

На правах рукописи



ДАМБАЕВА БАИРМА ЕФИМОВНА

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОШНИКА С ПРИКАТЫВАЮЩИМ
КАТКОМ И РЫХЛИТЕЛЕМ В УСЛОВИЯХ БУРЯТИИ**

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Улан-Удэ - 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова»

**Научный
руководитель**

доктор технических наук, профессор
Раднаев Даба Нимаевич

**Официальные
оппоненты:**

Беляев Владимир Иванович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный
университет» кафедра «Сельскохозяйственная техника
и технологии», заведующий

Кем Александр Александрович, кандидат
технических наук, доцент, ФГБНУ «Омский аграрный
научный центр» отдел механизации и экономических
исследований, заведующий

Ведущая организация

Сибирский научно-исследовательский институт
механизации и электрификации сельского хозяйства –
структурное подразделение СФНЦА РАН (СибИМЭ
СФНЦА РАН)

Защита диссертации состоится «17» декабря 2024 года в 13 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета 35.2.013.03 при Федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ») по адресу: 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, телефон: +7(4162)99-51-79; E-mail: dis35201303@dalgau.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет» по адресу: www.dalgau.ru

Автореферат разослан « ____ » _____ 202__ года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Панова Елена Владимировна

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Для увеличения производительности при выращивании зерновых культур необходимо использовать современные технологии, которые помогут экономить энергию и ресурсы. Важную роль играют новые машины и оборудование, такие как посевные машины и комплексы, способные выполнять несколько операций одновременно с учетом всех агротехнических требований. Особенно важно правильно провести посев семян на определенную глубину и с учетом оптимального распределения по площади.

Климатические и почвенные условия в различных регионах России, включая Бурятию, значительно отличаются от европейской части страны. Традиционные методы посева не всегда приносят желаемые результаты в связи с холодной весной и недостатком влаги в почве. В Бурятии посевы зерновых культур часто страдают из-за невысокой всхожести, что связывают с ускоренным высыханием верхнего слоя почвы весной. В результате приходится сеять семена на глубину 6-8 см, чтобы обеспечить их прорастание. Отклонение от рекомендованной глубины посева может отрицательно повлиять на урожай. Одновременный посев и прикатывание почвы может привести к образованию корки и замедлению роста растений. Наиболее эффективным считают полосовой посев с применением дискового сошника с прикатывающим катком и рыхлителем, который обеспечивает рациональные условия для питательных веществ и проникновения кислорода к семенам.

Нынешние модели сошников для сеялок не полностью соответствуют необходимым агротехническим стандартам, предъявляемым при посеве зерновых культур. Они не оборудованы специальными механизмами, которые могли бы адаптироваться к особенностям поля и обеспечить равномерное размещение семян на требуемой глубине.

Изучение конструкций технических устройств для посева зерновых культур, включающих прикатывающий каток с рыхлителем, имеет важное значение благодаря своим уникальным свойствам. Эти процессы приобретают существенное хозяйственное и экономическое значение для аграрного сектора Республики Бурятия.

Степень разработанности темы исследования. Исследования Шевелева В.М., Акулова В.М., Ивженко С.А., Курдюмова В.И., Голубева В.В., Сарсенова А.Е., Егорова А.Е., Прошкина В.Е., Сидорова Л.П., Бадмацыренова Д-Ц.Б. и других авторов посвящены теоретическим и практическим аспектам прикатывания почвы. Исследования в области технологии рядкового прикатывания почвы показали значительную осведомленность по данной теме. Однако современные модели катков для этого процесса обладают определенными недостатками, которые могут помешать выполнению требований по качеству эксплуатации. Таким образом, улучшение дисковых сошников с прикатывающим катком и рыхлителем при полосовом посеве остается актуальной задачей.

В своих исследованиях Пяткин А.А., Габаев А.Х., Анутов Р.М., Сарсенов А.Е. и другие ученые изучают, как угол отклонения поводка от вертикальной плоскости влияет на устойчивость движения сошника. Они разработали различные математические модели, представленные для описания данного движения и его влияние на стабильное распределение семян сохраняется, если придерживаться агротехнических норм, что гарантирует прохождение сошника на глубину 6-8 см с допустимой погрешностью ± 1 см.

Тем не менее, на данный момент не проведены всесторонние исследования, направленные на создание аналитической модели для оценки устойчивости движения дискового сошника в тандеме с прикатывающим катком и рыхлителем, кроме того, установление оптимальных условий эксплуатации и технических характеристик для сухостепной зоны Республики Бурятия.

Цель исследования - разработка комбинированного приема посева зерновых в почвенно-климатических условиях Бурятии и рабочего органа для его осуществления.

Гипотеза. Для повышения качества посева зерновых и увеличения скорости всходов в засушливых почвенно-климатических условиях Бурятии целесообразно использовать комбинированный сошник, совмещающий посев с одновременным прикатыванием и поверхностным рыхлением почвы.

Задачи исследования:

1. Разработана математическая модель, характеризующая устойчивость движения сошника

с прикатывающим катком и рыхлителем в вертикальной плоскости.

2. Получены закономерности для сохранения глубины заделки семян в зависимости от конструктивно-режимных параметров экспериментального сошника.

3. Обоснован новый агротехнический прием, конструктивная схема и режимные параметры усовершенствованного рабочего органа для посева зерновых культур.

4. Дать агротехническую, эксплуатационно-технологическую и экономическую оценку посевного агрегата с усовершенствованными сошниками.

Объект исследования. Технологический процесс посева зерновых культур с применением сошника, оснащенного прикатывающим катком и рыхлителем.

Предмет исследования. Выявление закономерностей воздействия параметров сошника с прикатывающим катком и рыхлителем на процесс посева зерновых культур.

Научная новизна.

1. Разработана математическая модель, характеризующая устойчивость движения сошника с прикатывающим катком и рыхлителем в вертикальной плоскости.

2. Получены закономерности для сохранения глубины заделки семян в зависимости от конструктивно-режимных параметров экспериментального сошника.

3. Обоснован новый агротехнический прием, конструктивная схема и режимные параметры усовершенствованного рабочего органа для посева зерновых культур.

4. Получена регрессионная модель изменения тягового сопротивления усовершенствованного рабочего органа от глубины хода и скорости перемещения сошника и конструктивных параметров рыхлителя

Практическая значимость. Использование модернизированного сошника при посеве зерновых в засушливых районах Республики Бурятия способствует повышению урожайности на 2...2,3 центнера с гектара.

Теоретическая значимость работы. Получена аналитическая зависимость для анализа стабильности движения сошника с катком и рыхлителем в вертикальной плоскости с учетом угла отклонения сошника от его равновесного положения; теоретические и регрессионные зависимости, позволяющие определить влияние конструктивно-режимных параметров усовершенствованного рабочего органа на сохранение глубины посева зерновых.

Разработан новый агротехнический прием и обоснованы конструктивно-технологические схемы экспериментального сошника для посева зерновых в засушливых климатических условия Бурятии.

Методы исследования. Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений, законов и методов классической механики и математического анализа. Экспериментальные исследования базировались на планировании многофакторного эксперимента, априорного ранжирования, регрессионного и дисперсионного анализа. Эксперименты осуществлялись в лабораториях, а также на производственных и полевых площадках в соответствии с общепринятыми методиками и действующими ГОСТами. Обработка и вычисления экспериментальных данных осуществлялись на персональном компьютере с использованием стандартного программного обеспечения, включая Microsoft Excel и Statistica 7.0 RUS.

Степень достоверности работы подтверждается значительной степенью сходимости теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация работы. Итоги основных исследований были презентованы и получили одобрение на последующих конференциях: научно-практические конференции, приуроченные ко Дню российской науки, организованные ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА имени В.Р. Филиппова» с 2021 по 2024 год; научно-практические конференции, проведенные ФГБОУ ВО «ВСГУТУ» в период с 2021 по 2024 год; X Национальная научно-практическая конференция с международным участием, приуроченная к 90-летию профессора Терских Ивана Петровича, организованная ФГБОУ ВО «ИрГАУ имени А.А. Ежевского» в 2022 году; Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 100-летию основанию Якутской АССР и 85-летию первого президента РС(Я) М.Е. Николаева (Николаевские чтения) в 2022 году; Всероссийская научно-практическая конференция «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы

развития», организованная ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ» в г. Благовещенске, проходившая с 2023 по 2024 год; Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию Д.Н. Раднаева, доктора технических наук и профессора кафедры «Механизация сельскохозяйственных процессов», организованная ФГБОУ ВО «БГСХА имени В.Р. Филиппова» в 2023 году.

Реализация результатов исследований. В хозяйствах Республики Бурятия введены сошники с прикатывающим катком и рыхлителем для посева зерновых культур: ООО «ВИСТА» в Бичурском районе, СПК «Ульдурга» в Еравнинском районе, СПК «Колхоз Искра» в Мухоршибирском районе.

Положения, выносимые на защиту:

1. Новый агротехнический прием посева зерновых культур в почвенно-климатических условиях Бурятии.

2. Математические модели и закономерности, характеризующие устойчивость работы сошника в зависимости от конструктивно-режимных параметров усовершенствованного рабочего органа.

