

На правах рукописи



Сарсенов Амангельды Естаевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ ПУТЕМ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ СОШНИКА ДЛЯ
УЛУЧШЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕМЯН В ПОЧВЕ**

**Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2017

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

Научный руководитель –

Павлов Иван Михайлович,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Мачнев Алексей Валентинович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Механизация технологических процессов в АПК»
ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ»

Вдовкин Сергей Владимирович
кандидат технических наук доцент,
доцент кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Самарская ГСХА»

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия П.А. Столыпина»

Защита диссертации состоится 30 июня 2017 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, д.60, ауд. 325.

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

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 220.061.03.
e-mail: chekmarev.v@yandex.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чекмарев Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Для сельскохозяйственного производства важнейшее значение имеет увеличение производства зерна. Урожайность зерновых культур зависит не только от внедрения новых высокопродуктивных сортов, но и от качества посева, оцениваемого равномерностью распределения семян в почве по глубине, обеспечением требуемой для растений плотности почвы семенного ложа и контакта семян с дном бороздки. Эти факторы обуславливают интенсивность прорастания семян, дружность всходов, повышают энергию роста растений и, в конечном счете, увеличивают урожайность зерновых культур.

Выпускаемые промышленностью и имеющиеся в хозяйствах простые по конструкции и надёжные в работе зерновые сеялки, оборудованные двухдисковыми сошниками, выполняют рядовой и узкорядный посев. Однако дисковые сошники этих сеялок не в полной мере отвечают агротехническим требованиям, т. к. не создают уплотнения дна посевной бороздки, и, следовательно, не обеспечивают высеянному семенам необходимый режим влажности, а также неравномерно распределяют семена по глубине заделки. Это ведёт к затягиванию сроков прорастания семян, ухудшению условий дальнейшего развития растений и снижению урожайности. В этой связи совершенствование технологического процесса и технических средств посева сельскохозяйственных культур является актуальной задачей.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации №717 от 14 июля 2012 г. «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы», а также «Концепцией развития агропромышленного комплекса Саратовской области до 2020 года» (п.п. 3.4.3 «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК»).

Степень разработанности темы. Вопросами разработки посевных машин и заделывающих рабочих органов сеялок в разные годы занимались А.С. Абашкин, М.К. Амирханов, А.И. Беднов, В.М. Бойков, Г.М. Бузенков, В.К. Бурлаков, С.В. Вдовкин, А.П. Глотов, В.Г. Гниломедов, Г.К. Демидов, М.Б. Ероков, С.А. Ивженко, А.Н. Карпенко, Н.П. Крючин, В.И. Курдюмов, Н.П. Ларюшин, В.В. Ли, С.Г. Ломакин, А.Б. Лурье, Н.И. Любушко, С.А. Ма,

Н.Г. Мальмин, А.В. Мачнев, И.В. Морозов, Г.Р. Муртазин, К.А. Мустапха, Г.М. Рекубрацкий, И.И. Сахацкий, А.Н. Семенов, Ю.Я. Сидоренко, М.А. Скользяева, Ю.И. Трофимченко, Э.В. Филиппов, В.Т. Фогель, В.Е. Хорунженко, В.П. Чичкин, В.В. Юдкин и др.

На основе имеющихся типов конструкций сошников разработано и исследовано множество различных технологий заделки семян и рабочих органов, каждый из которых имеет определённые преимущества и недостатки.

Цель работы – повышение эффективности посева зерновых культур путем совершенствования технологического процесса распределения семян по глубине и обоснование параметров двухдискового сошника.

Задачи исследования:

- на основе анализа литературных источников и патентных фондов определить перспективное направление совершенствования дисковых сошников зерновых сеялок и обосновать конструктивно-технологическую схему заделывающего рабочего органа;

- провести теоретические исследования технологического процесса заделки семян с равномерным распределением их по глубине и обосновать параметры прижимной пластины;

- экспериментально исследовать в лабораторных и полевых условиях влияние конструктивных параметров прижимной пластины на равномерность укладки семян по глубине заделки;

- провести полевые испытания сеялки с усовершенствованными дисковыми сошниками и определить экономическую эффективность ее применения.

Объект исследований – технологический процесс посева зерновых культур.

Предмет исследований – закономерности процесса бороздообразования, уплотнения дна бороздки и распределения семян по глубине при использовании дискового сошника с прижимной пластиной.

Научная новизна. Предложена новая технологическая схема посева семян зерновых культур с уплотнением дна бороздки и конструктивно-технологическая схема двухдискового сошника с прижимной пластиной. Получены аналитические зависимости плотности почвы, создаваемой прижимной пластиной, геометрических параметров прижимной пластины, тягового сопротивления усовершенствованного сошника, деформации пружины поводка, устойчивости

хода сошника, разработаны номограммы для определения неравномерности распределения семян по глубине.

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложена классификация сошников, конструктивно-технологическая схема двухдискового сошника, обоснованы геометрические параметры прижимной пластины, проведен силовой анализ предлагаемого рабочего органа, получены выражения для определения тягового сопротивления усовершенствованного сошника, деформации пружины поводка сошника, устойчивости его хода и номограмма для определения неравномерности заделки семян по глубине.

Разработан двухдисковый сошник (патент на изобретение РФ № 2435356 и инновационные патенты на изобретения РК №№ 30296, 30401), обоснованы его конструктивно-режимные параметры.

Производственные испытания опытного образца зерновой сеялки с усовершенствованными двухдисковыми сошниками в ТОО «Ізденіс», КХ «Сулейменов» и ЗКАТУ имени Жангир хана Западно-Казахстанской области Республики Казахстан показали, что повышение равномерности укладки семян по глубине заделки приводит к прибавке урожая.

Полученные результаты исследований могут быть использованы научно-исследовательскими институтами, конструкторскими и проектными организациями при разработке новых зерновых сеялок.

Методы исследования. Исследования выполнены с использованием известных положений классической механики и теории посевных и посадочных машин, позволяющих определить конструктивные параметры прижимной пластины и тяговое сопротивление рабочего органа.

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема двухдискового сошника с прижимной пластиной;
- аналитические зависимости плотности почвы, создаваемой прижимной пластиной, геометрических параметров прижимной пластины, результаты определения тягового сопротивления усовершенствованного сошника, деформации пружины поводка, устойчивости хода сошника, номограммы для определения неравномерности заделки семян по глубине;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований сошника.

