На правах рукописи



ШМИДТ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

КОМБИНИРОВАННЫЙ СОШНИК ДЛЯ РАЗНОУРОВНЕВОГО ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Омск 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (ФГБОУ ВО «Омский ГАУ»).

Научный руководитель:	кандидат технических наук, доцент **Чекусов Максим Сергеевич**
Официальные оппоненты:	**Раднаев Даба Нимаевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова»
	Яковлев Даниил Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный аграрный университет»

Защита состоится « 25 » декабря 2025 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.211.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН) по адресу: 630501, Новосибирская обл. Новосибирский район, р. п. Краснообск, ул. Центральная, зд. 7, а/я 463, телефон (факс): +7(383)348-12-09, e-mail: sibime@sfsca.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале Сибирской научной сельскохозяйственной библиотеки, автореферат и диссертация размещены на сайтах: https://www.sfsca.ru, https://vak.minobrnauki.gov.ru.

Отзыв на автореферат, оформленный установленным порядком просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета и e-mail: ds24121101@sfsca.ru.

Автореферат разослан «____» _____2025г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент — Иванников Алексей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Современные отечественные и зарубежные посевные машины производят посев с одновременным внесением удобрений. Однако, в основном, применяемые на них сошники заделывают семена и минеральные удобрения в один почвенный горизонт. Совместное расположение семян и удобрений провоцирует ожог у растения из-за кислотности удобрений. Наибольшее распространение в современных ресурсосберегающих технологиях земледелия получило припосевное внесение стартовых доз минеральных удобрений, ниже высеваемой культуры. Такой способ позволяет снизить эффект интоксикации семян от удобрений и создать лучшие условия для развития растений, позволяет усилить минеральное питание на начальном этапе развития, от прорастания семян до образования корневой системы. Целесообразно размещать минеральные удобрения ниже глубины заделки семян, с образованием между ними почвенной прослойки, что приводит к повышению всхожести семян и увеличению урожайности возделываемых культур.

Согласно вышеизложенному, тема диссертационного исследования достаточно актуальна, а полученные знания имеют высокое научное и практическое значение.

Степень разработанности темы. Вопросы, связанные с исследованиями в области разработки и совершенствования рабочих органов для комбинированного посева зерновых культур и развитием новых конструкций рабочих органов посевных машин рассмотрены в работах: М.А. Адуова, В.С. Астахова, В.И. Беляева, И.В. Волошина, В.П. Горячкина, В.А. Желиговского, А.Ф. Жука, К.Г. Исенова, А.Н. Калабушева, А.А. Кема, В.И. Курдюмова, П.В. Лаврухина, Н.П. Ларюшина, А.В. Мачнева, А.М. Мухаметдинова, В.И. Мяленко, С.О. Нукешева, Г.И. Орехова, Е.В. Припорова, Д.Н. Раднаева, Ю.А. Сергеева, Н.Ф. Скурятина, В.Н. Трубникова, И.М. Фархутдинова, В.В. Шумаева, Д.А. Яковлева, Н.С. Яковлева, A. Wernera.

Сравнительный анализ существующих рабочих органов для посева зерновых культур с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений показал, что они не в полной мере отвечают требуемым оценочным показателям качества укладки и заделки семян зерновых культур и гранулированных минеральных удобрений. К числу основных недостатков существующих конструкций лаповых сошников, способных производить прямой посев, без предварительной поверхностной обработки почвы можно отнести: высокий коэффициент вариации семян по глубине заделки, отсутствие или нарушение толщины почвенной прослойки между семенами и гранулами минеральных удобрений. Все это сказывается на уменьшении урожайности.

Вследствие вышеуказанного, разработка новой модели процесса посева, позволяющей производить разноуровневый посев с внесением минеральных удобрений ниже уровня семян с почвенной прослойкой между

ними, обеспечивает благоприятные условия для роста и развития растений, и, как следствие, повышения урожая зерновых.

Работа проводилась по плану НИР ФГБОУ ВО Омский ГАУ, тема РГ № АААА-А20-1200.12390035-8 (03.12.2018 - 03.03.2025 гг.) «Совершенствования технологий и средств механизации при производстве продукции растениеводства и животноводства в сельском хозяйстве».

Цель исследования - совершенствование технологии посева зерновых культур сошником с разноуровневым внесением минеральных удобрений.

Задачи исследования:

1. Провести сравнительный анализ существующих рабочих органов для посева зерновых культур с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений.
2. Разработать модель процесса посева с одновременным внесением удобрений в разные горизонты почвы.
3. Обосновать основные параметры комбинированного сошника для посева с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений.
4. Определить технико-экономическую эффективность от применения основных результатов исследования.

Объект исследования: технологический процесс взаимодействия комбинированного сошника с почвой при посеве зерновых культур.

Предмет исследования: зависимости, определяющие формирование почвенной прослойки при работе комбинированного сошника.

Научная новизна:

– теоретические зависимости формирования почвенной прослойки комбинированным сошником для разноуровневого посева и внесения минеральных удобрений;

– параметры установки семянаправителя комбинированного сошника, обеспечивающего высев семян и удобрений в разные горизонты почвы с разделением почвенной прослойкой;

Новизна технического решения подтверждена патентом на полезную модель РФ № 204018.

Теоретическая и практическая значимость работы: заключается в том, что теоретически и экспериментально обоснована модель процесса разноуровневого посева с внесением гранулированных минеральных удобрений ниже уровня высева семян с почвенной прослойкой между ними. Это позволяет повысить полевую всхожесть семян и, как следствие, урожай зерновых культур за счёт оптимизации конструктивных и технологических параметров комбинированного сошника, обеспечивающего высев семян и удобрений в разные горизонты почвы с разделением их почвенной прослойкой.

Методология и методы исследований. За основу теоретических исследований взяты общепринятые законы классической механики и математики. Экспериментальные исследования проводились на основе сравнительных лабораторно-полевых исследований качества посева семян

зерновых культур сеялкой СКП-2.1, переоборудованной экспериментальными комбинированными сошниками, с использованием стандартных методик (ГОСТ 31345-2007, СТО 5.6-2010). Обработка и анализ результатов исследований выполнялись с использованием программ Microsoft Office, Python, КОМПАС-3D и др.