3. Регрессионные модели, описывающие область оптимальных значений конструктивно-режимных параметров усовершенствованного рабочего органа для посева зерновых в соответствии с агротехническими требованиями.

4. Результаты тяговых испытаний, агротехнической, эксплуатационно-технологической и экономической оценок посевного агрегата с усовершенствованными сошниками.

Вклад автора в проведенном исследовании. Проведено исследование, касающееся механизации сельского хозяйства, агротехнических подходов, а также изучена адаптация посевных машин с рядковым прикатыванием и рыхлением в контексте эффективности применения данной технологии. Сформулированы теоретические принципы для улучшения конструктивных и эксплуатационных характеристик сошников, оснащенных прикатывающим катком и рыхлителем. Проведены экспериментальные испытания машинно-тракторного агрегата с новаторской сеялкой, разработаны методики и программа их выполнения. Принимала участие в проектировании и создании сошника, оборудованного прикатывающим катком и рыхлителем.

Публикации. В ходе диссертационного исследования было опубликовано 17 научных работ: 5 статей в журналах, включенных в перечень ВАК, 9 статей в изданиях, индексируемых РИНЦ, и получено 2 патента Российской Федерации на полезную модель.

Структура и объем работы. В работе представлены введение, пять основных глав, заключение, библиография и приложения. Общий объем работы составляет 160 страниц, в том числе 26 таблиц, 52 иллюстрации и 10 приложений. Литературный список состоит из 135 источников, из них 9 на иностранных языках.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, определены объект, предмет, цели и задачи работы, выбраны теоретические и методологические основы исследования, раскрыта научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены агротехнические требования, предъявляемые к посеву, приведен обзор и анализ существующих конструкций сошников и посевных машин.

Теоретические основы процесса прикатывания почвы были разработаны такими учеными и исследователями, как В.П. Горячкин, М.Н. Летошнев, Н.И. Кленин, А.Н. Карпенко, В.М. Халанский и многими другими. В работах этих авторов описаны процессы взаимодействия рабочей поверхности катка с почвой, а также их конструктивные параметры. Теоретическим и экспериментальным аспектам прикатывания почвы посвящены работы В.М. Шевелева, В.М. Акулова, С.А. Ивженко, В.И. Курдюмова, В.В. Голубева, А.Е. Сарсенова, А.Е. Егорова, В.Е. Прошкина, Л.П. Сидорова, Д-Ц.Б. Бадмацыренова и других авторов. Вместе с тем анализ исследований, посвященных технологическому процессу рядкового прикатывания почвы показал, что данная проблема достаточно хорошо изучена. Однако было выявлено, что конструкции современных катков для рядкового прикатывания имеют недостатки, которые не в полной мере

позволяют им выполнить требования по качеству, предъявленные к этой операции, особенно в условиях сухой степи Республики Бурятия. Авторы Пяткин А.А., Габаев А.Х., Анутов Р.М., Сарсенов А.Е., Зимина О.Г. и другие в своих исследованиях данный вопрос рассматривают с точки зрения устойчивости движения сошника в зависимости от угла отклонения поводка относительно вертикальной плоскости, который тесно коррелируется с равномерностью глубины заделки семян. Ими разработаны косинусоидальные, синусоидальные и другие зависимости, характеризующие угол отклонения поводка сошника от равновесного положения, который влияет на равномерность глубины заделки семян в рамках агротехнических требований (± 1 см) для глубины хода сошника 6...8 см.

Однако не полностью исследованы вопросы разработки аналитической зависимости, связывающей устойчивость движения дискового сошника с прикатывающим катком и рыхлителем с равномерностью глубины заделки семян, а также обоснования его оптимальных эксплуатационно-технологических параметров в условиях сухостепной зоны Республики Бурятия.

Во второй главе рассматривается движение сошниковой системы с помощью уравнения Лагранжа 2-го рода. В качестве уравнения обобщенных координат примем угловое отклонение поводка сошника (α) в вертикальной плоскости

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial \alpha} \right) = Q_{\alpha}, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы; α – обобщенная координата; $\dot{\alpha}$ – обобщенная скорость; Q_{α} – обобщенная сила.

Критерием устойчивости хода сошника примем постоянство угла наклона поводка α , которое будет обеспечено при отсутствии колебаний сошника, что соответствует статическому равновесию сошниковой системы.

При движении дискового сошника в почве возникают силы, влияющие на его устойчивое положение.

Наибольшее влияние на устойчивость хода сошника по глубине оказывает сопротивление почвы. На рисунке 1 представлена схема действующих сил на сошниковую систему.

Рассмотрим факторы, оказывающие влияние на отклонение поводка сошника в вертикальной плоскости.

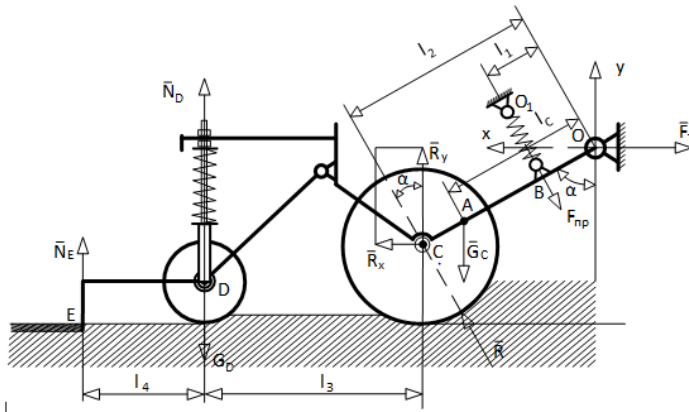


Рисунок 1. Схема действующих сил на сошниковую систему

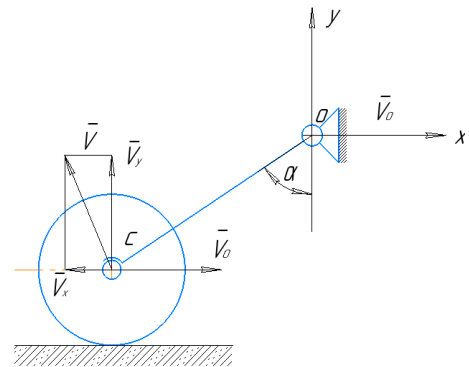


Рисунок 2. К вычислению скорости центра масс сошника

Находим кинетическую энергию T уравнения (1)

$$T = T_c + T_{\Pi} + T_k \quad (2)$$

где T_c – кинетическая энергия сошника; T_{Π} – кинетическая энергия поводка; T_k – кинетическая энергия прикатывающего катка.

Из рисунка 2 следует, что кинетическая энергия сошника имеет вид

$$T_c = \frac{1}{2} m_c [v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot l_{CO} \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{CO}^2] + \frac{1}{4} m_c v_0^2$$

$$\text{или } T_c = m_c \left[\frac{3}{4} v_0^2 - v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot l_{CO} \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{CO}^2 \right] \quad (3)$$

Кинетическая энергия поводка $T_{\Pi} = I_{\Pi} \frac{\omega_{\Pi}^2}{2}$, здесь I_{Π} – момент инерции поводка, ω_{Π} – угловая скорость поводка.

Примем $I_{\Pi} = m_{\Pi} \frac{l_{\Pi}^2}{3}$, приведенный к оси 2, момент инерции поводка; m_{Π} – масса поводка; l_{Π} – длина поводка; $\omega_{\Pi} = \dot{\alpha}$, тогда

$$T_{\Pi} = m_{\Pi} \frac{l_{\Pi}^2}{3} \cdot \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 = \frac{1}{6} m_{\Pi} l_{\Pi}^2 (\dot{\alpha})^2$$

Примем условие $l_{\Pi} = CO$, тогда

$$T_{\Pi} = m_{\Pi} \frac{l_{\Pi}^2}{3} \cdot \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 = \frac{1}{6} m_{\Pi} l_{\Pi}^2 (\dot{\alpha})^2 \quad (4)$$

Кинетическая энергия катка

$$T_{\text{к}} = T_{\text{пост}}^{\text{к}} + T_{\text{вр}}^{\text{к}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{пост}}^{\text{к}}$ – поступательная кинетическая энергия; $T_{\text{вр}}^{\text{к}}$ – вращательная кинетическая энергия.

$$T_{\text{пост}}^{\text{к}} = m_{\text{к}} \frac{v_{\text{к}}^2}{2}, \quad T_{\text{вр}}^{\text{к}} = I_{\text{к}} \frac{\omega_{\text{к}}^2}{2}$$

Здесь $m_{\text{к}}$ – масса катка; $v_{\text{к}}$ – скорость центра масс катка; $I_{\text{к}}$ – момент инерции катка; $\omega_{\text{к}}$ – угловая скорость катка.

$$v_{\text{к}} = \sqrt{v_{\text{кx}}^2 + v_{\text{кy}}^2}$$

Аналогично с определением кинетической энергии сошника

$$v_{\text{кx}} = v_0 - v_{\text{к}} \cos \alpha = v_0 - \dot{\alpha} \cdot l_{\text{кO}} \cdot \cos \alpha, \quad v_{\text{кy}} = v_{\text{к}} \sin \alpha = \dot{\alpha} \cdot l_{\text{CO}} \cdot \sin \alpha.$$

$$v_{\text{к}}^2 = (v_0 - \dot{\alpha} \cdot l_{\text{кO}} \cdot \cos \alpha)^2 + (\dot{\alpha} \cdot l_{\text{CO}} \cdot \sin \alpha)^2 = v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot l_{\text{кO}} \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{\text{кO}}^2 \cdot \cos^2 \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{\text{CO}}^2 \cdot \sin^2 \alpha = v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot l_{\text{кO}} \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{\text{кO}}^2$$