Степень достоверности и апробации результатов обеспечена достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных данных, подтверждается экспериментальными исследованиями, выполненными в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, использованием современной контрольно-измерительной и вычислительной техники. Результаты исследований доложены и одобрены на конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы за 2014–2016 гг. ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, Международной научно-практической конференции, посвящённой 20-летию Конституции Республики Казахстан и Ассамблеи народа Казахстана «Наука и образование XXI века: опыт и перспективы», г. Уральск, 2015 г., Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях», г. Саратов, 2016 г., Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития», г. Душанбе, 2017 г., на заседании технического совета АО «Белинксельмаш», г. Каменка Пензенской области, 2017 г.

По результатам исследований опубликовано 12 работ, в т. ч. 4 статьи в рецензируемых научных журналах и изданиях, один патент РФ на изобретение и два инновационных патента Республики Казахстан. Общий объём публикаций 3,51 п. л., из которых 1,97 п. л. принадлежит лично соискателю.

Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка литературы из 158 наименований, из них 10 на иностранном языке. Работа выполнена на 210 страницах, содержит 93 рисунка, 16 таблиц и 12 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, изложены основные научные положения и практическая значимость проведённых исследований, их цель и задачи.

В первом разделе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследования» на основе обзора литературы проведён анализ конструкций заделывающих рабочих органов посевных машин, в результате чего предложена их классификация, про-

ведён анализ научных исследований, позволяющих установить физическую картину технологического процесса посева сельскохозяйственных культур.

Изучению вопроса совершенствования технологического процесса посева посвящены работы А. И. Беднова, В. М. Бойкова, Г. М. Бузенкова, С. В. Вдовкина, М. Б. Ерокова, С. А. Ивженко, А. Н. Карпенко, В. И. Курдюмова, Н.П. Ларюшина, А. Б. Лурье, Н. И. Любушко, С. А. Ма, А. В. Мачнева, К. А. Мустапха, Ю. И. Трофимченко, В. Т. Фогеля, В. Е. Хорунженко, В. В. Юдкина и др.

В результате обобщения материала сделан вывод, что одним из простых и эффективных способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур является модернизация рабочих органов посевных машин, обеспечивающая снижение неравномерности глубины заделки семян и уплотнение дна бороздки.

Во втором разделе «Теоретические исследования технологического процесса посева с уплотнением дна бороздки и конструкции заделывающего рабочего органа» рассмотрены теоретические аспекты технологического процесса посева двухдисковым сошником, оснащённым прижимной пластиной.

На основе анализа существующих технологий посева предложен технологический процесс посева с уплотнением дна бороздки (рисунок 1). В подготовленную под посев поверхность поля внедряются диски сошника на глубину h , раздвигают стенки прорезей и формируют бороздки трапециевидного поперечного сечения с размерами: ширина b и b_1 , высота h_1 . При этом образуются гребни шириной b_2 и высотой h_1 (a). В образованную бороздку высеваются семена (b) и накрываются сверху слоем рыхлой почвы ($в$).

В предлагаемом технологическом процессе образование гребней, формирование бороздки и высев семян происходит аналогично существующей технологии посева (см. рисунок 1, II, a , b , $в$). Отличие предлагаемой технологии посева в следующем: после высева семена вдавливаются в дно бороздки (см. рисунок 1, II, $г$) и одновременно происходит уплотнение почвы дна бороздки (см. рисунок 1, II, $д$). Следующая операция – семена заделываются сверху слоем рыхлой почвы (см. рисунок 1, II, $е$). В результате вдавливания семян в дно бороздки с одновременным уплотнением почвы дна бороздки обеспечивается плотный контакт семян с дном бороздки, равномерность размещения их по глубине и приток влаги к семенам из нижних слоев почвы, способствующий их

быстрому прорастанию и появлению всходов, улучшению условий развития растений.

