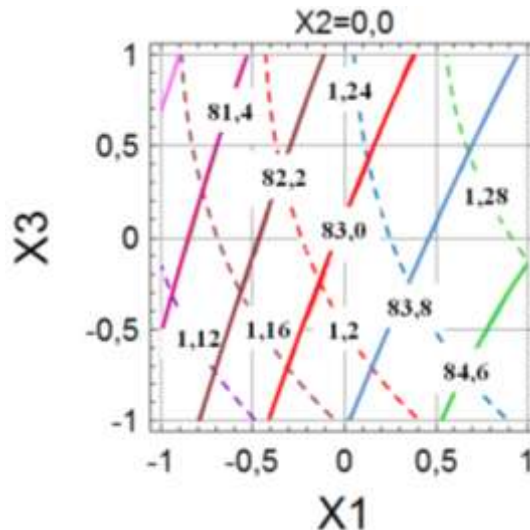


Рисунок 9 – Двумерное сечение отклика, характеризующее зависимость  $Y_1$ , % и  $Y_3$ , кН

Также были получены зависимости изменения степени крошения почвы  $P_{\%cod}$  по фракциям от показателя кинематического режима  $\lambda$  работы фрезы. На рисунке 10 показан анализ зависимости процентного содержания фракции 0...0,03 м частиц почвы от кинематического показателя режима работы фрезы и типа фрезерного сошника, исходя из которого можно сделать вывод, что, независимо от используемого типа рабочего органа почвенной фрезы, при изменении  $\lambda$

от 8,0 до 16,0 процентное содержание фракции почвы постоянно возрастало из-за повышения скорости резания.

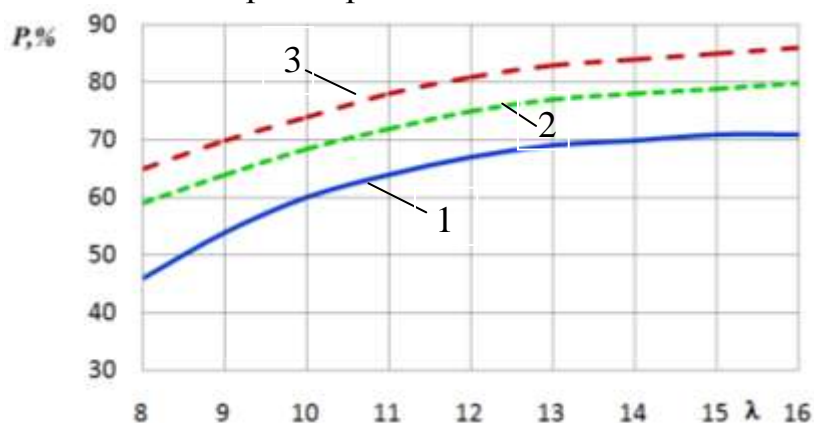


Рисунок 10 – Зависимость процентного содержания фракции 0...0,03 м частиц почвы от кинематического показателя режима работы фрезы и типа фрезерного сошника: 1 – фреза с Г-образными ножами; 2 – фреза с L-образными ножами; 3 – фреза с совершенствованными L-образными ножами

При фрезеровании совершенствованными L-образными ножами процентное содержание фракции почвы 0...0,03 м было наиболее высоким при изменении кинематического показателя с 8,0 до 16,0 и составляло от 65 до 86 % соответственно. Данный показатель в среднем на 17% выше, чем у фрезы с Г-образными ножами.

Оптимизацию параметров и режимов работы фрезерного сошника со встроенным двусторонним отвалом комбинированной сеялки

для посева семян сельскохозяйственных культур в дернину проводили методом планирования эксперимента. Был выбран трехуровневый план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для трех факторов. В качестве факторов были приняты значения величины кинематического показателя режима работы фрезы  $\lambda$  ( $x_1$ ), угол кривизны поверхности отвала (продольно-вертикальная плоскость)  $\alpha$  ( $x_2$ ), град, и ширина захвата двустороннего отвала с ( $x_3$ ), мм. В качестве критерия оптимизации принята доля невозвращенной почвы на одном метре обработанной полосы ( $Y_1$ ), %.