Положения, выносимые на защиту:

– технологическая схема комбинированного сошника, обеспечивающего высев семян и удобрений в разные горизонты почвы с разделением почвенной прослойкой;

– результаты теоретических исследований по определению рациональных параметров конструкции комбинированного сошника, обеспечивающего высев семян и удобрений в разные горизонты почвы с разделением почвенной прослойкой;

– результаты экспериментальных исследований по определению величины почвенной прослойки при выполнении технологического процесса посева и внесения минеральных удобрений комбинированным сошником.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследований подтверждается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, использованием сертифицированных средств измерения и контроля данных, практической реализацией конструкторской разработки в лабораторно-полевых условиях.

Основные положения и результаты исследований докладывались на следующих конференциях:

– научно-практические конференции ФГБОУ ВО «Омский ГАУ им. П.А. Столыпина» (2021–2024 г.г.);

– XVII международная научно-практическая конференция «Аграрная наука - сельскому хозяйству», г. Барнаул – 2022 г.;

– V международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов «Молодые учёные в аграрной науке», г. Луганск – 2022 г.;

– XIII всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, посвящённая памяти Р.Г. Гареева «Достижения и перспективы развития АПК России», г. Казань – 2023 г.;

– IX международная научно-практическая конференция «Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых», г. Новосибирск – 2023 г.;

– X международная научно-практическая конференция «Молодые ученые: Современный взгляд на будущее АПК», г. Новосибирск – 2025 г.

Результаты использовались при исследовании по теме «Обеспечение продовольственной безопасности страны на основе создания программно-аппаратных комплексов и интеллектуальных платформенных цифровых решений в сфере развития агропромышленных технологий полного жизненного цикла», соглашение № 075-15-2024-542 с ФГБОУ ВО «ГУУ», а также в учебном и научно-исследовательских процессах при обучении студентов направления подготовки Агроинженерия в ФГБОУ ВО Омский ГАУ.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 13 научных работ, из них 5 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в рецензируемом зарубежном журнале, индексируемом в наукометрической базе SCOPUS, 7 статей в периодических сборниках, трудах конференций, получен 1 патент на полезную модель.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка, включающего 124 источника, в том числе 14 на иностранном языке. Диссертация включает 133 страницы машинописного текста, в котором 35 рисунков, 13 таблиц, и 8 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования. Определены объект и предмет исследования, сформулирована цель и поставлены задачи работы. Определена научная новизна, сформулированы теоретическая и практическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен анализ природно-климатических и производственно-технологических условий возделывания сельскохозяйственных культур, а также научно-исследовательских работ по обоснованию параметров сошников для комбинированного посева. Проведен сравнительный анализ существующих рабочих органов для посева зерновых культур. Согласно особенностям почвенно-климатических условий выделены лаповые сошники для прямого посева, способные вносить гранулированные минеральные удобрения отдельно от семян. Определены следующие их недостатки: высокий коэффициент вариации семян по глубине посева, отсутствие постоянной почвенной прослойки между удобрениями и семенами, чрезмерный вынос влажных слоев почвы в следствии работы стрельчатых лап на глубину внесения удобрений.

Проведенный анализ накопленного научно-производственного опыта указывает на то, что агротехнические приёмы припосевного внесения гранулированных минеральных удобрений требуют совершенствования. Применения способа заделки семян и удобрений на одной глубине приводит к уменьшению полевой всхожести.

На основании проведенного анализа была выдвинута гипотеза о повышении урожайности зерновых культур за счёт оптимизации конструктивных и технологических параметров сошника, обеспечивающего высев семян и удобрений в разные горизонты почвы с разделением почвенной прослойкой. И в соответствии с поставленной целью и выдвинутой гипотезой были сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлены результаты теоретических исследований, на основе которых усовершенствован технологический процесс посева. Для осуществления посева предложен комбинированный сошник, обеспечивающий разноуровневое расположение семян и

минеральных удобрений в почве. Для формирования между семенами и минеральными удобрениями почвенной прослойки теоретически было установлено время осыпания почвенных частиц в борозду за стойкой при выполнении процесса посева комбинированным сошником, с установленными культиваторными лезвиями и без них, выявлены закономерности формирования почвенной прослойки в зависимости от расстояния между семянаправителем и туконаправителем.

Модель процесса посева разработанного комбинированного сошника представлена на рисунке 1.

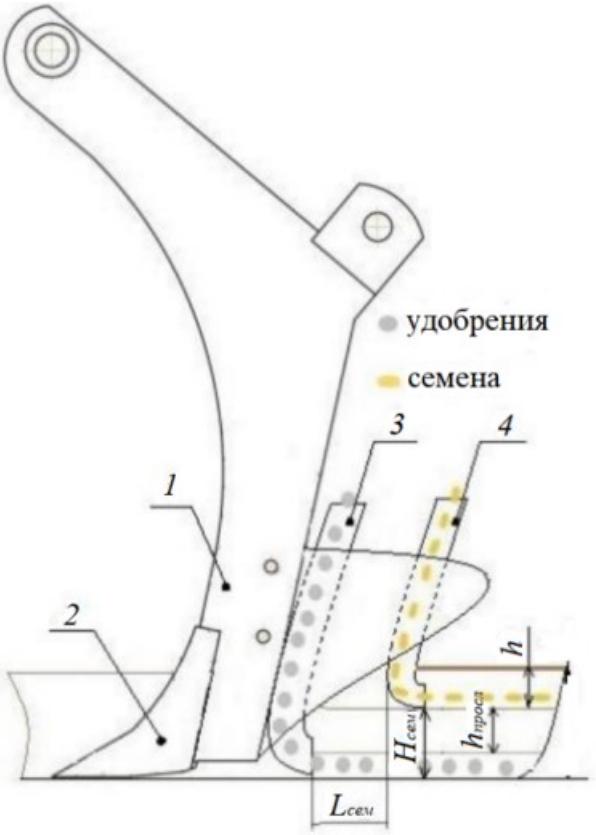
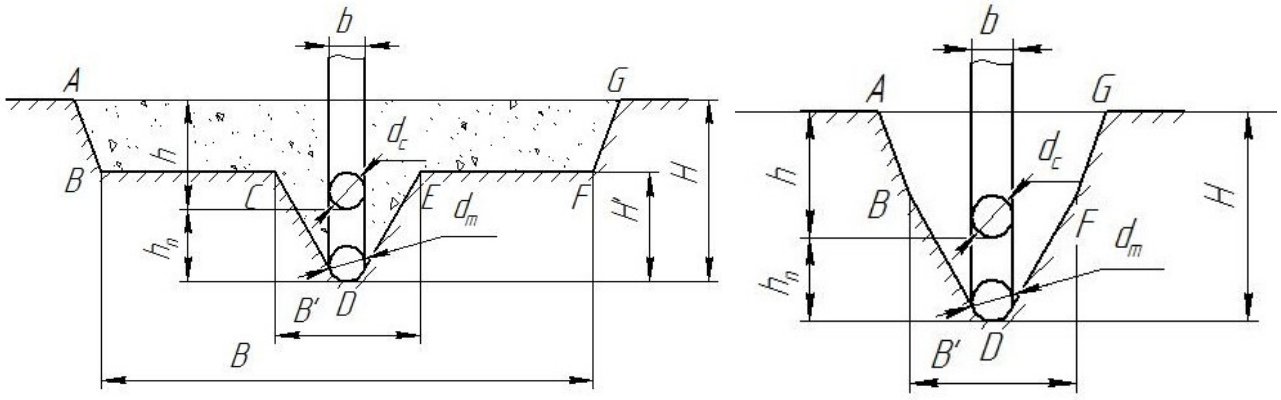