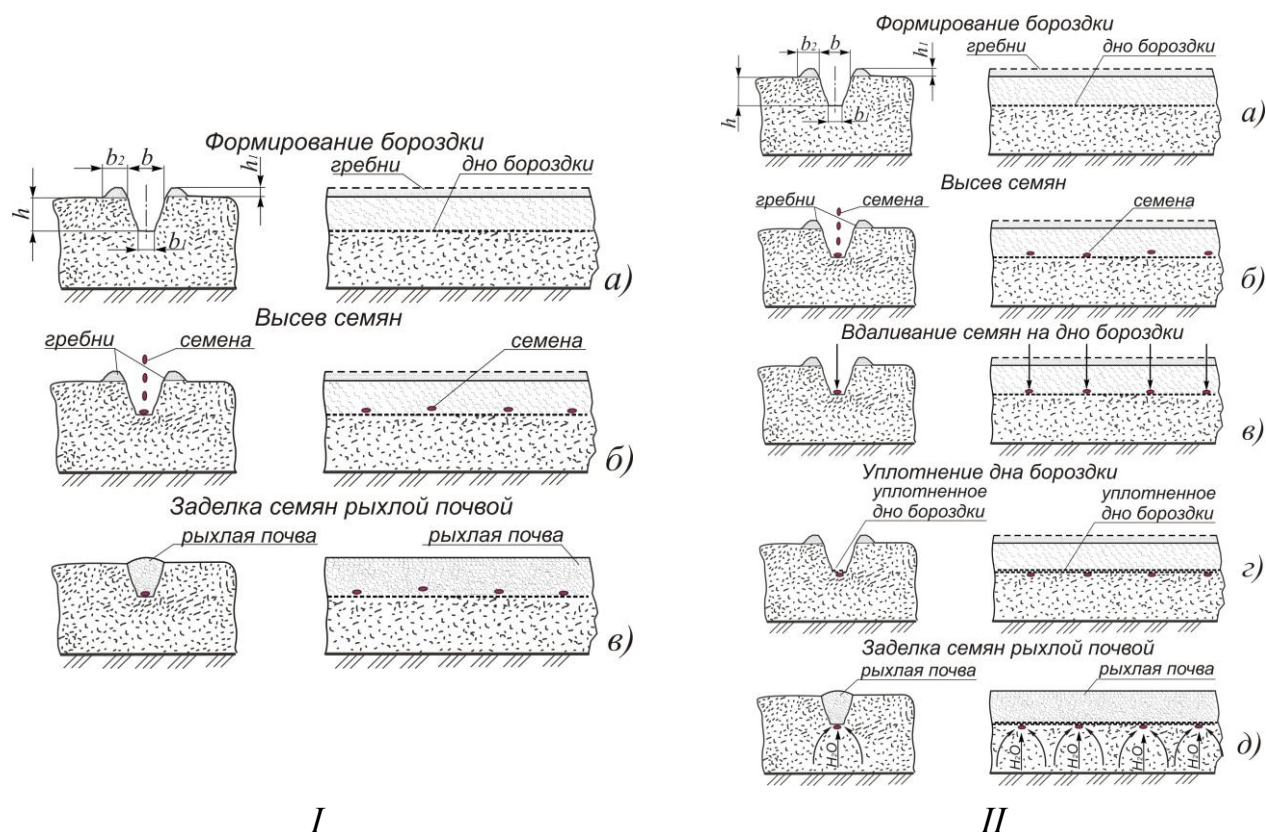


Рисунок 1 – Технологический процесс посева: *I* – существующий; *II* – предлагаемый

Для осуществления предложенного технологического процесса разработаны заделывающие рабочие органы – сошники, максимально унифицированные с серийными. Сошник состоит из корпуса 1 (рисунок 2), двух плоских дисков 2, направителя семян 4, прижимной пластины 5. Последняя выполнена вогнутой в виде балки равного сопротивления и верхней частью установлена параллельно направителю семян 4 с наклоном вперед. Деформатор 6 наклонен к горизонтальной поверхности дна бороздки под углом, меньшим угла трения почвы о материал деформатора. Хвостовик 7 выполнен горизонтальным. Прижимная пластина 5 установлена между дисками 2 с зазором и возможностью упругого деформирования. Выступающая за пределы междискового пространства часть прижимной пластины расположена не выше уровня поверхности почвы. Пластина 5 прикреплена к корпусу 1 болтами 3. Прижимная пластина изготавливается из рессорно-пружинной стали 65Г. В работе диски 2, вращаясь, врезаются в почву и раздвигают стенки в стороны. Семена падают на дно образованной бороздки и попадают

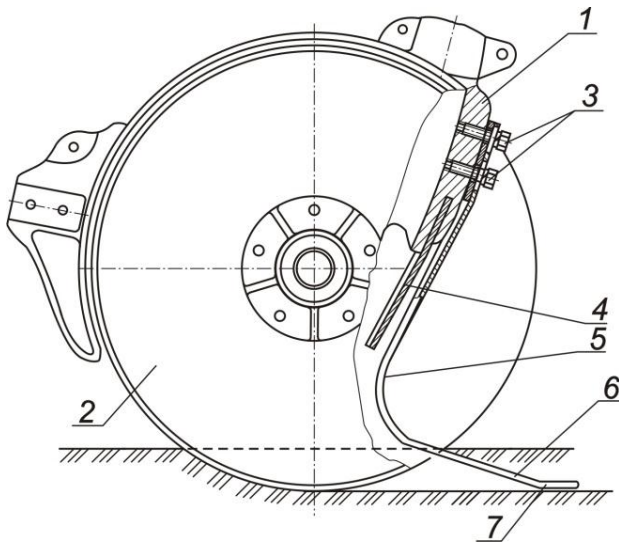


Рисунок 2 – Усовершенствованный сошник

под прижимную пластину 5, которая скользит по дну бороздки и деформатором 6 прижимает их ко дну, а хвостовиком 7 вдавливают в семенное ложе. Прижимная пластина выравнивает расположение семян по глубине заделки и уплотняет вокруг них почвенную среду, повышая контакт семян с почвой.

Это способствует снабжению семян необходимой почвенной вла-

гой и обеспечивает условия для интенсивного их прорастания, продуктивного развития растений и повышения их урожайности.

Прижимная пластина установлена в междисковом пространстве с возможностью упругого деформирования под действием силы сопротивления почвенных комков. Ширина $b_{пл}$ рабочей части пластины, контактирующей с почвой и деформирующей её, определяется в соответствии с конструктивными параметрами сошника (рисунок 3): радиусом R диска, углом между дисками γ и углом α , определяющим расположение точки B схода дисков.

Чтобы прижимная пластина скользила по дну бороздки, исключая сгуживание почвы перед собой, угол наклона деформатора ψ относительно дна бороздки должен быть меньше угла трения ϕ почвы о материал прижимной пластины, т. е. $\psi < \phi$.

Геометрическую форму прижимной пластины предопределяет её месторасположение на сошнике. Ширина элементов пластины зависит от места её крепления и ширины бороздки, образуемой сошником. Ширина рабочей части пластины b и длина деформатора l

$$b_{п} = 2R(1 - \cos \alpha) \sin \frac{\gamma}{2} + \Delta b, \quad l = \frac{h'}{\sin \psi}, \quad (1)$$

где ψ – угол наклона деформатора, град.; h' – толщина слоя почвы, сминаемого наклонной частью пластины, м; l – длина деформатора, м; Δb – зазор между прижимной пластиной и диском, м (на рисунке не показано).