После реализации плана эксперимента и обработки результатов с помощью программы Statgrafics Plus 5,1 получены следующие математические модели критериев оптимизации, проверенные на адекватность по  $F$ -критерию Фишера при вероятности  $P=0,95$ :

$$Y_1 = 7,81 - 0,74125X_1 - 0,62875X_2 + 0,225X_3 - 0,09125X_1^2 - 0,0475X_1X_2 + 0,015X_1X_3 - 0,09125X_2^2 + 0,015X_2X_3 + 1,20125X_3^2 \quad (27)$$

На рисунке 11 представлено двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость доли невозвращенной почвы в обработанные полосы от факторов  $X_2$  и  $X_3$  при фиксированном значении фактора  $X_1=1$ .

С увеличением угла кривизны  $\alpha$  поверхности отвала от 53 до 70 градусов доля невозвращенной почвы уменьшается с 7,4 до 6,2 %. При этом из рисунка 11 видно, что двусторонний отвал, установленный внутри кожуха фрезерной секции, будет возвращать наибольшее количество почвы после ее обработки почвенной фрезой с усовершенствованными L-образными ножами при ширине захвата двустороннего отвала, равной 159,5 мм.



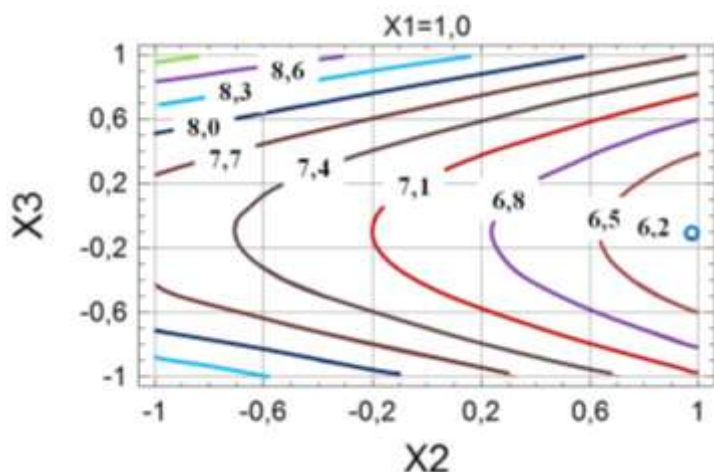


Рисунок 11 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость доли невозвращенной почвы, % от угла кривизны поверхности отвала  $X_2$  и ширины захвата двухстороннего отвала  $X_3$  при фиксированном значении кинематического показателя работы фрезы  $X_1=1$

Анализ следующей зависимости (рисунок 12) показал, что при изменении фактора  $X_1$  от -1 до 1 и значениях фактора  $X_3 = -0,4 \dots 0,2$  доля невозвращенной почвы уменьшается от 9,5 до 7,1%. Данный показатель  $Y_1$  получает наименьшее значение при ширине захвата двустороннего отвала от 148,5 мм до 176,0 мм и кинематическом показателе работы фрезы  $\lambda=15$ .

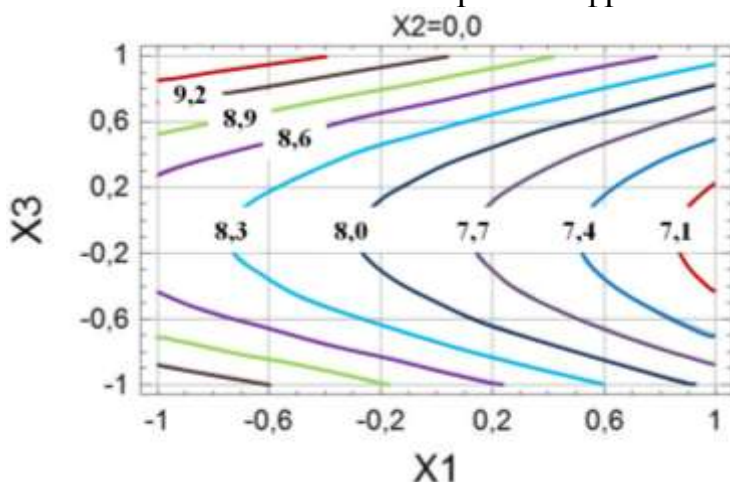


Рисунок 12 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость доли невозвращенной почвы, % от кинематического показателя работы фрезы  $X_1$  и ширины захвата двухстороннего отвала  $X_3$  при фиксированном значении угла кривизны поверхности отвала  $X_2=0$

Как показали экспериментальные исследования, без использования двустороннего отвала масса невозвращенной почвы в обработанные полосы на длине 3 м доходит до 34,5 кг, что составляет 50% от всей массы почвы в обработанных полосах. Если использовать усовершенствованную фрезерную секцию с установленным в кожух сеялки двусторонним отвалом, масса невозвращенной почвы в обработанные полосы на длине 3 м составляет при наилучших параметрах оптимизации 4,3 кг.