Рисунок 1 – Технологическая схема комбинированного сошника: 1 – стойка; 2 – долото; 3 – туконаправитель; 4 – семянаправитель; $L_{сем}$ – расстояние от туконаправителя до семянаправителя, см; $H_{сем}$ – высота установки семянаправителя относительно туконаправителя, см; $h_{просл}$ – величина почвенной прослойки между гранулами минеральных удобрений и семеннами, см; h – глубина посева семян, см

При движении сошника в почве долото *2* производит вертикальный разрез уплотненного слоя почвы, образуя щель для прохода стойки *1*. В это время по туконаравителю *3* на дно борозды, образованное долотом 2 укладываются минеральные удобрения. За счет огибания почвой стойки, естественного осыпания со стенок борозды, и смещения семянаправителя *4* на расстояние $L_{сем}$ от туконаправителя 3, образуется почвенная прослойка $h_{просл}$, разделяющая минеральные удобрения и семена. С боковых сторон стойки устанавливаются культиваторные лезвия.

Представлена схема взаимодействия сошника с почвой на рисунке 2.



а б

Рисунок 2 – Схема взаимодействия сошника с почвой: а – с культиваторными лезвиями; б – без культиваторных лезвий; *B* – ширина захвата с культиваторными лезвиями; *B'* – ширина обработки без культиваторных лезвий; d_c – диаметр семянаправителя; d_m – диаметр туконапровителя; *H* – глубина внесения удобрений; *H'* – высота установки культиваторных лезвий; *h* – глубина посева; h_n – высота почвенной прослойки между удобрением и зерновкой; *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G* – узловые точки

Перемещение почвы описывается вторым законом Ньютона (рисунок 3, точка 1 и 3).

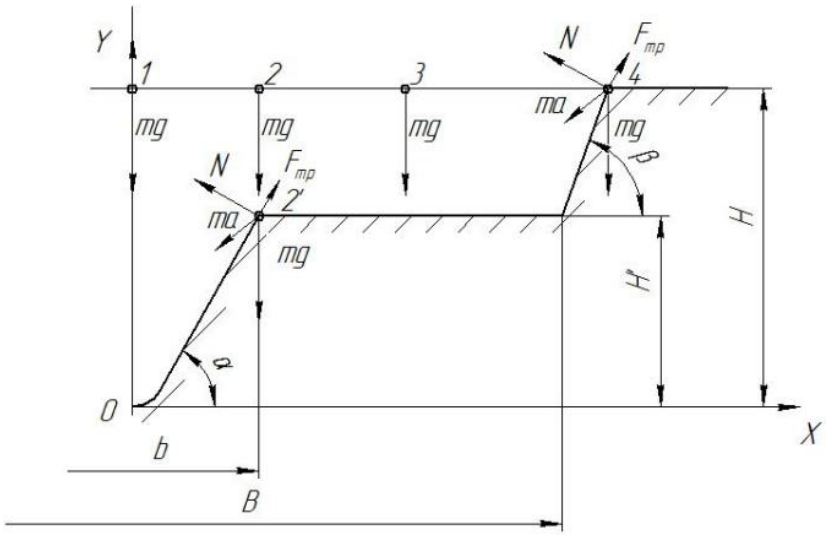


Рисунок 3 – Расчетная схема движение почвы по наклонной плоскости

В таком случае время закрытия борозды за стойкой (точка 1) определяется по формуле (1):

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}, \tag{1}$$

с установленными культиваторными лезвиями (точка 3) (2):

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot (H - H')}{g}}, \tag{2}$$

При осыпании со скольжением по сформированным стенкам борозды (AB, CD, DE, FG) (рисунок 2а) время закрытия борозды определили, решая задачу механики – движение по наклонной плоскости (рисунок 3, точки 2, 2' и 4).

Движение частицы 2' по наклонной плоскости определялось из уравнения проекции сил на оси координат *XOY* и момента относительно точки *O* (3):

$$\begin{aligned} OX:&\ -ma\cos\alpha + F_{\text{тр}}\cos\alpha - N\sin\alpha = 0 \\ OY:&\ -ma\sin\alpha + F_{\text{тр}}\sin\alpha - mg + N\cos\alpha = 0 \\ M_O:&\ -\frac{1}{2}mgb + NS = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Ускорение движения почвенной частицы (4):

$$a_x = a_y = g(f\cos\alpha - \sin\alpha) \quad (4)$$

В случае если коэффициент трения f почвы о почву, выраженное через угол φ превысит угол α, то осыпание почвы не будет, в остальных случаях почва осыпается в открытую борозду равноускорено.

В результате вычислений время осыпания почвенных частиц при работе комбинированного сошника без культиваторных лезвий составило $t_1=0,59$ с, а с установленными культиваторными лезвиями $t_2=0,64$ с.