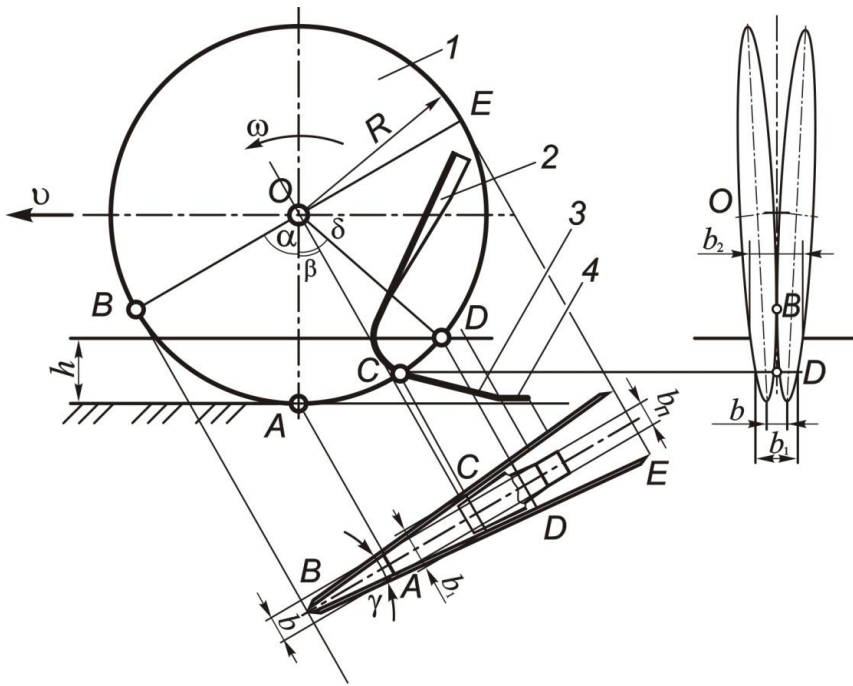


Рисунок 3 – Схема к определению геометрических параметров прижимной пластины

Для определения геометрических параметров пластины необходимо провести силовой анализ. Прижимная пластина представляет собой консольно закреплённую изогнутую балку, нагруженную силами: F_H – сопротивления слоя разрыхлённой почвы деформации наклонным элементом прижимной пластины (рисунок 4), $F_{ТН}$ – трения наклонной части о

деформируемый слой, F_x – сопротивления вдавливанию семян и почвенной массы вокруг семян на дне бороздки хвостовиком, $F_{ТХ}$ – трения хвостовика о почву. В точке A крепления прижимной пластины приложены реакция R_A и реактивный момент m_A . Силы, действующие на пластину, в опасном сечении балки вызывают напряжения сжатия σ_c и изгиба $\sigma_{и}$.

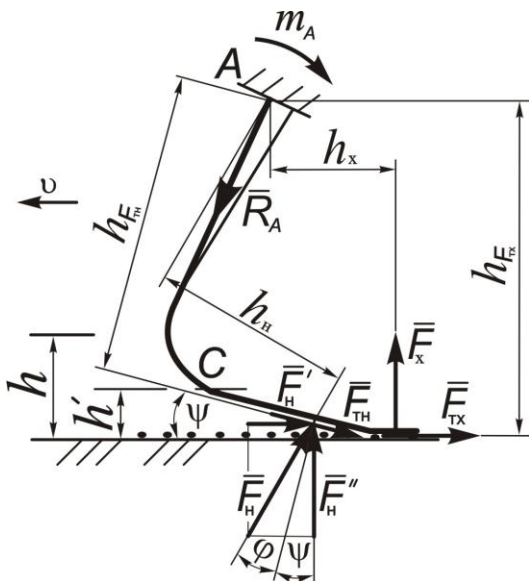


Рисунок 4 – Силы, действующие на прижимную пластину

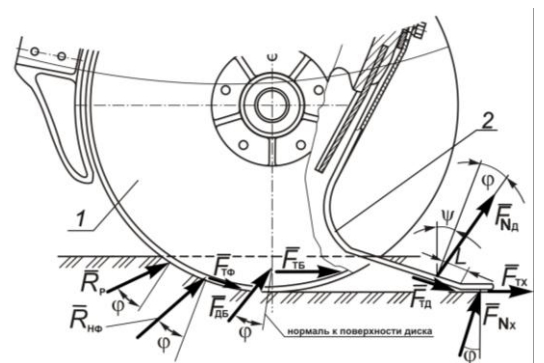


Рисунок 5 – Расчётная схема к определению тягового сопротивления сошника: 1 – диски; 2 – прижимная пластина

Геометрические параметры прижимной пластины определялись по условию прочности в соответствии с положениями сопротивления материалов в зависимости от момента инерции поперечного сечения пластины и потребного момента сопротивления. Для прижимной пластины, выполненной одинаковой толщины по всей длине, определены зависимости момента сопротивления опасного сечения изгибу от радиуса r кривизны сечения и толщины пластины δ .

Тяговое сопротивление серийного и усовершенствованного сошников R_c складывается из сил сопротивления: резанию диском R_p (рисунок 5), смятию фаской R_ϕ , боковой поверхностью диска $F_{д.б}$, трения боковой поверхности диска о почву $F_{т.б}$; деформатора прижимной пластины F_d , трения деформатора прижимной пластины о почву $F_{т.д}$, вдавливанию семян и почвенной массы хвостовиком прижимной пластины F_x и силы трения хвостовика $F_{т.х}$.

Тяговое сопротивление усовершенствованного сошника

$$\bar{R}_c = 2(\bar{R}_p + \bar{R}_\phi + \bar{F}_{т\phi} + \bar{F}_{дб} + \bar{F}_{тдб}) + \bar{F}_{Nd} + \bar{F}_{тд} + \bar{F}_{Nx} + \bar{F}_{тх} \quad (2)$$

Согласно агротехническим требованиям, скорость посевного агрегата при посеве должна быть в пределах от 1,94 до 2,50 м/с.

По результатам расчётов построены графические зависимости тягового сопротивления серийного и усовершенствованного сошников в указанных выше диапазонах скоростей движения и глубины хода (рисунок 6).