Решая компромиссную задачу, можно сделать вывод, что оптимальными значениями основных показателей для получения наименьшей доли невозвращенной почвы являются: кинематический показатель работы фрезы  $\lambda=15$ , угол кривизны поверхности отвала  $\alpha=70^\circ$ , ширина захвата двухстороннего отвала  $c=159,5$  мм. Таким образом, использование двустороннего отвала, установленного внутри кожуха фрезерной секции позади рабочих элементов, целесообразно, поскольку позволяет уменьшить долю невозвращенной почвы в обработанные полосы до 6,2 %.

*В пятой главе* «Технико-экономическая эффективность использования дернинной сеялки СДК-2,8» представлена экономическая эффективность использования совершенствованной технологии полосного посева семян озимых злаковых зерновых культур в механически разрушаемую дернину многолетних бобовых трав с использованием совершенствованной фрезерной секции дернинной сеялки. Годовой экономический эффект составляет 110460,6 руб. при годовом объеме работ в 108 га, а срок окупаемости 1,84 года. Расчеты выполнены на основе данных производственных испытаний, проведенных на территории СПК "Красная Талица" Слободского района Кировской области.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан способ полосного посева семян озимых злаковых зерновых культур в механически разрушаемую дернину многолетних бобовых трав (заявка на изобретение №2014146154 от 19.11.2014).

2. Для реализации способа была разработана конструктивно-технологическая схема сеялки для полосного посева семян трав в дернину, которая имеет в своем составе L-образный нож совершенствованной формы, установленный на почвенной фрезе, а также двусторонний отвал, расположенный внутри кожуха фрезерной секции позади рабочих элементов (заявка на изобретение №2016105039 от 15.02.2016).

3. Получены аналитические зависимости (6), (10), описывающие процесс обработки почвы фрезерным сошником с L-образными ножами совершенствованной формы, а также зависимости (18), (23) движения почвы по двустороннему отвалу.

4. Экспериментальными исследованиями выявлено, что предложенное нами конструктивное решение L-образного ножа совершенствованной формы позволяет улучшить степень крошения почвы в связи с увеличением данного показателя на 17 % для фракции 0...0,03 м. Такое высокое процентное содержание фракции достигнуто за счет установленного на нож рыхлительного элемента и отогнутого крыла, которые способствуют дополнительному измельчению почвы. Кроме того, удалось уменьшить тяговое сопротивление на 0,1-0,2 кН в сравнении с Г-образными ножами. Оптимальные условия рабочего процесса почвенной фрезы с L-образным ножом совершенствованной формы достигаются при следующих значениях параметров ножа: высота рыхлителя ножа  $h=10$  мм, величина отгиба крыла ножа фрезы  $b=10$  мм, угла отгиба крыла ножа фрезы  $\alpha=30^\circ$ .

5. Экспериментальными исследованиями выявлено, что использование двустороннего отвала, установленного внутри кожуха фрезерной секции сеялки позади рабочих элементов, позволяет уменьшить долю невозвращенной почвы в обработанные полосы до 6,2 % при оптимальных параметрах: кинематический показатель работы фрезы  $\lambda=15$ , угол кривизны поверхности отвала  $\alpha=70^\circ$ , ширина захвата двустороннего отвала  $c=159,5$  мм.

6. Способ полосного посева семян озимых злаковых зерновых культур в механически разрушаемую дернину многолетних бобовых трав с использованием совершенствованной фрезерной секции дернинной сеялки позволяет повысить

среднюю урожайность травостоя в последний год производственного долголетия на 18 %, а также еще на 1 год продлить сроки производственного использования этих посевов с высокой продуктивностью. Экономический эффект составляет 110460,6 руб. при годовом объеме работ в 108 га, а срок окупаемости 1,84 года (в ценах 2016 года).

**Перспектива дальнейшей разработки темы** заключается в повышении надежности работы усовершенствованной фрезерной секции дернинной сеялки.

### **Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

#### ***Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК***

1. Курбанов, Р.Ф. Способ продления производственного долголетия посевов многолетних бобовых трав / Р.Ф.Курбанов, В.Е. Саитов, И.Н. Ходырев// Журнал «Успехи современного естествознания»: Научно-практический журнал № 8 2016. Издательский Дом «Академия Естествознания», г.Москва, 2016.- С. 98-103.