Решая уравнение движения, определим величину почвенной прослойки $h_{просл}$ (5):

$$h_{просл} = H_{сем} - (v_0\sin(\theta))^2\frac{1}{2gk}(e^{-kt} - 1) \quad (5)$$

Величина почвенной прослойки $h_{просл}$ напрямую зависит от конструктивных особенностей удаления семянаправителя по длине $L_{сем}$ относительно туконаправителя и высоте расположения $H_{сем}$ в комбинированном сошнике (6):

$$h_{просл} = k\frac{L_{сем}\cdot H_{сем}}{V_{сем} - V_{уд}} \quad (6)$$

Задавая параметры установки семянаправителя ($L_{сем}$, $H_{сем}$), теоретически определили оптимальные значения агрономически обоснованной величины почвенной прослойки в 3-4 см (рисунок 4).

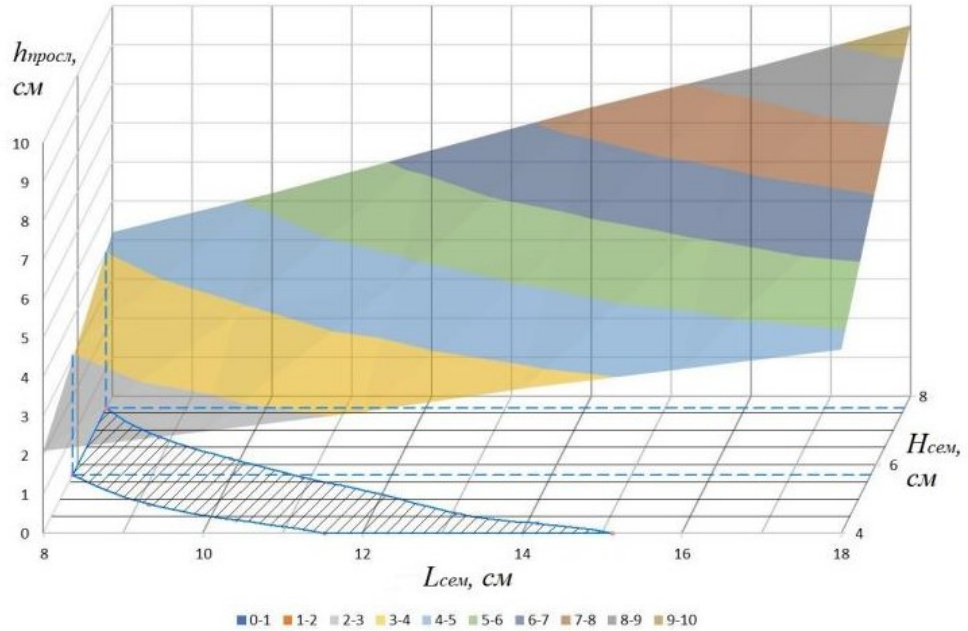


Рисунок 4 – Зависимость формирования почвенной прослойки $h_{просл} = f(L_{сем}; H_{сем})$

Оптимальные расстояния: $L_{сем}$ = 8 см, при $H_{сем}$ = 5,8...7,8 см; $L_{сем}$ = 10 см, при $H_{сем}$ = 4,5...6,1 см; $L_{сем}$ = 12 см, при $H_{сем}$ = 4...5,2 см.

В третьей главе представлены программа и методика экспериментальных исследований. Программа исследований включала:

1. Изготовление экспериментального комбинированного сошника;
2. Создание экспериментальной установки на основе сеялки-культиватора СКП-2.1;
3. Планирование многофакторного эксперимента;
4. Подбор и подготовка приборов и оборудования для экспериментальных исследований;
5. Проведение полевого производственного эксперимента по изучению эффективности экспериментального комбинированного сошника;
6. Статистическая обработка результатов эксперимента, включая использование языков программирования.

Методом отсеивающего эксперимента с использованием плана Плакетта-Бермана выявлено, что статистически значимыми факторами по критерию Стьюдента на 5%-ном уровне являются: толщина стойки b, глубина хода комбинированного сошника h и поступательная скорость движения агрегата V.

Для определения длины закрытия борозды проведены поисковые опыты с интервалами варьирования факторов:

1. толщина стойки сошника b (30, 35, 40 мм);
2. глубина хода комбинированного сошника h (6, 8, 10 см);
3. скорость движения агрегата V (7, 9, 11 км/ч).

Оптимизируемой величиной являлось начало $L_{нач}$ и конец закрытия борозды $L_{кон}$, а также разница между ними ΔL (7):

$$\Delta L = L_{кон.} - L_{нач.}, \quad (7)$$

Для реализации поискового опыта требовалась предварительная подготовка оборудования. Была изготовлена и установлена стойка комбинированного сошника на раму экспериментальной сеялки СКП-2.1 (рисунок 5).

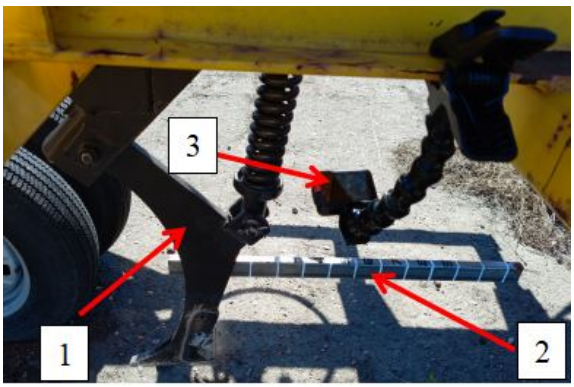
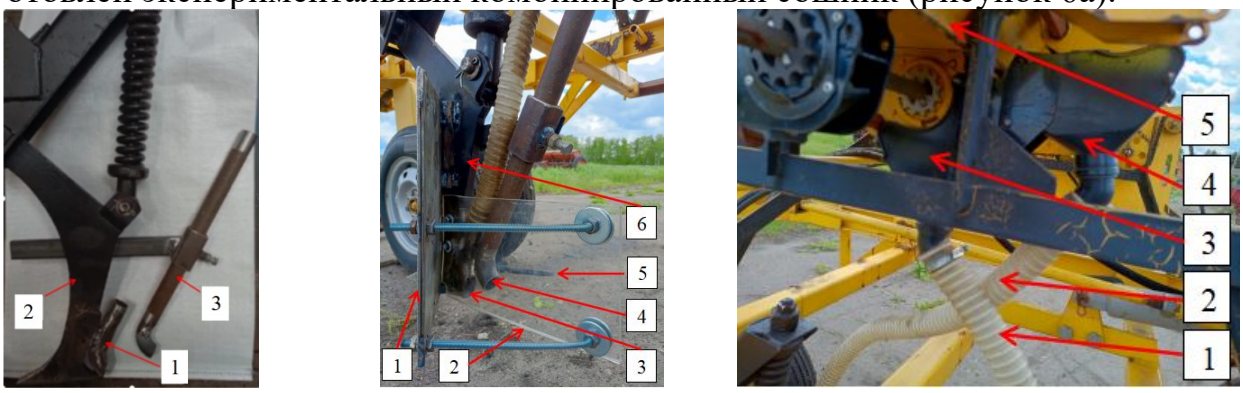