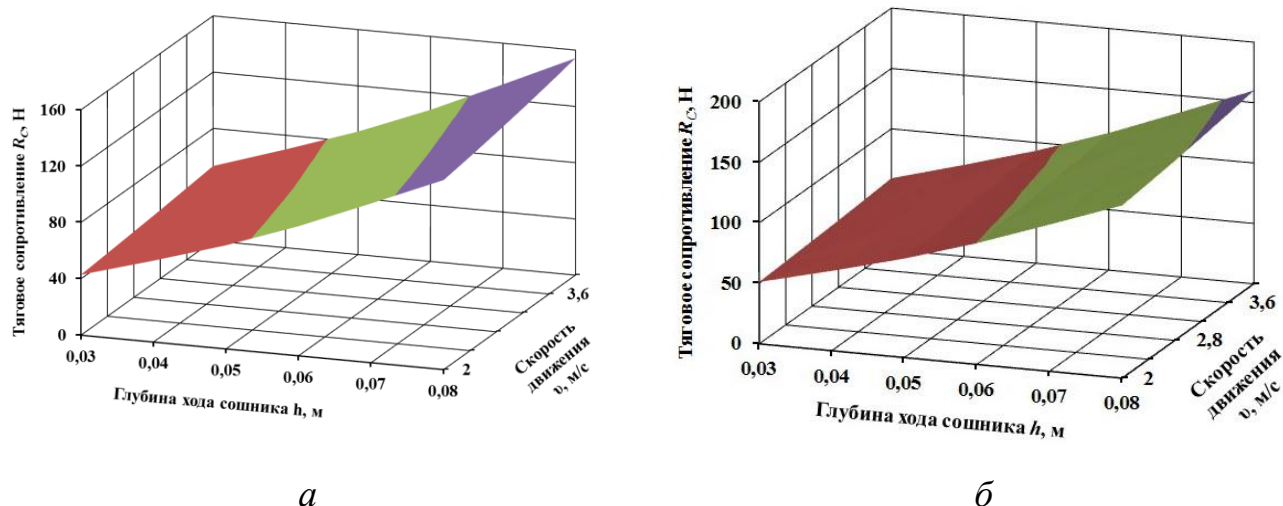


Рисунок 6 – Теоретические зависимости тягового сопротивления: *a* – серийного сошника; *б* – усовершенствованного сошника

Глубина хода сошника во многом зависит от усилия, создаваемого пружинной, установленной на штанге. Сошник находится в равновесии под действием внешних сил: тяжести сошника в сборе с поводком $\bar{G}_{\text{сош}}$ (рисунок 7); сопротивления перемещению диска $\bar{F}_{\text{сд}}$; трения почвы о поверхность деформатора $\bar{F}_{\text{тд}}$; трения почвы о поверхность хвостовика $\bar{F}_{\text{тх}}$; пружины $\bar{F}_{\text{пр}}$; нормальной реакции дна борозды $\bar{R}_{\text{д}}$; нормальной реакции почвы на деформатор $\bar{F}_{\text{нд}}$; нормальной реакции почвы на хвостовик $\bar{F}_{\text{нх}}$.

Сила сопротивления перемещению диска $F_{\text{сд}}$ может быть определена из формулы академика Горячкина В. П.

$$F_{\text{сд}} = hb_{\text{п}}(k_{\text{п}} + \varepsilon v^2), \quad (3)$$

где $b_{\text{п}}$ – максимальное расстояние между дисками сошника на уровне поверхности поля, м; ε – скоростной коэффициент, кПа·с²/м².

Максимальное расстояние между дисками сошника на уровне поверхности поля $b_{\text{п}}$, м

$$b_{\text{п}} = \frac{2 \left[R \sin \alpha + \sqrt{R^2 - (R-h)^2} (90 - \alpha + \gamma_{\text{п}}) \right] \operatorname{tg} \frac{\psi_{\text{д}}}{2}}{\cos \gamma_{\text{п}}}, \quad (4)$$

где $\psi_{\text{д}}$ – угол между дисками, град; $\gamma_{\text{д}}$ – угол, определяемый из выражения

$$\gamma_{\text{д}} = \operatorname{arctg} \frac{R(1 - \cos \alpha) - h}{R \sin \alpha + \sqrt{R^2 - (R-h)^2}}. \quad (5)$$

Нормальная реакция дна борозды $\bar{R}_{\text{д}}$ на сошник

$$R_{\text{д}} = R_{\text{ц}} + 2R_{\text{к}}, \quad (6)$$

где $R_{\text{ц}}$ – составляющая нормальной реакции на цилиндрической части дисков, Н; $R_{\text{к}}$ – составляющая нормальной реакции на конической части дисков, Н;

$$R_{\text{ц}} = \frac{2}{3} qb_{\text{п}} \sqrt{2r_1 h_0^{1.5}}. \quad (7)$$

$$R_{\text{к}} = \frac{\sqrt{2}}{72} q \sin \theta (\operatorname{tg} \alpha + f) \left[\begin{array}{l} 2\sqrt{Rh}(8Rh + 3h^2 + 3R) - \\ -3(R-h)^3 \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{R}{h}} - 1}{\sqrt{\frac{R}{h}} + 1} \right| \end{array} \right], \quad (8)$$

Сила пружины $\bar{F}_{\text{пр}}$ является уравновешивающей силой, обеспечивающей равномерность хода сошника в почве. Она определяется из уравнения равновесия системы относительно шарнирного крепления – точки O

$$\sum m_o(F_i) = 0; \quad F_{\text{пр}} h_{F_{\text{пр}}} + G_{\text{сош}} h_{G_{\text{сош}}} - R_{\text{д}} h_{R_{\text{д}}} - F_{\text{Нх}} h_{F_{\text{Нх}}} - F_{\text{Нд}} h_{F_{\text{Нд}}} - F_{\text{сд}} h_{F_{\text{сд}}} - F_{\text{тд}} h_{F_{\text{тд}}} - F_{\text{тх}} h_{F_{\text{тх}}} = 0, \quad (9)$$

где $h_{G_{\text{пр}}}$, $h_{G_{\text{сош}}}$, $h_{R_{\text{д}}}$, $h_{F_{\text{Нх}}}$, $h_{F_{\text{Нд}}}$, $h_{F_{\text{сд}}}$, $h_{F_{\text{тд}}}$, $h_{F_{\text{тх}}}$ – плечи соответственно сил сжатия пружины, тяжести сошника, нормальной реакции дна бороздки, нормальной реакции почвы на хвостовик, деформатор, сопротивления перемещению диска, трения почвы о поверхность деформатора, поверхность хвостовика, м.