$I_{\text{к}} = \frac{m_{\text{к}} R_{\text{к}}^2}{2}$; $\omega_{\text{к}} = \frac{v_0}{R_{\text{к}}}$ подставим полученные значения в их выражения.

$$T_{\text{пост}}^{\text{к}} = \frac{1}{2} m_{\text{к}} [v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot l_{\text{кO}} \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{\text{кO}}^2].$$

$T_{\text{вр}}^{\text{к}} = \frac{m_{\text{к}} R_{\text{к}}^2}{2} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{v_0}{R_{\text{к}}}\right)^2 = \frac{1}{4} m_{\text{к}} v_0^2$ подставим в

$$T_{\text{к}} = \frac{1}{2} m_{\text{к}} [v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot l_{\text{кO}} \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{\text{кO}}^2] + \frac{1}{4} m_{\text{к}} v_0^2 \text{ или}$$

$$T_{\text{к}} = m_{\text{к}} \left[\frac{3}{4} v_0^2 - v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot l_{\text{кO}} \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{\text{кO}}^2 \right].$$

Подставим полученные значения в уравнение (2)

$$T = m_{\text{с}} \left[\frac{3}{4} v_0^2 - v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot l_{\text{CO}} \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{\text{CO}}^2 \right] + \frac{1}{6} m_{\Pi} l_{\text{CO}}^2 (\dot{\alpha})^2 + m_{\text{к}} \left[\frac{3}{4} v_0^2 - v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot l_{\text{кO}} \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 \cdot l_{\text{кO}}^2 \right]. \quad (6)$$

После определения частных производных уравнения (1) получим выражение

$$I_0 \ddot{\alpha} = Q_{\alpha}. \quad (7)$$

По сути в уравнении (7) величина I_0 выражает приведенный момент инерции сошниковой системы относительно оси подвеса 0.

Если правая часть полученного уравнения (7), где обобщенная сила Q_{α} определится как сумма моментов внешних сил и реакций относительно оси, проходящей через точку 0 подвеса сошника к раме сеялки, то уравнение примет вид

$$Q_{\text{к}} = \sum m_0(\bar{F}_i) = G_{\text{с}} \cdot l_{\text{с}} + G_{\Pi} \cdot l_{\Pi} + G_{\text{к}} \cdot l_{\text{к}} - R_{\text{y}} \cdot l_1 - R_{\text{x}} \cdot l_2 + F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}} - R_{\text{к}}^{\text{y}} \cdot l_{\text{к}} - N_{\text{пл}} \cdot l_{\text{пр}} - R_{\text{к}}^{\text{x}} \cdot h_{\text{к}} - \tau_{\text{пл}} \cdot h_{\text{пр}}, \quad (8)$$

где $G_{\text{с}}$ – вес сошника, Н; $l_{\text{с}} = l_{\text{CO}} \sin \alpha$ – плечо момента силы G_{Π} , м; G_{Π} – вес поводка с корпусом, Н; $l_{\Pi} = l_{\text{AO}} \sin \alpha$ – плечо момента силы G_{Π} , м; $G_{\text{к}}$ – вес прикатывающего катка, Н; $l_{\text{к}} = l_{\text{ДО}} \sin \alpha$ – плечо момента силы $G_{\text{к}}$, м; R_{y} – реакция почвы на сошник в проекции на ось y, Н; $l_1 = l_{\text{CO}} \sin \alpha$ – плечо момента силы R_{y} , м; R_{x} – реакция почвы на сошник в проекции на ось x, Н; $l_2 = l_{\text{CO}} \cos \alpha$ – плечо момента силы R_{x} , м; $R_{\text{к}}^{\text{y}}$ – реакция почвы на прикатывающий каток в проекции на ось y, Н; $R_{\text{к}}^{\text{x}}$ –

реакция почвы на прикатывающий каток в проекции на ось x , Н; h_k – плечо момента силы R_k^x , м; $N_{пл}$ – нормальная реакция почвы на палец, Н; $\tau_{пл}$ – касательная реакция почвы на палец, Н; $l_{пл} = l_{BO} \sin \alpha$ – плечо момента силы $\tau_{пл}$; $F_{пр}$ – сила нажатия пружины, Н; $l_{пр}$ – плечо момента силы $F_{пр}$, м.

Примем в случае равновесного состояния сошниковой системы угол отклонения α поводка от вертикали $\alpha = \alpha_0$.

После соответствующих подстановок выражение для обобщенной силы (7) запишется следующим образом

$$Q_k = G_c \cdot l_{CO} \sin \alpha_0 + G_n \cdot l_{AO} \sin \alpha_0 + G_k \cdot l_{DO} \sin \alpha_0 - \\ - R_y \cdot l_{CO} \sin \alpha_0 - R_x \cdot l_{CO} \cos \alpha_0 + F_{пр} \cdot l_{пр} - R_k^y \cdot l_{DO} \sin \alpha_0 - \\ - N_{пл} \cdot l_{BO} \sin \alpha_0 - R_k^x \cdot (l_{DO} \cos \alpha_0 + \frac{1}{2} R_k) - \tau_{пл} \cdot l_{BO} \cos \alpha_0. \quad (9)$$

В реальности сошник постоянно отклоняется от равновесного состояния на некоторый угол $\Delta \alpha$, т.к. меняется характер сил, действующих на сошниковую систему. Тогда величина Q_α запишется

$$Q_\alpha = G_c \cdot l_{CO} \sin(\alpha_0 + \Delta \alpha) + G_n \cdot l_{AO} \sin(\alpha_0 + \Delta \alpha) + G_k \cdot l_{DO} \sin(\alpha_0 + \Delta \alpha) - \\ - R_y \cdot l_{CO} \sin(\alpha_0 + \Delta \alpha) - R_x \cdot l_{CO} \cos(\alpha_0 + \Delta \alpha) + F_{пр} \cdot l_{пр} - \\ - R_k^y \cdot l_{DO} \sin(\alpha_0 + \Delta \alpha) - N_{пл} \cdot l_{BO} \sin(\alpha_0 + \Delta \alpha) - \\ - R_k^x \cdot (l_{DO} \cos(\alpha_0 + \Delta \alpha) + \frac{1}{2} R_k) - \tau_{пл} \cdot l_{BO} \cos(\alpha_0 + \Delta \alpha). \quad (10)$$

Преобразуем (10), используя формулы приведения

$$Q_\alpha = G_c l_{CO} \sin \alpha_0 \cos \Delta \alpha + G_c l_{CO} \cos \alpha_0 \sin \Delta \alpha + G_n l_{AO} \sin \alpha_0 \cos \Delta \alpha + \\ + G_n l_{AO} \cos \alpha_0 \sin \Delta \alpha + G_k l_{DO} \sin \alpha_0 \cos \Delta \alpha + G_k l_{DO} \cos \alpha_0 \sin \Delta \alpha - \\ - R_y l_{CO} \sin \alpha_0 \cos \Delta \alpha - R_y l_{CO} \cos \alpha_0 \sin \Delta \alpha - R_x l_{CO} \cos \alpha_0 \cos \Delta \alpha + \\ + R_x l_{CO} \sin \alpha_0 \sin \Delta \alpha + F_{пр} l_{пр} - R_k^y l_{DO} \sin \alpha_0 \cos \Delta \alpha - R_k^y l_{DO} \cos \alpha_0 \sin \Delta \alpha - \\ - N_{пл} l_{BO} \sin \alpha_0 \cos \Delta \alpha - N_{пл} l_{BO} \cos \alpha_0 \sin \Delta \alpha - R_k^x l_{DO} \cos \alpha_0 \cos \Delta \alpha + \\ + R_k^x l_{DO} \sin \alpha_0 \sin \Delta \alpha - R_k^x \cdot \frac{D_k}{2} - \tau_{пл} l_{BO} \cos \alpha_0 \cos \Delta \alpha + \tau_{пл} l_{BO} \sin \alpha_0 \sin \Delta \alpha. \quad (11)$$

Подставим (11) в уравнение (7), предварительно упростив и сгруппировав

$$I_0 \ddot{\alpha} = (G_c l_{CO} \sin \alpha_0 + G_n l_{AO} \sin \alpha_0 + G_k l_{DO} \sin \alpha_0 - R_y l_{CO} \sin \alpha_0 - \\ - R_x l_{CO} \cos \alpha_0 - R_k^y l_{DO} \sin \alpha_0 - N_{пл} l_{BO} \sin \alpha_0 - R_k^x l_{DO} \cos \alpha_0 - \\ - \tau_{пл} l_{BO} \cos \alpha_0) \cos \Delta \alpha + (G_c l_{CO} \cos \alpha_0 + G_n l_{AO} \cos \alpha_0 + G_k l_{DO} \cos \alpha_0 - \\ - R_y l_{CO} \cos \alpha_0 + R_x l_{CO} \sin \alpha_0 - R_k^y l_{DO} \cos \alpha_0 - N_{пл} l_{BO} \cos \alpha_0 + R_k^x l_{DO} \sin \alpha_0 + \\ + \tau_{пл} l_{BO} \sin \alpha_0) \sin \Delta \alpha + (F_{пр} \cdot l_{пр} - R_k^x \cdot \frac{D_k}{2}). \quad (12)$$