Рисунок 5 – Экспериментальная сеялка СКП-2.1 при реализации поискового опыта: 1 – стойка; 2 – мерная линейка; 3 – скоростная камера

Определение численных значений начала $L_{нач}$ и конца $L_{кон}$ закрытия борозды за стойкой 1 проводили путем их видеофиксации по мерной линейке 2 скоростной камерой 3 GoPro Hero 10.

При исследовании процесса формирования почвенной прослойки был изготовлен экспериментальный комбинированный сошник (рисунок 6а).



а б в

Рисунок 6 – Экспериментальная сеялка СКП-2.1 при исследовании формирования почвенной прослойки: а – общий вид экспериментального комбинированного сошника: 1 – туконаправитель; 2 – стойка; 3 – семянаправитель; б – сошник с разгребающим устройством: 1 – разгребающая пластина; 2 – органическое стекло; 3 – туконаправитель; 4 – семянаправитель; 5 – культиваторное лезвие; 6 – стойка сошника; в – воронка-делитель: 1 – семяпровод; 2 – тукопровод; 3 – семенная воронка; 4 – туковая воронка; 5 – бункер сеялки

Туконаправитель 1 был жестко зафиксирован с тыльной стороны стойки 2, семянаправитель 3 имел возможность перемещения, как в горизонтальной плоскости $L_{сем}$, так и в вертикальной $H_{сем}$. Изготовленное разгребающее устройство позволило визуализировать процесс укладки гранул минеральных удобрений, движение почвы и формирование прослойки за стойкой, укладку семян (рисунок 6б). Разделение потока семян и гранул удобрений обеспечивалось изготовленной воронкой-делителем (рисунок 6в). Семена – яровая мягкая пшеница Омская 36, удобрение – азотно-фосфорное (аммофос N12%, P_2O_5 52%).

Полевой производственный эксперимент производился с использованием сравнительного метода, при посеве базовой сеялкой СКП-2.1 с лаповыми сошниками и экспериментальной сеялкой СКП-2.1, оборудованной экспериментальными комбинированными сошниками.

В четвёртой главе представлены результаты проведённого лабораторно-полевого, поискового опыта и производственного эксперимента.



Рисунок 7 – Определение длин начала и конца закрытия борозды

Были проведены измерения расстояния (рисунок 7) от стойки до начального ($L_{нач.}$) осыпания почвы, расстояния от стойки до завершения ($L_{кон.}$) осыпания (закрытие почвой борозды), разница между ними ΔL.

На основании анализа данных получены уравнения регрессии описывающие начало закрытия борозды (8), конец закрытия борозды (9) и разницу расстояний между ними (10).

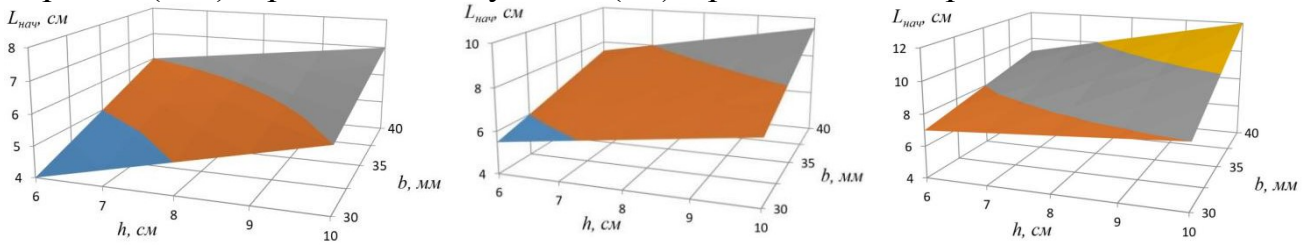
$$L_{нач} = 4,5V + 1,1375b + 5,645h - \\ -0,1125Vb - 0,625Vh - 0,15625bh + 0,01875Vbh - 41 \quad (8)$$

$$L_{кон} = 19,25V + 4,35b + 18,375h - \\ -0,45Vb - 1,875Vh - 0,45bh + 0,05Vbh - 168,25 \quad (9)$$

$$\Delta L = 14,75V + 3,2125b + 12,75h - \\ -0,3375Vb - 1,25Vh - 0,29375bh + 0,03125Vbh - 127,25., \quad (10)$$

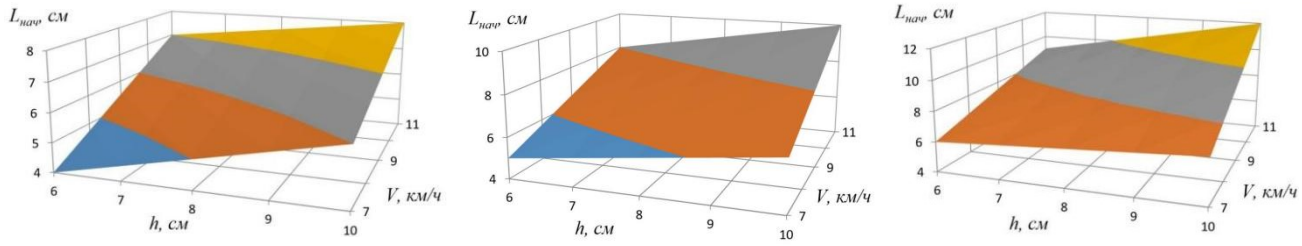
На расстояние смещения от сошника начала закрытия и конца закрытия борозды в порядке ранжирования факторов от более значимого к менее значимому оказывали влияние скорость агрегата *V*, глубина посева *h* и ширина стойки *b*.