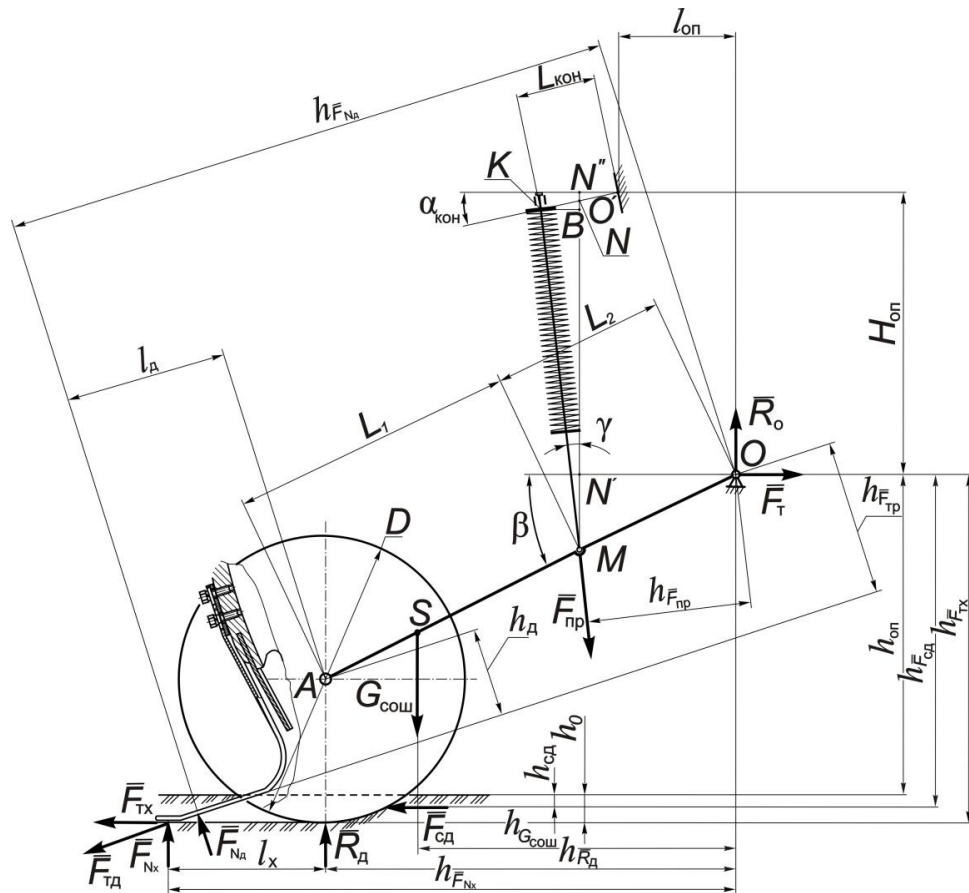


Рисунок 7 – Схема сил, действующих на сошник

После преобразований выражение для определения величины деформации пружины примет вид

$$\lambda = \frac{\left[\begin{aligned} &F_{\text{д}} l_{\text{д}} + h_{\text{оп}} (F_{\text{сд}} + F_{\text{тх}}) + G_{\text{сош}} l_{\text{цтс}} \cos \beta + F_{\text{х}} l_{\text{х}} + F_{\text{тд}} h_{\text{д}} + \\ &+ h \left(F_{\text{тх}} + \frac{F_{\text{сд}}}{2} \right) - (L_1 + L_2) \left[(G_{\text{сош}} - R_{\text{д}} - F_{\text{Нх}}) \cos \beta - F_{\text{д}} \cos \psi - F_{\text{тд}} \sin \psi \right] \end{aligned} \right]}{CL_2 \cos(\beta - \gamma_{\text{п}})}, \quad (10)$$

где l_d – координата точки приложения нормальной реакции, действующей на деформатор, м; $h_{оп}$ – расстояние от оси крепления поводка сошника до опорной поверхности, м; $l_{цтс}$ – координата центра тяжести сошника, м; β – угол наклона поводка, град; l_x – координата точки приложения нормальной реакции, действующей на хвостовик, м; h_d – расстояние от оси вращения дисков сошников до плоскости поверхности деформатора пластины, м; L_1, L_2 – линейные размеры, м.

Проведённые расчёты показали, что на деформацию пружины большее влияние оказывает глубина хода сошника, а скорость движения посевного агрегата в указанных пределах оказывает незначительное влияние.

Сошник должен заделывать семена на заданную глубину при минимальных колебаниях в пределах агротехнического допуска. В процессе работы на него действуют внешние воздействия, вызванные неравномерностью физико-механических свойств почвы и неровностями профиля поверхности почвы.

В связи с этим условия устойчивости хода сошника

$$\begin{aligned} \sum (\overline{F_{пр}}, \overline{G_{сош}}, \overline{R_d}, \overline{F_{сд}}, \overline{F_{Nd}}, \overline{F_{Nx}}) &= 0; \\ \sum M_O (\overline{F_{пр}}, \overline{G_{сош}}, \overline{R_d}, \overline{F_{сд}}, \overline{F_{Nd}}, \overline{F_{Nx}}) &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

В качестве критерия устойчивости движения сошника можно принять постоянство угла наклона поводка β , которое обеспечивается при отсутствии колебаний сошника. При этом равновесие сошника описывается уравнением моментов сил относительно оси подвеса поводка. В работе угол наклона β сошника постоянно изменяется. В соответствии с принципом Даламбера, дифференциальное уравнение движения сошника

$$\begin{aligned} I\ddot{\beta} = F_{пр}l_{пр} + G_{сош}l_G \cos\beta_0 - R_d l_R \cos\beta_0 - F_{сд} l_R \sin\beta_0 - \\ - F_{Nd} (l_R \cos(\beta_0 - \alpha_d) + l_d) - F_{Nx} (l_R \cos\beta_0 + l_x), \end{aligned} \quad (12)$$

где I – момент инерции сошника относительно оси подвеса, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$, $l_{пр}$, l_G , l_R – расстояние от оси подвеса сошника до точек приложения силы сжатия пружины, силы тяжести сошника и нормальной реакции со стороны дна бороздки на диск соответственно, м; β_0 – угол наклона сошника при статическом равновесии, град.

В результате анализа и решения данного уравнения относительно силы деформации пружины получено уравнение устойчивости сошника, в котором коэффициенты T_1 и T_2 характеризуют его инерционные и демпфирующие свойства

$$kf(t) = T_1^2 \Delta\ddot{\beta} + T_2 \dot{\beta} + \Delta\beta, \quad (13)$$

где
$$T_1^2 = -\frac{I}{J}; \quad T_2 = -\frac{B}{J}; \quad k = \frac{H}{J}, \quad (14)$$

$$A = R_{д0} l_R \sin \beta_0 - G_{сош} l_G \sin \beta_0 \Delta\beta - F_{сд0} l_R \cos \beta_0 + F_{Nдд} l_R (\sin \beta_0 \cos \alpha_{д} - \cos \beta_0 \sin \alpha_{д}) + F_{Nxx} l_R \sin \beta_0, \quad (15)$$