Введем обозначения для выражения в скобках

$$A = G_c l_{CO} \sin \alpha_0 + G_n l_{AO} \sin \alpha_0 + G_k l_{DO} \sin \alpha_0 - R_y l_{CO} \sin \alpha_0 - \\ - R_x l_{CO} \cos \alpha_0 - R_k^y l_{DO} \sin \alpha_0 - N_{пл} l_{BO} \sin \alpha_0 - R_k^x l_{DO} \cos \alpha_0 - \tau_{пл} l_{BO} \cos \alpha_0. \quad (13)$$

$$B = G_c l_{CO} \cos \alpha_0 + G_n l_{AO} \cos \alpha_0 + G_k l_{DO} \cos \alpha_0 - R_y l_{CO} \cos \alpha_0 + \\ + R_x l_{CO} \sin \alpha_0 - R_k^y l_{DO} \cos \alpha_0 - N_{пл} l_{BO} \cos \alpha_0 + R_k^x l_{DO} \sin \alpha_0 + \tau_{пл} l_{BO} \sin \alpha_0. \quad (14)$$

$$D = F_{пр} l_{пр} - R_k^x \frac{D_k}{2}. \quad (15)$$

После подстановки А, В и Д в уравнение (12) получим

$$I_0 \cdot \ddot{\alpha} = A \cos \Delta \alpha + B \sin \Delta \alpha + D,$$

Обозначив $\Delta \alpha = \alpha$, получим

$$I_0 \cdot \ddot{\alpha} = A \cos \alpha + B \sin \alpha + D, \quad (16)$$

После решения уравнение (16) получим

$$\alpha = \frac{A+D}{B} \left[\frac{\left(e^{2\sqrt{\frac{B}{I_0}} t} + 1 \right)}{2 \cdot e^{\sqrt{\frac{B}{I_0}} t}} - 1 \right]. \quad (17)$$

Полученная формула (17) характеризует экспонентную зависимость угла отклонения поводка сошника с прикатывающим катком и рыхлителем от равновесного положения (α_0).

В третьей главе поставлены цели и сформулированы задачи экспериментальных исследований.

Целью экспериментальных исследований является проверка адекватности теоретических предпосылок реальному процессу.

Изложена программа и методика экспериментальных исследований.

В эксперименте при оптимизации параметров сошника возникает необходимость решения экстремальных задач, где в первую очередь следует выбрать критерий оптимизации, который имеет физический смысл и количественную оценку. В качестве критерия оптимизации выбран угол отклонения поводка сошника от равновесного положения и его минимальное значение характеризует устойчивость хода сошника по глубине заделки семян.

Теоретические исследования направлены на разработку и обоснование зависимости отклонения угла поводка сошника от равновесного положения, который тесно коррелируется с равномерностью глубины заделки семян.

Для решения поставленных задач с учетом принятой научной гипотезы составлена программа экспериментальных исследований:

- разработка и изготовление макета дискового сошника с прикатывающим катком и рыхлителем на основе результатов анализа экспериментальных и теоретических исследований в данной области;

- разработка и изготовление макета экспериментального сошника для проведения лабораторных исследований;

- поиск и обоснование необходимого контрольно-измерительных приборов и оборудования для исследований;

- оценка показателей, описывающих процесс влияния изменения угла поводка на распределение семян по площади, которая тесно связана с устойчивостью хода сошника.

- проведение лабораторных и полевых исследований с применением экспериментального и серийного сошников для сравнения полученных результатов.

- проведение экспериментов осуществлялось в соответствии с установленными методиками на основе теории случайных ошибок и методов оценки случайных погрешностей в измерениях. Основные расчеты и обработка результатов экспериментов выполнялись на ПЭВМ с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel и Statistica 7.0 RUS. Воспроизводимость результатов эксперимента проверялась по критерию Кохрена. Определение ошибки аппроксимации опытных данных проводилось при помощи критерия Фишера.

Лабораторные исследования проведены с целью дать числовую оценку степени взаимной связи между параметрами, влияющими на равномерность глубины заделки семян, сравнительную характеристику тягового сопротивления и обоснование параметров рыхлителя.

Для проведения лабораторных исследований по обоснованию конструктивно-технологических параметров был разработан и изготовлен сошник с прикатывающим катком и рыхлителем (рис. 3).

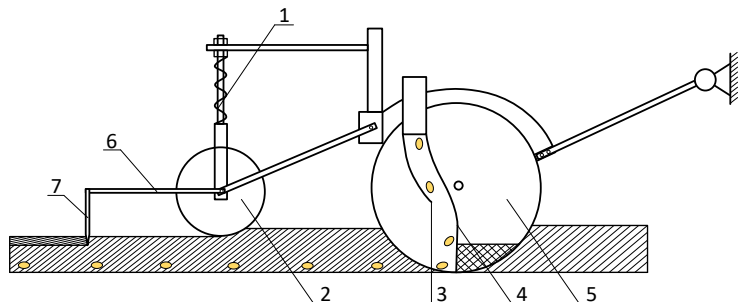


Рисунок 3. Схема и фото сошника с прикатывающим катком и рыхлителем: 1 – регулировочная пружина; 2 – прикатывающий каток; 3 – рассеиватель семян; 4 – профилеобразователь семенного ложа; 5 – сошник; 6 – тяга рыхлителя; 7 – зубья рыхлителя

Технологический процесс следующий. Узкорядный дисковый сошник 5 с прикатывающим катком и рыхлителем образует две бороздки с междурядьем 7,5 см. Затем профилообразователь 4 в междисковом пространстве сталкивает гребень между бороздками с образованием семенного ложа, а семена из семяпровода поступают на рассеиватель 3, который распределяет их по дну семенного ложа в виде полосы. Следом прикатывающий каток 2 с нажимной пружиной 1 прикатывает засеянную полосу и затем рыхлитель 7 с тягой 6 разрушает верхний уплотненный слой почвы с целью доступа атмосферного воздуха, что позволит ускорить процесс появления всходов.

Для проведения экспериментальных исследований использовалась мобильная лабораторная установка в почвенном канале на кафедре «Механизация сельскохозяйственных процессов» Бурятской ГСХА (рис. 4).

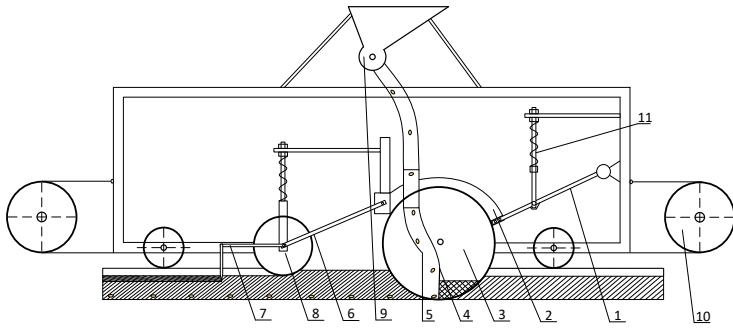


Рисунок 4. Схема и фото лабораторной установки: 1 – привод сошника; 2 – корпус; 3 – диск; 4 – профилообразователь семенного ложа; 5 – рассеиватель семян; 6 – привод катка; 7 – рыхлитель; 8 – прикатывающий каток; 9 – семенной ящик с высевальным механизмом; 10 – тяговая станция; 11 – нажимная пружина сошника

Для оценки эффективности прикатывания на базе учебного полигона Бурятской ГСХА проводились лабораторно-полевые испытания со следующими вариантами машин:

1. сеялка СЗУ-3,6, имеющая сошник с прикатывающим катком;
2. сеялка СЗУ-3,6, имеющая сошник с прикатывающим катком и рыхлителем.

Измерительный комплекс для определения тягового сопротивления является совокупностью аппаратно-программных средств, позволяющих не только реализовать типовую схему цифровой обработки сигналов, но и выполнять весь процесс измерений от получения электрических сигналов первичных измерительных преобразователей до выдачи параметров контролируемых процессов в физических значениях величин. В его конструкцию заложена техническая возможность измерения тягового сопротивления рабочих органов. Для этого задействована система тензометрического оборудования, которая состоит из нескольких звеньев (рис. 5).