Были построены поверхности отклика на основании реализации поискового опыта. Показаны расстояния, на котором в процессе работы происходило начало ($L_{нач}$) осыпания почвы за стойкой сошника при разных исследуемых факторах (рисунок 8). Поверхности отклика конца закрытия борозды ($L_{кон}$) и разница между ними (ΔL) представлены в работе.



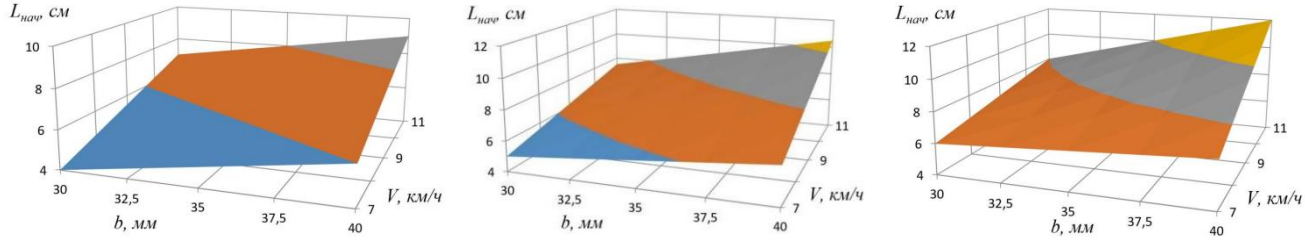
а б в

Поверхности отклика $L_{нач} = f(b, h)$ при постоянной скорости движения МТА:
а – 7 км/ч, б – 9 км/ч, в – 11 км/ч



а б в

Поверхности отклика $L_{нач} = f(V, h)$ при постоянной ширине стойки:
а – 30 мм, б – 35 мм, в – 40 мм



а б в

Поверхности отклика $L_{нач} = f(V, b)$ при постоянной глубине посева:
а – 6 см, б – 8 см, в – 10 см

Рисунок 8 – Поверхности отклика для $L_{нач}$

В результате при минимальных значениях факторов начало осыпания почвы начинается на расстоянии 4 см от тыльной стороны стойки сошника, полное закрытие наступает при 16 см.

В случае максимального значения факторов *V, b, h* начало осыпания почвы происходит на расстоянии 12 см от тыльной стороны стойки сошника, а полное закрытие – 37 см.

Определены критические точки установки туконаправителя и семянаправителя при различных режимах работы комбинированного сошника. Туконаправитель должен быть расположен непосредственно в тыльной части стойки комбинированного сошника. Семянаправитель устанавливается на расстоянии между началом и концом закрытия борозды почвой, для гарантированного формирования почвенной прослойки во время процесса посева.

При проведении лабораторно-полевых опытов определена величина почвенной прослойки в зависимости от задаваемых параметров установки семянаправителя сошника – $L_{сем}$, $H_{сем}$ (таблица).

Таблица – Величина почвенной прослойки

Длина установки семянаправителя $L_{сем}$, см	8			10			12			14			16			18		
Высота установки семянаправителя $H_{сем}$, см	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8
Величина почвенной прослойки $h_{просл}$, см	1	3	5,5	1,5	4	6	2,5	5	7	4	6	8	4	6	8	4	6	8

На основании полученных результатов была построена поверхность отклика, показывающая зависимость параметров установки семянаправителя ($L_{сем}$, $H_{сем}$) для формирования почвенной прослойки величиной 3-4 см (рисунок 9).

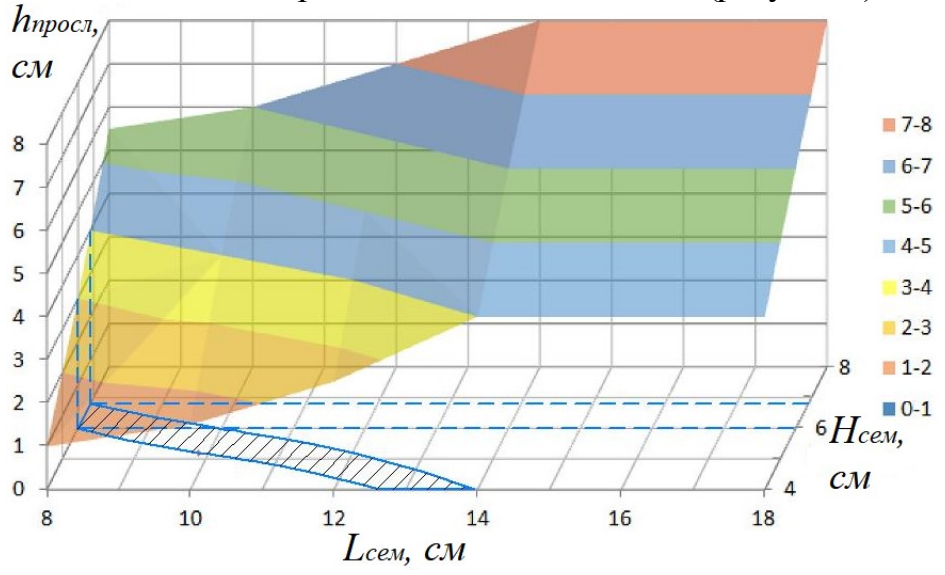


Рисунок 9 – Зависимость формирования почвенной прослойки: $h_{просл} = f(L_{сем}; H_{сем})$

В результате, для формирования почвенной прослойки величиной 3-4 см определена зависимость установки параметров семянаправителя по длине $L_{сем}$ и высоте $H_{сем}$ от туконаправителя:

$L_{сем}$ = 8 см, при $H_{сем}$ = 6...6,8 см;

$L_{сем}$ = 10 см, при $H_{сем}$ = 5,1...6 см;

$L_{сем}$ = 12 см, при $H_{сем}$ = 4,4...5,2 см.