$$B = - \left(\begin{array}{c} \left| \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \right| l_R \cos \beta_0 - \left| \frac{\partial f_2}{\partial \beta} \right| l_R \sin \beta_0 - \left| \frac{\partial f_3}{\partial \beta} \right| l_R \cos(\beta_0 - \alpha_{д}) - \\ - \left| \frac{\partial f_3}{\partial \beta} \right| l_{д} - \left| \frac{\partial f_4}{\partial \beta} \right| (l_R \cos \beta_0 + l_x) \end{array} \right), \quad (16)$$

$$D = A + Cl_{пп}^2 - \left(\begin{array}{c} \left| \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \right| l_R \cos \beta_0 + \left| \frac{\partial f_2}{\partial \beta} \right| l_R \sin \beta_0 + \\ + \left| \frac{\partial f_3}{\partial \beta} \right| l_R \cos(\beta_0 - \alpha_{д}) + \left| \frac{\partial f_3}{\partial \beta} \right| l_{д} + \\ + \left| \frac{\partial f_4}{\partial \beta} \right| \Delta\beta (l_R \cos \beta_0 + l_x) \end{array} \right), \quad (17)$$

$$Hf(t) = - \left(\begin{array}{c} f_1(t) l_R \cos \beta_0 + f_2(t) l_R \sin \beta_0 + f_3(t) l_R \times \\ \times \cos(\beta_0 - \alpha_{д}) + f_3(t) l_{д} + f_4(t) (l_R \cos \beta_0 + l_x) \end{array} \right), \quad (18)$$

где $Hf(t)$ – обобщённая функция внешних возмущений.

Предположив, что силы, действующие на сошник, могут быть приведены к четырем силам: тяжести сошника с поводками G , тяговому усилию P , сопротивлению почвы R и реакции почвы на прижимную пластину $R_{п}$, получим

$$\bar{G} + \bar{P} + \bar{R} + \bar{R}_{п} = 0, \quad (19)$$

В силу изменчивости действующих на сошник внешних сил его равновесие непрерывно нарушается. В этой связи оценку устойчивости хода сошника можно дать лишь на основе анализа динамики движения сошника в почве.

В качестве обобщённых параметров эквивалентной механической системы «почва–сошник–механизм заглубления сошника» (П-С-МЗС) примем коэффициенты реологической модели почвы: коэффициент k_1 (рисунок 8) пропорциональности изменения позиционной силы R ; коэффициент k_2 пропорциональности изменения позиционной силы $R_{д}$ (равный коэффициенту жёсткости прижимной пластины); коэффициент демпфирования c_1 . Также учтены обобщённая масса систе-

мы m_c , коэффициент жёсткости эквивалентного упругого элемента k_4 , приведённый к центру масс сошника.

Изменение вертикальной составляющей реакции почвы зависит и от скорости перемещения сошника. Действие почвы на сошник дополняется демпфирующей силой, характеризующейся коэффициентом демпфирования $c_1 = 0,26 \dots 0,32$ Н/м.

Коэффициенты k_1, k_4 определяются из выражений

$$k_1 = \frac{R_d}{h}, \quad k_4 = k_3 \cdot \frac{l_{np}}{l_k},$$

где l_k – координата точки приложения эквивалентного упругого элемента, м.

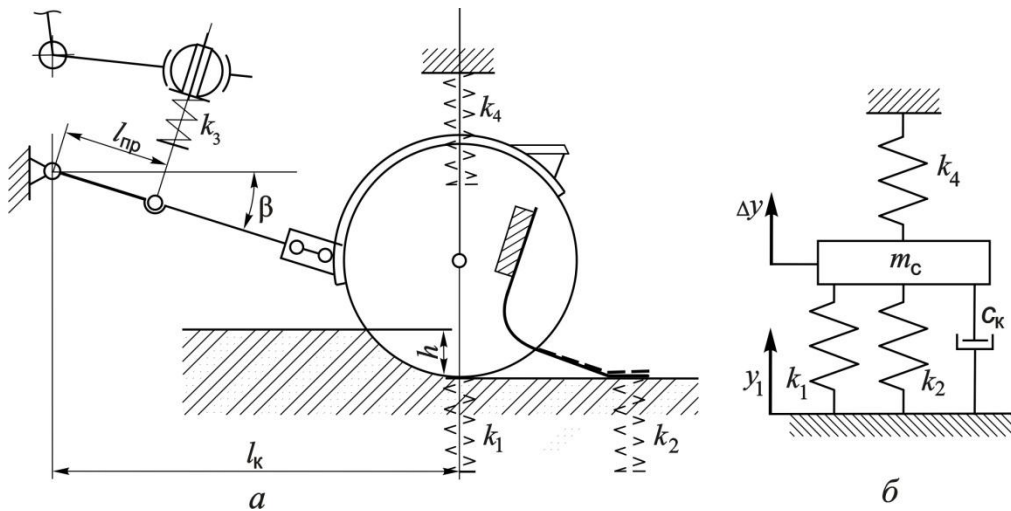


Рисунок 8 – Схема замены параметров МЗС и возмущений со стороны почвы обобщёнными параметрами системы П–С–МЗС: а – схема МЗС; б – эквивалентная механическая система с обобщёнными параметрами

Для обеспечения равномерности глубины заделки семян сошники зерновых сеялок должны копировать неровности с амплитудой 20–50 мм и шагом 1,4–3,0 м, поскольку неровности с шагом менее 20 мм снимаются сошником, а неровности с шагом более 3 м копируются сеялкой. Приняв, что возмущения от неровностей поверхности почвы периодические, получим выражение для определения относительного перемещения сошника

$$\Delta y = \frac{(m_0 \omega - k_4) y_1 \sin(\omega t - \psi)}{m_0 \sqrt{(k_1 + k_2 + k_4 - m_0 \omega^2)^2 + (c_1 \omega)^2}}, \quad (20)$$

где y_1 – амплитуда неровностей поверхности почвы, м; $y_1 = 20 \dots 50$ мм; ω – угловая частота возмущающих воздействий неровностей почвы, c^{-1} ; t – момент времени, с, для которого определяется отклонение.

$$\omega = \frac{2\pi v}{l}, \quad (21)$$

где l – шаг неровностей почвы, м; $l = 1,4 \dots 3,0$ м.

$$\psi = \arctg \frac{c_1 \omega}{k_1 + k_2 + k_4 - m_0 \omega^2}, \quad (22)$$

В процессе посева регламентируется максимальное значение отклонения от глубины посева семян. Учитывая, что максимальное значение функции $f(t) = \sin(\omega t - \psi)$ равно единице, выражение (20) запишем в виде

$$\Delta y_{\max} = \frac{(m_0 \omega - k_4) y_1}{m_0 \sqrt{(k_1 + k_2 + k_4 - m_0 \omega^2)^2 + (c_1 \omega)^2}}, \quad (23)$$

По полученным зависимостям составлены номограммы для определения амплитуды колебаний сошника у (рисунок 9).