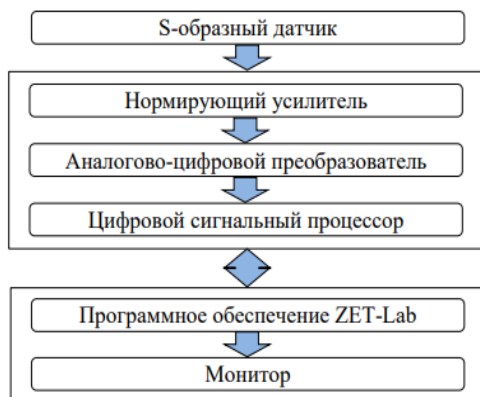


Рисунок 5. Структурная схема измерительного комплекса



Рисунок 6. Общий вид оборудования для тензометрирования в лабораторных условиях

Для проведения тензометрических измерений на узкорядном дисковом сошнике в лабораторных условиях используется специальная экспериментальная установка, которая представлена на рисунке 6. В ходе эксперимента фиксируется тяговое сопротивление, создаваемое рабочим органом, происходит искажение S-образного тензодатчика, расположенного между передвижной тележкой и тяговой станцией. С помощью тензометрии определяют степень деформации и, исходя из этого, определяют величину тягового сопротивления.

Измерения выполняются в процессе движения тележки с экспериментальным оборудованием вдоль почвенного канала. Данные измерений поступают с тензометрического датчика S-образной формы на компьютер, где отображаются в реальном времени. Глубина посадки семян при испытаниях может варьироваться от 3 до 8 см. Тележка приводится в движение тяговой станцией с электродвигателем мощностью 5,5 кВт, обеспечивающим скорость от 1,80 до 5,58 км/ч.

В четвертой главе представлены основные результаты экспериментальных исследований и их анализ. Исследования по обоснованию оптимальных параметров сошника проводились с применением методики планирования эксперимента. Планирование эксперимента в первую очередь связано с установлением количественных связей между входными и выходными параметрами изучаемой системы. Выходные параметры представляют целевую функцию и являются критериями оптимизации. Желательно, чтобы критерий оптимизации имел физический смысл и количественную оценку по форме, но и был технологичным по содержанию. В качестве критерия оптимизации нами был выбран угол отклонения поводка сошника от равновесного положения, который коррелируется с равномерностью глубины заделки семян и стремится к агротехническому значению (± 1 см).

Целевая функция имеет вид

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (18)$$

где y – параметр (критерий) оптимизации; x_1, x_2, x_k – независимые переменные (факторы).

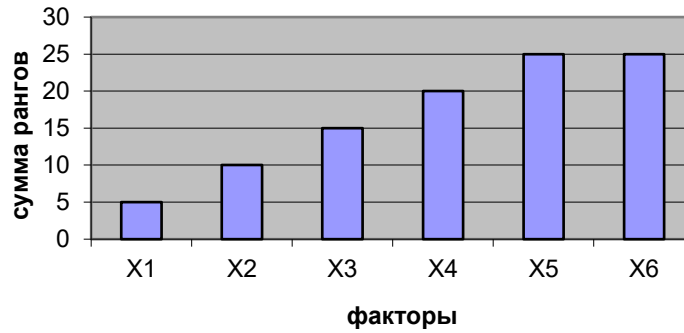
Ранжирование факторов путем опроса 4 специалистов было предложено заполнение анкеты, где перечислены факторы с размерностями и интервалами варьирования. Из анализа исследований по данной тематике выбраны факторы, влияющие на глубину заделки семян: x_1 – жесткость пружины, действующей на каток Р, Н/м; x_2 – длина тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м; x_3 – скорость движения агрегата V , м/с; x_4 – плотность почвы, δ_0 , г/см³; x_5 – твердость почвы, МПа; x_6 – влажность почвы, %.

При рассмотрении факторов, влияющих на угол отклонения поводка сошника от равновесного положения и уровней их варьирования на основании априорной информации, а также исходя из задач исследований, были выявлены наиболее важные, которые представлены в таблице 2.

Таблица 1. – Ранжирование факторов

Условное обозначение	Факторы	Уровень варьирования факторов			Значимость влияния факторов на параметр оптимизации			
					специалисты			
		-	0	+	1	2	3	4
x_1	Жесткость пружины, действующей на каток Р, Н/м;	9	12	15	1	1	1	2
x_2	Длина тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м	0,15	0,20	0,25	3	2	2	3
x_3	Скорость сошника, v , м/	1,5	2,0	2,5	4	4	4	3
x_4	Плотность почвы, δ_0 , г/см ³	0,96	1,06	1,16	6	4	3	7
x_5	Твердость почвы, МПа	0,4	0,6	0,8	7	6	6	6
x_6	Влажность почвы, %	11	16	21	6	8	6	5

Таблица 2. – Диаграмма ранжирования факторов



По итогам ранжирования факторов были отобраны для дальнейшего исследования факторы, занимающие на диаграмме три наименьшие суммы рангов, предполагая, что они наиболее сильно влияют на угол отклонения поводка от равновесного положения.

После ранжирования и выбора значимых факторов целевая функция примет вид

$$Y = f(x_1, x_2, x_3), \quad (19)$$

где x_1 – жесткость пружины, действующей на каток P , Н/м; x_2 – длина тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м; x_3 – скорость сошника, м/с.

В результате проведенного многофакторного эксперимента получена математическая модель в виде уравнения регрессии второго порядка, которая позволяет проводить ее анализ на предмет экстремума, чтобы получить оптимальный вариант сочетания факторов в исследуемом объекте с целью отыскания режима оптимального функционирования для выбранных факторов

$$y = 46,22 - 21,128x_1 - 16,247x_2 - 11,82x_3 + 0,21x_1^2 + 0,16x_2^2 + 0,12x_3^2 + 0,0013x_1x_2 + 0,0013x_1x_3 - 0,0015x_2x_3. \quad (20)$$

Анализ данного уравнения по критерию Фишера показывает, что выбранные факторы можно считать значимыми с 95% -ной достоверностью.

Далее проводим анализ уравнения регрессии (20) в зависимости от комбинации параметров. Интерпретация результатов исследования облегчается при изучении поверхности отклика с помощью двумерных сечений.

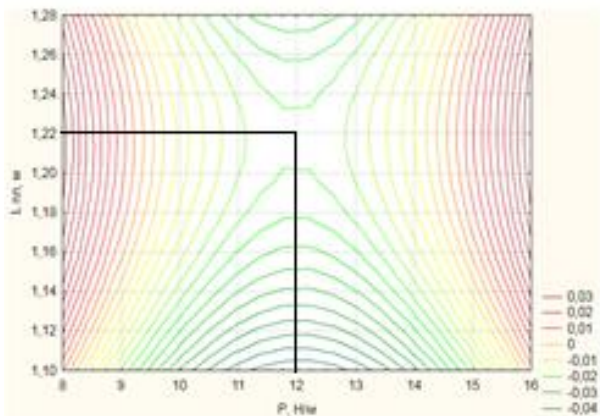


Рисунок 7. Сечение поверхности отклика, характеризующей зависимость угла отклонения подвески сошника от равновесного положения Y , рад от усилия пружины, действующей на каток P , Н/м (X_1) и длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (X_2), при скорости катка v , м/с (X_3) на нулевом уровне

Рассмотрим влияние факторов X_1 и X_2 при стабилизации X_3 на нулевом уровне помощью двумерных сечений, если поверхность отклика представляет собой гиперболический параболоид (рис. 7)

$$Y = -2,2431 - 0,0736x_1 + 4,3815x_2 + 0,0029x_1^2 + 0,0031x_1x_2 - 1,8152x_2^2 \quad (21)$$

Анализ сечений показывает, что угол отклонения подвески сошника от равновесного положения $Y = -0,016$ рад при жесткости пружины, действующей на каток P , Н/м ($X_1 = 12$ Н/м) и длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м ($X_2 = 0,215$ м) и скорости катка, v , м/с ($X_3 = 2,0$ м/с).

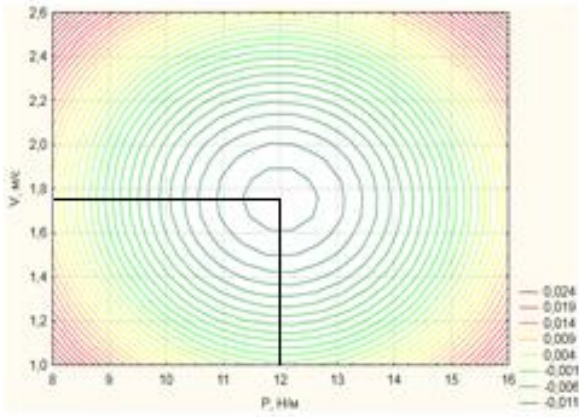


Рисунок 8. Сечение поверхности отклика, характеризующей зависимость угла отклонения подвески сошника от равновесного положения Y , рад от усилия пружины, действующей на каток P , Н/м (X_1) и скорости катка, v , м/с (X_3) при длине тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (X_2) при на нулевом уровне.