Определены точные значения коэффициентов в уравнении $h_{просл}$, позволяющие при известных параметрах $L_{сем}$ и $H_{сем}$ вычислять величину почвенной прослойки (11):

$$h_{\text{просл}} = -5.7 + 0.3 \cdot L_{\text{сем}} + 1.2 \cdot H_{\text{сем}} \quad (11)$$

В результате проведенного полевого производственного эксперимента было установлено, что процент семян находившемся в заданном слое глубины посева 6±1 см у экспериментальных комбинированных сошников составил 78 %, против 60,3 % у лаповых сошников (рисунок 10).

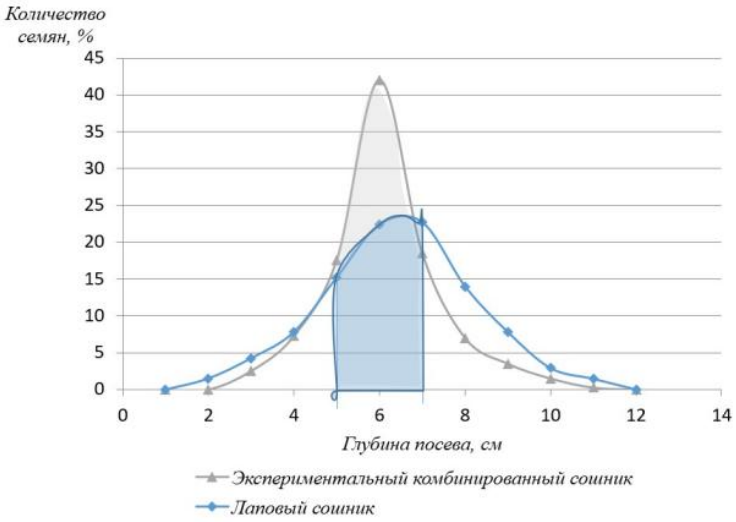
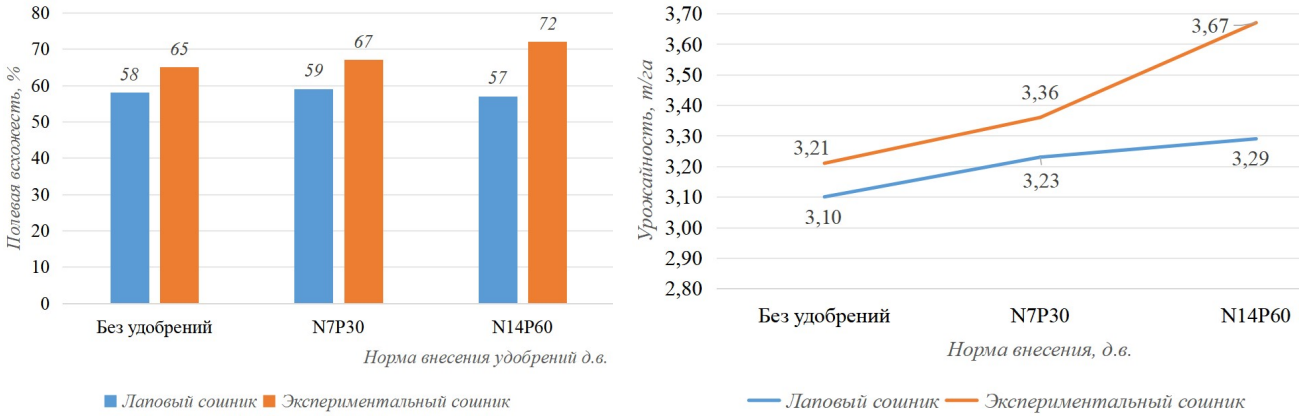


Рисунок 10 – Глубина заделки семян в почвенном слое

Полевая всхожесть на варианте посева экспериментальными комбинированными сошниками при внесении $N_{14}P_{60}$ была 72 % (рисунок 11 а), урожай зерна 3,67 т/га (рисунок 11 б).



а б

Рисунок 11 – а – полевая схожесть; б – урожай зерна

Разница в урожайности между смежными вариантами посева лаповыми и экспериментальными комбинированными сошниками, без внесения удобрений была 0,11 т/га, при внесении N_7P_{30} разница увеличилась до 0,13 т/га. Максимальный урожай зерна был получен при внесении $N_{14}P_{60}$ на сеялке СКП-2.1, оборудованной лаповыми сошниками, составил 3,29 т/га, на экспериментальной с комбинированными сошниками составила 3,67 т/га. Прибавка урожая зерна составила 0,38 т/га.

В пятой главе выполнена оценка экономической эффективности результатов применения экспериментальной сеялки СКП-2.1 с комбинированными сошниками. В результате сравнения урожая зерна, полученного при посеве серийной сеялкой СКП-2.1, оборудованной лаповыми сошниками, и экспериментальной сеялкой получили прибавку зерна 0,38 т/га. С учетом стоимости дополнительной продукции с 1 га посева получили экономический эффект равный 5510 руб. Годовой экономический эффект при нормативной годовой загрузке сеялки 140 ч., составил 1265096 руб. на одну сеялку, оборудованную комбинированными сошниками для разноуровневого посева и внесения минеральных удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведён анализ существующих технологий посева и конструкций сошников. Выявлено, что зачастую внесение удобрений происходит в один почвенный горизонт с семенами, что оказывает отрицательное влияние на всхожесть и урожайность.

2. Разработана модель процесса посева комбинированным сошником и технологическая схема посева с одновременным внесением удобрений в разные горизонты почвы, выявлены закономерности формирования почвенной прослойки в зависимости от взаимного расположения семянаправителя и туконаправителя:

$L_{сем}$ = 8 см, при $H_{сем}$ = 5,8...7,8 см;

$L_{сем}$ = 10 см, при $H_{сем}$ = 4,5...6,1 см;

$L_{сем}$ = 12 см, при $H_{сем}$ = 4...5,2 см.

3. Теоретически установлено время осыпания почвенных частиц в борозду при выполнении процесса посева комбинированным сошником: без культиваторных лезвий t_1 = 0,59 с, и с установленными культиваторными лезвиями t_2 = 0,64 с.