2. Курбанов, Р.Ф. Параметры ножа усовершенствованной конструкции почвенной фрезы сеялки СДК-2,8 / Р.Ф.Курбанов, И.Н. Ходырев// Пермский аграрный вестник: Научно-практический журнал №2 (14) 2016. «Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова», г.Пермь, 2016. - С. 101-107.

3. Курбанов, Р.Ф. Совершенствование конструктивно-технологической схемы фрезерного сошника сеялки СДК-2,8 / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев// Пермский аграрный вестник: Научно-практический журнал №3 (15) 2016. «Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова», г.Пермь, 2016. - С. 80-86.

#### ***Статьи в сборниках научных трудов***

4. Ходырев, И.Н. Проблема окультуривания дернинных земель Кировской области / И.Н.Ходырев// Наука и образование в XXI веке: Материалы междунар. науч.-практ. конф.: Сб. науч. тр. часть 19 – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2014. – Вып. 19. - С. 144-145.

5. Курбанов, Р.Ф. Направление повышения продуктивности культурных кормовых угодий / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. «Наука-Технология - Ресурсосбережение»: Сб. науч. тр. – Киров: Вятская ГСХА, 2014. – Вып. 15. - С. 114-118.

6. Курбанов, Р.Ф. Системный подход к процессу повышения продуктивности культурных кормовых угодий / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев// Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Наука-Технология - Ресурсосбережение»: Сб. науч. тр. – Киров: Вятская ГСХА, 2015. – Вып. 16. - С. 100-104.

7. Курбанов, Р.Ф. Способы продления производственного долголетия бобовых трав на естественных и культурных угодьях / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев // Пермский аграрный вестник: Научно-практический журнал №2 (10) 2015.

«Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова», г.Пермь, 2015. - С. 45-50.

8. Курбанов, Р.Ф. Повышение продуктивности кормовых угодий путем улучшения качества обработки почвы / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев // Знания молодых: наука, практика и инновации: Сборник научных трудов XV Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых. В 2ч. Ч.1. Технические и экономические науки. – Киров: Вятская ГСХА, 2015. - С. 90-95.

9. Курбанов, Р.Ф. Посев озимых злаковых культур и улучшение качества обработки почвы сеялкой СДК-2,8 как средство повышения производственного долголетия посевов многолетних бобовых трав / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. «Наука-Технология - Ресурсосбережение»: Сб. науч. тр. – Киров: Вятская ГСХА, 2016. – Вып. 17. - С. 143-147.

10. Ходырев, И.Н. Посев озимых злаковых культур как средство повышения производственного долголетия посевов многолетних бобовых трав / И.Н.Ходырев// Вестник научных конференций: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Наука и образование в жизни современного общества»: Сб. науч. тр. – г.Тамбов: 31 марта 2016. – Часть 4. - С. 118-122.

11. Курбанов, Р.Ф. Снижение доли невозвращенной почвы в обработанные полосы дернины / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев // Журнал «Высшая школа»: Научно-практический журнал №11/2016, 2 часть. Издательство «Инфинити», ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, г.Уфа, 2016. - С. 70-73.

12. Курбанов, Р.Ф. Энергетическая и экономическая эффективность использования новой технологии и технического средства посева семян трав в дернину / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев// Журнал «Научная перспектива»: Научно-практический журнал №9 (79)/2016. Издательство «Инфинити», г.Уфа, 2016.- С. 65-66.

### ***Патенты***

13. Курбанов, Р.Ф. Способ продления производственного долголетия посевов многолетних трав / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев // Заявка в ФИПС на изобретение № 2014146154 от 19.11.2014. - 6 с.

14. Курбанов, Р.Ф. Сеялка для полосного посева семян трав в дернину / Р.Ф.Курбанов, В.Е.Саитов, И.Н. Ходырев, А.В.Созонтов // Заявка в ФИПС на изобретение № 2016105039 от 15.02.2016. - 7 с.

Заказ № 238 Подписано к печати 23.11.2016 г.

Тираж 90 экз. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Бумага офсетная. Усл. п. л. 1,0

---

Вятская государственная сельскохозяйственная академия  
610017, г. Киров, Октябрьский пр-т, 133

Отпечатано с оригинал-макета в типографии Вятской ГСХА