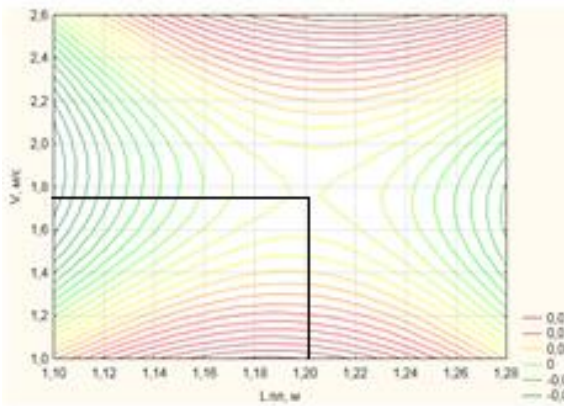


Рисунок 9. Сечение поверхности отклика, характеризующей зависимость угла отклонения подвески сошника от равновесного положения Y , рад от длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (X_2) и скорости катка, v , м/с (X_3) при усилии пружины, действующей на каток P , Н/м (X_1) на нулевом

действующей на каток P , ($x_1 = 11,5 \dots 12,0$ Н/м); длина тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, ($x_2 = 0,2 \dots 0,215$ м); скорость катка v , ($x_3 = 1,75 \dots 2,0$ м/с); ширина катка $B = 0,12$ м.

Далее необходимо дать числовую оценку степени взаимной связи между параметрами, вскрыть закономерность рассматриваемых функциональных связей и взаимодействий, что поможет выделить физическую картину исследуемых параметров и их связей.

Криволинейные зависимости принято оценивать корреляционным отношением. Чем больше значение корреляционного отношения, тем теснее корреляционная связь. Если оно равно нулю – связь отсутствует, если единице – то полная корреляционная связь между явлениями.

Корреляционное отношение определяется через отношение межгрупповой дисперсии к общей дисперсии

$$\eta = \sigma_{мг\delta} / \sigma_{об\delta}, \quad (24)$$

где $\sigma_{мг\delta}$ – межгрупповая дисперсия, которая отражает частные средние значения одного параметра, определяемые для каждого интервала со средним значением класса другого параметра; $\sigma_{об\delta}$ – общая дисперсия, которая отражает средние значения одного параметра, определяемые для каждого интервала со средним значением класса другого параметра.

Величина корреляционного отношения изменяется от 0 до 1. Близкое число к нулю говорит об отсутствии связи, а близкое к единице – о тесноте связи.

Рассмотрим влияние факторов X_1 и X_3 на равномерность распределения семян по глубине заделки при стабилизации X_2 на нулевом уровне. Тогда получим уравнение регрессии второго порядка

$$Y = 0,2373 - 0,0293x_1 - 0,0835x_3 + 0,0012x_1^2 + 0,0002x_1x_3 + 0,0231x_3^2. \quad (22)$$

Анализ сечения поверхности отклика показывал, что угол отклонения подвески сошника от равновесного положения $Y = -0,014$ рад при жесткости пружины, действующей на каток P , Н/м ($X_1 = 12$ Н/м) и длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м ($X_2 = 0,2$ м) и скорости катка, v , м/с ($X_3 = 1,75$ м/с).

Рассмотрим влияние факторов X_2 и X_3 на равномерность распределения семян по глубине заделки при стабилизации X_1 на нулевом уровне. Тогда получим уравнение регрессии второго порядка

$$Y = -1,5125 + 2,7174x_2 - 0,132x_3 - 1,1657x_2^2 + 0,0463x_2x_3 + 0,0215x_3^2. \quad (23)$$

Анализ сечения показывал, что угол отклонения подвески сошника от равновесного положения $Y = 0,004$ рад при жесткости пружины, действующей на каток P , Н/м ($X_1 = 12,0$ Н/м) и длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м ($X_2 = 0,2$ м) и скорости катка, v , м/с ($X_3 = 1,8$ м/с).

Таким образом, анализ двухмерных сечений показывает, что максимально допустимые отклонения поводка, равные $\pm 1,1^0 (0,019$ рад), при котором соблюдается требование равномерности глубины заделки семян (± 1 см), соответствует следующим рациональным значениям: жесткость пружины,

Для изучения влияния скорости посевного агрегата, длины тяги рыхлителя и жесткости пружины, действующей на каток, равномерность распределения семян по глубине определялась по этиолированной части растений после появления не менее 75 % всходов по всей ширине захвата в двух проходах сеялки.

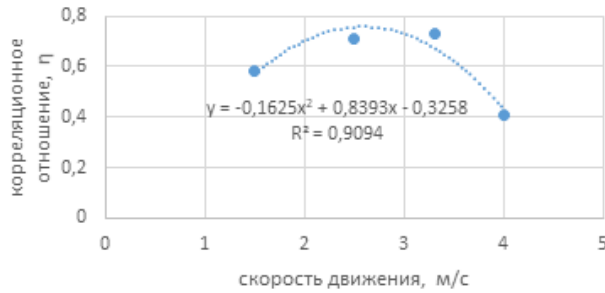


Рисунок 10. Зависимость показателя уровня связи (η), характеризующая равномерность глубины заделки семян от скорости движения агрегата (V , м/с)

Анализируя полученную зависимость, можно заключить, что скорость существенно влияет на стабильность расположения семян на глубине. Оптимальные значения скорости сеялки рекомендуется устанавливать в пределах от 2,5 до 3,3 м/с, так как дальнейшее повышение скорости вызывает значительное увеличение нестабильности глубины заделки семян.

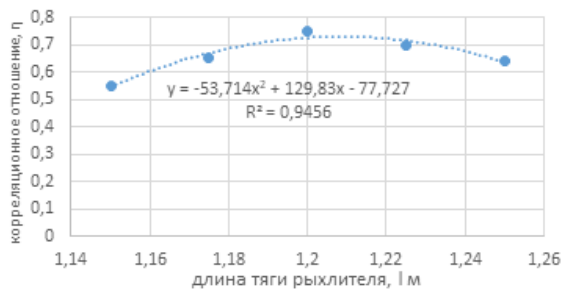


Рисунок 11. Зависимость показателя уровня связи (η), характеризующая равномерность глубины заделки семян от длины тяги рыхлителя l , м.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что длина тягового устройства рыхлителя (l) влияет на стабильное размещение семян зерновых культур по глубине. Значения, составляющие интервал от 0,2 до 0,215 м, можно считать оптимальными для длины тяги рыхлителя (l).

При изучении влияния жесткости пружины, действующей на каток (P), в зависимости от показателя уровня связи (η), характеризующей равномерность глубины заделки семян, получена следующая картина (рис. 12).

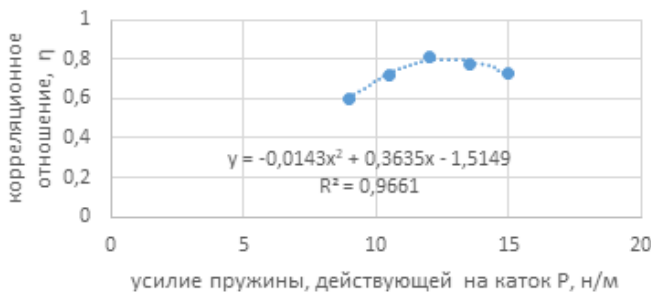


Рисунок 12. Зависимость показателя уровня связи (η), характеризующая равномерность глубины заделки семян от усилия пружины, действующей на каток P

Значение жесткости пружины, действующей на каток (P), можно считать определенным

При изучении влияния скорости агрегата (V) в зависимости от показателя уровня связи (η), характеризующей равномерность глубины заделки семян, получена следующая картина (рис. 10).

Корреляционная связь между величиной показателя равномерности заделки семян по глубине (η) и скоростью агрегата (V , м/с) выражается уравнением параболической функции (рис. 10):

$$y = -0,1625x^2 + 0,8393x - 0,3258 \quad \text{при } R^2 = 0,9094 \quad (25)$$

При изучении влияния длины тяги рыхлителя (l) в зависимости от показателя уровня связи (η), характеризующей равномерность глубины заделки семян, получена следующая картина (рис. 11)

Корреляционная связь между величиной длиной тяги рыхлителя (l) в зависимости от показателя уровня связи (η), характеризующей равномерность глубины заделки семян, выражается уравнением параболической функции:

$$y = -53,714x^2 + 129,83x - 77,727 \quad \text{при } R^2 = 0,9456$$

Корреляционная связь между жесткостью пружины, действующей на каток (P), в зависимости от показателя уровня связи (η), характеризующей равномерность глубины заделки семян, выражается уравнением параболической функции.

$$y = -0,0143x^2 + 0,3635x - 1,5149 \quad \text{при } R^2 = 0,9661$$

Таким образом, можно заключить, что из исследования зависимости жесткости пружины, действующей на каток (P), можно сделать вывод о ее влиянии на равномерность посева семян зерновых культур по глубине. Оптимальное

диапазоном значений от 12,0 до 12,5 Н/м.

Исследования проводились в почвенном канале тяговых характеристик базового и экспериментального сошников в зависимости от глубины хода и скорости движения. Глубина хода сошников находилась в пределах $h = 0,05 \dots 0,08$ м, а скорость движения v варьировалась от 2...4 м/с.