4. Получены уравнения регрессии, описывающие координаты начала и конца закрытия борозды, длину закрытия борозды от поступательной скорости движения, V, км/ч; толщины стойки, b, мм, глубины хода комбинированного сошника, h, см. При минимальных значениях V, b, h – $L_{нач.}$ = 4 см., $L_{кон.}$ = 16 см., при максимальных значениях V, b, h – $L_{нач.}$ = 12 см., $L_{кон.}$ = 37 см.

5. Экспериментально определены оптимальные расстояния от взаимного расположения семянаправителя и туконаправителя комбинированного сошника, обеспечивающие формирование почвенной прослойки 3-4 см между удобрениями и семенами.

6. Теоретические и практические результаты подчиняются единой закономерности, их расхождение значений не превышает значение ошибки опыта ±5%.

7. Производственные испытания позволили установить эффективность сеялки с экспериментальными комбинированными сошниками при посеве яровой пшеницы, прибавка урожая зерна составила 10,4 %, экономический эффект с 1 га получен 5510 руб.

Рекомендации производству

Для повышения эффективности от внесения минеральных удобрений при посеве зерновых культур предприятиям агропромышленного комплекса рекомендуется использовать комбинированные сошники для разноуровневого посева и внесения минеральных удобрений ниже уровня высева семян, с почвенной прослойкой между ними.

Повышение урожайности при посеве яровой мягкой пшеницы Омская 36 на 10,4 % можно достичь благодаря комбинированным сошникам с внесением минеральных удобрений в норме $N_{14}P_{60}$.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Кем А.А. Комбинированный сошник для посева зерновых культур / А.А. Кем, М.С. Чекусов, А.Н. Шмидт // Сельский механизатор. – 2021. – № 3. – С. 6-7.

2. Кем А.А. Сеялка для разноглубинного посева зерновых и внесения минеральных удобрений / А.А. Кем, Е.М. Михальцов, М.С. Чекусов, А.Н. Шмидт // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2022. – Т. 16, № 2. – С. 62-68. – DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-2-62-68.

3. Чекусов М.С. Возделывание пшеницы в зависимости от способа посева и внесения азотных удобрений / М.С. Чекусов, А.А. Кем, Е.М. Михальцов [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2022. – Т. 52, № 1. – С. 90-99. – DOI 10.26898/0370-8799-2022-1-10.

4. Чекусов М.С. Полевые исследования работы комбинированного сошника / М.С. Чекусов, А.А. Кем, Е.М. Михальцов, А.Н. Шмидт // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 1. – С. 77-80. – DOI 10.31857/2500-2082/2023/1/77-80.

5. Шмидт А.Н. Исследование тягового сопротивления сошников стерневой сеялки СКП-2.1 / А.Н. Шмидт, А.А. Кем, Е.М. Михальцов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 9. – С. 160-165. – DOI 10.28983/asj.y2023i9pp160-165.

В журналах, входящих в международную базу цитирования Web of Science

6. Chekusov, M. Agrotechnical Assessment of the Work of the Furrow Opener During the Cultivation of Cereals Using Intensive Technology / M. Chekusov, A. Schmidt, A. Kem // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems, Volume 1, Volozhenin, 21–22 июня 2021 года. Vol. 353. – Ussuriysk: Springer,

2022. – P. 164-173. – DOI 10.1007/978-3-030-91402-8_20.

Патенты на изобретение и полезную модель:

7. Патент на полезную модель № 204018 U1 Российская Федерация, МПК A01C 7/20. сошник для разноуровневого посева семян и внесения удобрений: № 2021103251: заявл. 09.02.2021 / А. А. Кем, А. Н. Шмидт, М. С. Чекусов [и др.]

Публикации в сборниках материалов конференций и семинаров

8. Кем А.А. Посев зерновых культур модернизированным сошником стерневой сеялки / А.А. Кем, А.Н. Шмидт, М.С. Чекусов // Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК: Сборник Всероссийской (национальной) научно - практической конференции, Омск, 18 февраля 2021 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021. – С. 39-42.

9. Кем А.А. Сошник для прямого разноглубинного посева зерновых и внесения минеральных удобрений / А.А. Кем, М.С. Чекусов, А.Н. Шмидт // Перспективные технологии в аграрном производстве: человек, "цифра", окружающая среда (AgroProd 2021): Материалы международной научно-практической конференции, Омск, 28 июля 2021 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021. – С. 310-313.

10. Чекусов М.С. Сошник для прямого разноглубинного посева зерновых и внесения минеральных удобрений / М.С. Чекусов, А.А. Кем, А.Н. Шмидт // Научно-техническое обеспечение АПК Сибири: Материалы Международной научно-технической конференции, Новосибирск, 07–08 октября 2021 года. – Новосибирск: ГУ Редакция журнала "Сибирский вестник сельскохозяйственной науки" СО РАСХН, 2021. – С. 126-129.

11. Чекусов М.С. Агротехническая оценка работы комбинированного сошника при возделывании зерновых по интенсивной технологии / М.С. Чекусов, А.А. Кем, А.Н. Шмидт // Сибирская деревня: 200 лет развития Омской области - от реформ М.М. Сперанского до агропромышленного центра Сибири : Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 200-летию Омской области, Омск, 21–23 сентября 2022 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2022. – С. 477-482.

12. Шмидт А.Н. Модернизация сошника для сеялки-культиватора СКП-2.1 / А.Н. Шмидт, А.А. Кем, Е.М. Михальцов // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29–31 марта 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 335-337.

13. Шмидт А.Н. Ресурсосберегающий и эффективный способ совмещённого посева и внесения удобрений / А.Н. Шмидт, М.С. Чекусов // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : Сборник XI Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию кафедры Электротехники в Омском сельскохозяйственном институте им. С.М. Кирова (Технического сервиса, механики и электротехники) ФГБОУ

ВО Омский ГАУ, Омск, 29 февраля 2024 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 289-292.

14. Шмидт А.Н. Разработка комбинированного сошника для посева и разноуровневого внесения минеральных удобрений / А.Н. Шмидт, А.А. Кем, Е.М. Михальцов // Молодые ученые: Современный взгляд на будущее АПК: Сборник X международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 25 апреля 2025 года. – Новосибирск: Агронаука, 2025. – С. 299-301.