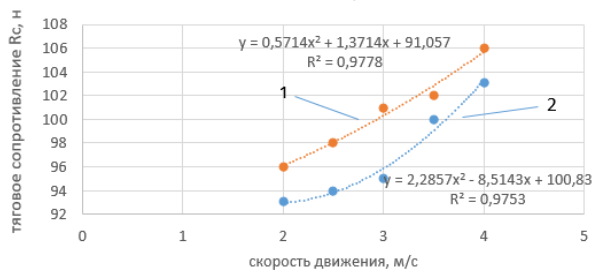


Рисунок 13. Изменения тягового сопротивления базового сошника от скорости движения при $h = 0,06$ м; 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

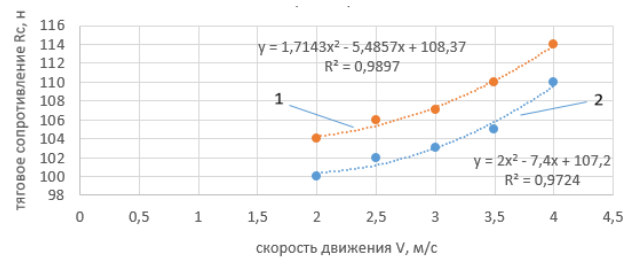


Рисунок 14. Изменения тягового сопротивления экспериментального сошника от скорости движения при $h = 0,06$ м; 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

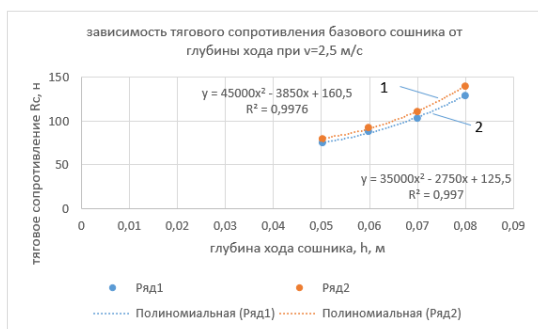


Рисунок 15. Изменения тягового сопротивления базового сошника от глубины хода сошника при $V = 2,5$ м/с; 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

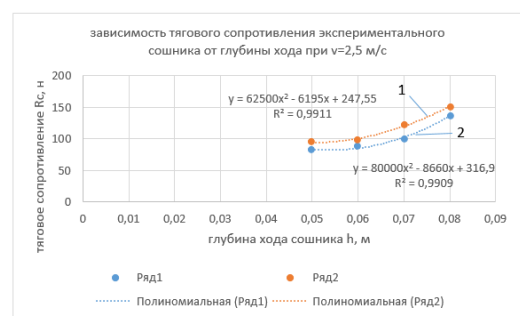


Рисунок 16. Варьирование тягового усилия опытного сошника в зависимости от его глубины хода при $V = 2,5$ м/с; 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

Для анализа результатов лабораторных исследований было использовано программное обеспечение Microsoft Excel.

В результате обработки лабораторных исследований были получены математические выражения, отражающие влияние глубины хода и скорости движения сошников на тяговое сопротивление.

Согласно агротехническим нормам, увеличение глубины посева с 5 до 8 см увеличивает сопротивление движению на 32,7%, при этом увеличение скорости с 2 до 4 м/с повышает сопротивление передвижению сошника всего лишь на 9,5%. То же самое наблюдается и для экспериментального сошника, где увеличение сопротивления перемещению составляет 39,5 и 15,7% соответственно. Среднее сопротивление перемещению экспериментального сошника на 6,8% выше, чем у базового сошника. Это может объясняться тем, что наличие рыхлителя в экспериментальном сошнике создает дополнительное сопротивление движению, которое не изменяется при различной глубине.

При обосновании параметров рыхлителя рассматривали внутреннее трение, т. е. трение между частицами почвы, которое позволяет определить зону воздействия на почву рабочего органа почвообрабатывающего орудия. В тот момент, когда внешняя сила воздействия почвообрабатывающего орудия на почву превысит силу внутреннего трения, начинается деформирование, а затем образование бороздки от деформирования почвы. Наклон стенок бороздки от деформирования определяется углом внутреннего трения (рис. 17).

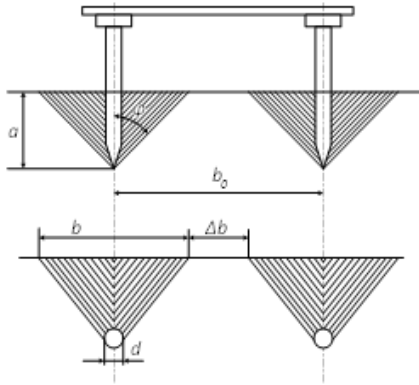


Рисунок 17. Зона действия рабочего элемента в зависимости от величины угла внутреннего трения φ : a – глубина обработки почвы; b – ширина рыхления; b_0 – расстояние между зубьями; Δb – ширина необработанной полосы почвы; d – диаметр зуба.

устройства для разрыхления почвы.

Исследования проводились в почвенном канале кафедры «Механизации сельскохозяйственных процессов» Бурятской ГСХА.

Для определения и обоснования основных конструктивных параметров рыхлителя сошника были исследованы угол и коэффициент трения трущихся поверхностей: «сталь – каштановая почва».

Значения внешнего угла трения для каштановой почвы Бурятии составляют $30,7^\circ$. Величина угла внутреннего трения почвы позволяет нам устанавливать минимальное расстояние между рабочими элементами b_0 , при котором для данной глубины обеспечивается рыхление обрабатываемого слоя без нагромождения (см. рис. 17).

Угол внешнего трения является критическим параметром, определяющим коэффициент трения между почвой и рабочим органом сельскохозяйственного инструмента, так как:

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi,$$

где φ – угол внешнего трения.

В нашем случае, если угол внешнего трения равен $30,7^\circ$, то коэффициент трения почвы о рыхлитель составит $\mu = 0,5800$.

Как видно из рисунка 17, что при движении зуба происходит рыхление почвы, где плоскость рыхления имеет форму треугольника. Ширина полосы деформации на поверхности почвы определяют по выражению

$$B = d + 2a \operatorname{tg} \varphi,$$

где d – диаметр зуба, мм; a – глубина обработки почвы, мм; φ – угол трения, градус.

$$B = d + 2a \operatorname{tg} \varphi = 8 + 2 \times 20 \times 0,58 = 31,2 \text{ мм}$$

Для определения минимального расстояния между зубьями, обеспечивающего предохранение рыхлителя от забивания или нагромождения, можно определить по формуле

$$b_0 = 2 a \operatorname{tg} \varphi + d + \Delta b, \quad (21)$$

где Δb – необработанная часть почвы между соседними зубьями способствует перемещению по его поверхности без нагромождения, в противном случае вызывает этим дополнительный рост сопротивления. Из опытных данных рекомендуется принимать расстояние равной толщине зуба.

$$b_0 = 2 \times 20 \times 0,58 + 8 + 8 = 39,2 \text{ мм}$$

Таблица 3 – Характеристика рыхлителя

Длина тяги рыхлителя, мм	Расстояние между зубьями, мм	Диаметр зуба, мм	Длина зуба, мм	Глубина хода, мм	Количество зубьев, шт.	Нагрузка на 1 зуб, Н	Тяговое сопротивление на 1 зуб, Н	Угол внешнего трения φ , град.	Ширина необработанной полосы почвы Δb , мм
210	39,2	8	30	20	5	6	12	30,7	8

При проведении исследования динамики всходов и полевой всхожести семян яровой пшеницы выявлено, что семена, заделанные экспериментальным сошником, при одинаковых полевых условиях дают полное появление всходов на два дня раньше, чем у семян, заделанных базовым сошником. При этом полевая всхожесть семян, заделанных в почву усовершенствованным сошником, достигает своего максимального значения через 6 дней и составляет, в среднем, 79 %, полевая всхожесть семян, заделанных базовым сошником, составляет, в среднем, 76 % и достигается за 9 дней при норме высева 260 кг/га, или 5,2 млн шт. семян на гектар (рис. 18).

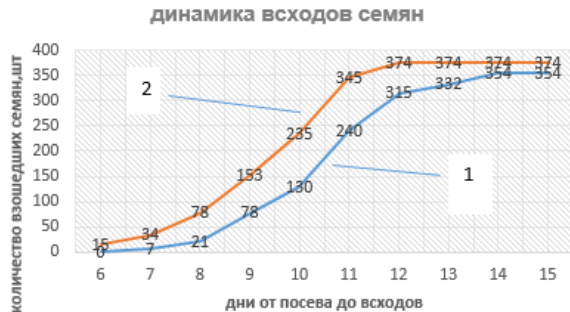


Рисунок 18. Динамика всходов семян. 1 – базовый сошник; 2 – экспериментальный сошник.

Повышение полевой всхожести семян усовершенствованным сошником по сравнению с базовым достигается за счет рыхления слоя почвы на 2-3 см над семенами. Таким образом обеспечивается насыщение почвы атмосферным воздухом и быстрое прогревание взрыхленного слоя почвы, которое ведет к появлению дружных всходов семян, благоприятно влияющих на дальнейшее развитие растений.

Значимость применения зерновой сеялки с экспериментальными сошниками оценивали по результатам структуры урожая яровой пшеницы в сравнении с базовой сеялкой (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние типа сошника на структуру и урожай яровой пшеницы

Тип сошника	Норма высева семян, млн./га	Количество семян в заданном слое, %	Количество всходов, шт/м ²	Полевая всхожесть, %	Урожайность, ц/га
Базовый сошник	5,2	82	354	76	18,8
Экспериментальный сошник с рыхлителем	5,2	82	374	79	21,7

При проведении полевых испытаний по влиянию параметров сошника, имеющего прикатывающий каток с рыхлителем, определены тяговое сопротивление, урожайность на опытном поле Бурятской ГСХА при посеве пшеницы местной селекции Бурятская 79 в течение трех лет.



Рисунок 19. Посевной агрегат МТЗ-82.1+СЗУ-3,6



Рисунок 20. Усовершенствованные сошники зерновой сеялки СЗУ-3,6

В пятой главе приведена технико-экономическая эффективность экспериментального сошника, имеющего прикатывающий каток с рыхлителем. Экспериментальные исследования, а также практическое применение указывают на то, что использование экспериментального сошника, имеющего прикатывающий каток с рыхлителем, позволяет обеспечить повышение всхожести семян на 9% по сравнению с базовым, что приводит увеличению урожайности на 11% в условиях Бурятии. Годовой экономический эффект при использовании зерновой сеялки СЗУ-3,6 с экспериментальными сошниками составляет 75391 рублей (цены 2023 г.).

Выводы

1. Создана конструктивно-технологическая схема сошника с прикатывающим катком и рыхлителем для посева зерновых культур, для которой разработали уравнение. Это уравнение описывает экспоненциальную зависимость угла отклонения подвески сошника $\alpha = \pm 1,1$ градуса от его равновесного положения при $\alpha_0 = 74$ градуса, при этом высота подвеса сошника H составляет 0,33 м, а длина поводка l равна 0,55 м. Созданная зависимость описывает угол отклонения подвески сошника от ее исходного положения, что оказывает влияние на стабильность глубины посадки семян в допустимых агротехнических пределах (± 1 см) при рабочей глубине сошника от 6 до 8 см.

2. Разработана математическая модель, представленная как уравнение второго порядка, которая описывает критерий оптимизации, зависящий от сочетания параметров катка, а также включает описание области оптимальных значений. По результатам планирования эксперимента получено среднее значение глубины заделки семян $h=6,97$ см при значении факторов: жесткость пружины, действующей на каток P , ($x_1= 11,5... 12,0$ Н/м); длина тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, ($x_2 = 0,2 ... 0,215$ м); скорость катка v , ($x_3 = 1,75...2,0$ м/с); ширина катка $B=0,12$ м.

3. Исследования показали, что при увеличении глубины, на которую углубляется основной сошник для посева, с 0,05 до 0,08 метра, сопротивление движению возрастает на 30,66% при скорости 2,5 м/с. В то же время, если увеличить скорость с 2 до 4 м/с, сопротивление движению сошника увеличивается на 10,75%. Аналогичная ситуация возникает и с экспериментальным сошником, что соответствует увеличению сопротивления движению по сравнению с экспериментальным на 40,96 и 15,5 % соответственно. Сопротивление движению экспериментального сошника, в среднем, на 10,3% больше, чем у базового сошника. Эту ситуацию можно объяснить тем, что присутствие рыхлителя в экспериментальном сошнике увеличивает сопротивление при движении, при этом его величина остается постоянной, независимо от изменения глубины.

4. Обоснованы рациональные параметры рыхлителя сошника: расстояние между зубьями $b_0 = 39,2$ мм; диаметр зуба $d = 8$ мм; длина зуба $l = 30$ мм; количество зубьев $n = 5$ шт.

5. Обработка экспериментальных исследований позволила установить, что равномерность глубины заделки семян на глубину 7 см достаточно тесно связана с выбранными в модели параметрами. Так, тесная связь между равномерностью глубины заделки семян и скоростью сошника составляет $v = 2,0$ м/с в виде корреляционного отношения $\eta=0,77$. Тесная связь между равномерностью глубины заделки семян и длиной тяги рыхлителя $l_{т.р.} = 0,215$ м в виде корреляционного отношения составляет $\eta=0,73$. Тесная связь между равномерностью глубины заделки семян и жесткостью пружины, действующей на каток $P = 12,0$ Н/м, в виде корреляционного отношения составляет $\eta=0,8$.

6. Полевые испытания продемонстрировали результативность зерновой сеялки с сошником, оборудованным прикатывающим катком и рыхлителем, при посеве зерновых культур. Благодаря рыхлению почвы над засеянной полосой улучшается всхожесть, что позволяет сократить сроки формирования урожая на 2-3 дня и повысить урожайность на 13-15%. Ежегодная экономическая выгода от использования зерновой сеялки СЗУ-3,6 с указанными сошниками при стандартной годовой нагрузке достигает 75391 рубля.

Рекомендации производству. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании сошников, имеющих рыхлители для посева зерновых культур в условиях сухой степи Забайкалья.

Перспективы дальнейшей разработки темы.

В дальнейшем целесообразно совершенствовать конструкцию предлагаемого технического средства - рыхлителя путём выполнения её в виде устройства, состоящего из несущей основы и набором сменных зубьев с низким коэффициентом трения.

**Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:
в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования
Российской Федерации:**

1. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. Повышение эффективности работы комбинированных машин и

комплексов / Вестник ВСГУТУ. 2021. № 1 (80). С. 55-60.

2. Петунов С.В., Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. Технология приготовления компоста методом фракционирования / Вестник ВСГУТУ. 2021. № 2 (81). С. 40-44.

3. Раднаев Д.Н., Калашников С.С., Бадмацыренов Д.-Ц.Б., Дамбаева Б.Е. Обоснование рациональных параметров прикатывающего катка комбинированного сошника при посеве зерновых культур / Дальневосточный аграрный вестник. 2022. № 2 (62). С. 158-167.

4. Раднаев Д.Н., Дарханов А.И., Шалбаева Р.Г., Дамбаева Б.Е. К методике агротехнической оценки посева зерновых культур / Вестник ВСГУТУ. 2023. №1 (88). С. 60-65.

5. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е., Абидуев А.А., Пехутов А.С., Болоев П.А. Влияние скорости движения модернизированного сошника на агротехнические требования посева зерновых культур / Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова, 2023. № 4 (73). С. 141–149.

патенты на изобретение и полезную модель:

6. Патент на полезную модель 209248 U1, 09.02.2022. Заявка № 2021112614 от 28.04.2021. Усовершенствованный сошник / Раднаев Д.Н., Пехутов А.С., Дамбаева Б.Е., Калашников С.С.

7. Патент на полезную модель 217218 U1, 23.03.2023. Заявка №2022129034 от 08.11.2022. Сошник / Калашников С.С., Петров В.А., Дамбаева Б.Е., Котляревский Н.С.

в других научных изданиях:

8. Бадмацыренов Д.-Ц.Б., Дамбаева Б.Е., Монгуш А.О.А. О проектировании технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур / Globus: Технические науки. 2021. Т. 7. № 2 (38). С. 42-45.

9. Калашников С.С., Дамбаева Б.Е. К вопросу повышения качества посева зерновых культур / В сборнике: Образование и наука. Материалы X Национальной научно-практической конференции. Сер. "Технологии и технические средства в АПК. Биомедицинская техника" Улан-Удэ, 2021. С. 12-17.

10. Петров В.А., Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. К вопросу совершенствования рабочего органа для посева зерновых культур / В сборнике: образование и наука. Материалы национальной научно-практической конференции. Улан-Удэ, 2022. С. 10-17.

11. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е., Петров В.А., Неустроева А.И., Шадрин М.М. Теоретические предпосылки обоснования параметров прикатывающего катка у дискового сошника / В сборнике: Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК. Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича. Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. Молодёжный, 2022. с. 73-79.

12. Дамбаева Б.Е., Петров В.А., Раднаев Д.Н., Муруев Т.С., Гомбоев Б.Г. Модель объекта исследования при системном подходе / Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года: [Электронный ресурс]: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. М.: Знание-М., 2022, С. 244-247.

13. Петров В.А., Дамбаева Б.Е., Раднаев Д.Н. Анализ конструкций сошников для посева зерновых культур / Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года: [Электронный ресурс]: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. М.: Знание-М., 2022, С. 265-273.

14. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е., Шадрин М.М. Применение метода планирования эксперимента при оптимизации параметров посевного рабочего органа / В сборнике: Приоритетные направления научно-технологического развития аграрного сектора России. Международная научно-практическая конференция, посвященная Дню Российской науки. Улан-Удэ, 2023. С. 401-407.

15. Дамбаева Б.Е., Стрекаловская З.Ю., Лосолов М.Ж., Пурбуев Д.Б., Цыбиков Э.Д. К проблеме равномерного распределения семян зерновых культур по площади / Сборник научно-исследовательских работ по итогам научно-практической конференции «Ларионовские чтения-

2023». Якутск, 17 февраля 2023 г.: в 2 ч. [Электронный ресурс] / Мин-во сельского хозяйства РФ, Арктический ГАТУ; [редкол: Ю.А. Шапошников, А.А. Абидуев]. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2023. С. 118-123.

16. Дамбаева Б.Е., Раднаев Д.Н. К вопросу о металлоемкости посевных машин и комплексов / Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции (Благовещенск, 20–21 апреля 2023 г.). [В 3 т.]. Т. 2. Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2023. С. 57-64.

17. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. К вопросу комплексной механизации сельскохозяйственного производства. / В сборнике: Приоритетные направления научно-технологического развития аграрного сектора России: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня образования Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Бурятия. Улан-Удэ: ФГБОУ ВО БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2023. С. 104- 109.