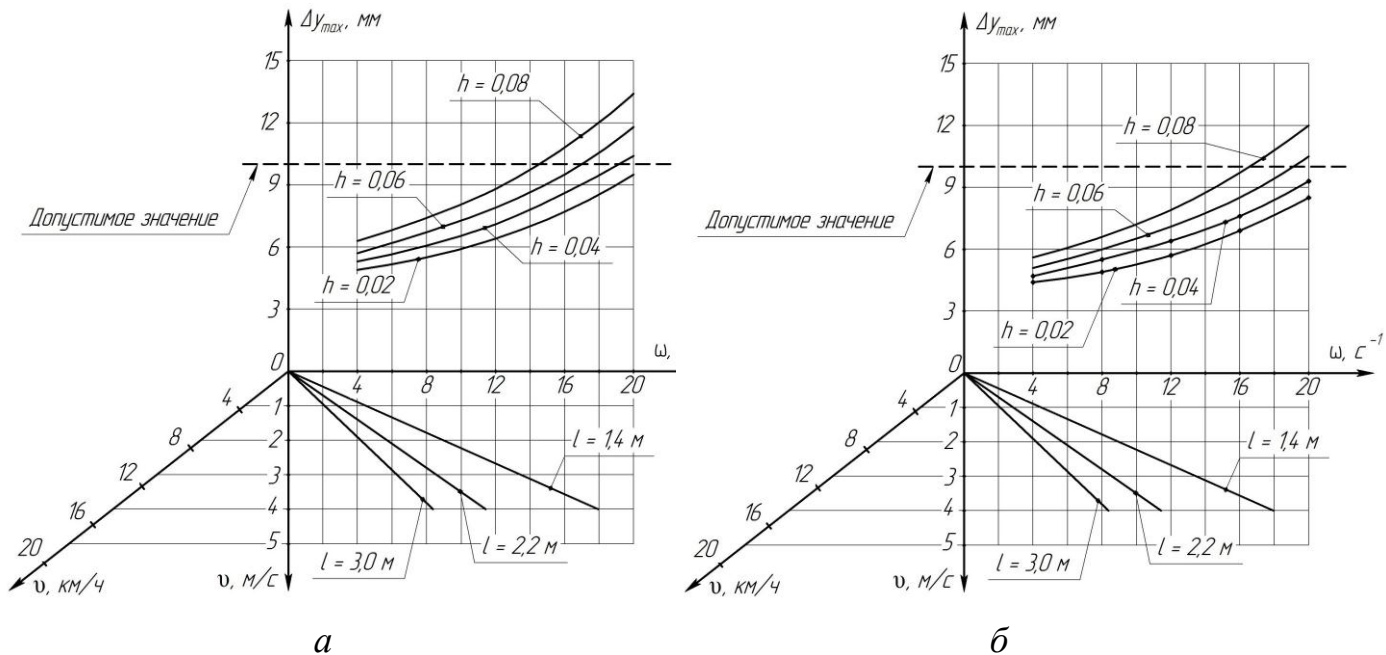


Рисунок 9 – Номограммы для определения неравномерности заделки семян сошниками: *а* – серийным; *б* – усовершенствованным

Анализ выражений позволяет заключить, что прижимная пластина на сошнике способствует уменьшению его колебаний и неравномерности заделки семян на 5,7...16,5 %.

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» представлены программа, общие и частные методики исследований, а также описаны приборы и оборудование, которые применялись в ходе этих исследований. Описана лабораторная установка для определения сопротивления перемещению серийного и экспериментального сошников. Представлены методики определения коэффициентов и углов трения различных трущихся поверхностей, определения параметров упругих элементов сошников, а также конструкция установки для определения физико-механических свойств почвы.

В четвёртом разделе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты проведённых исследований. Установлено, что с увеличением глубины высева семян от 3 до 8 см сопротивление перемещению серийного сошника увеличивается в среднем на 31,9 %, усовершенствованного на 35,8 %.

Для обоснования конструктивных параметров усовершенствованного сошника исследованы коэффициенты трения различных типов трущихся поверхностей: сталь–почва, сталь–песок, семенной материал–сталь, семенной материал–поверхность почвы.

Определена жёсткость упругих элементов сошника: прижимной пластины $k_2 = 7500...7600$ Н/м; цилиндрической пружины $k_3 = 4500...4600$ Н/м.

Лабораторными исследованиями определялся прирост плотности дна бороздки. Влажность почвы в среднем составляла 18 %. Получены зависимости деформации дна бороздки и прироста плотности от действующего давления.

Как указывают В. Т. Фогель и Н. А. Ламан, плотность дна бороздки должна быть не менее $1,3$ г/см³, а семена при этом должны закрываться сверху рыхлой почвой плотностью до $1,1$ г/см³. Потребный прирост плотности дна бороздки в $0,2...0,3$ г/см³ обеспечивается давлением прижимной пластины $0,035$ Н/мм².

Для подтверждения теоретических и экспериментальных результатов проведены полевые исследования зерновой сеялки СЗ-3,6 с усовершенствованными сошниками (рисунок 10) на опытном поле Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана г. Уральска Западно-Казахстанской области Республики Казахстан.

Исследования динамики всходов и полевой всхожести семян яровой пшеницы показали, что всходы после усовершенствованного сошника при одинаковых условиях (норма высева 130 кг/га или 2,8 млн. шт. семян/га) появляются на два дня раньше всходов после серийного сошника, а полевая всхожесть достигает своего максимального значения через 6 дней и составляет в среднем 74,38 %, против 8 дней и 70,35 % для серийного сошника. Полевая всхожесть семян на учётной площадке в 1 м², засеянной усовершенствованными сошниками, составила 206–210 растений, а серийными сошниками – 195–199 растений (рисунок 11, б).

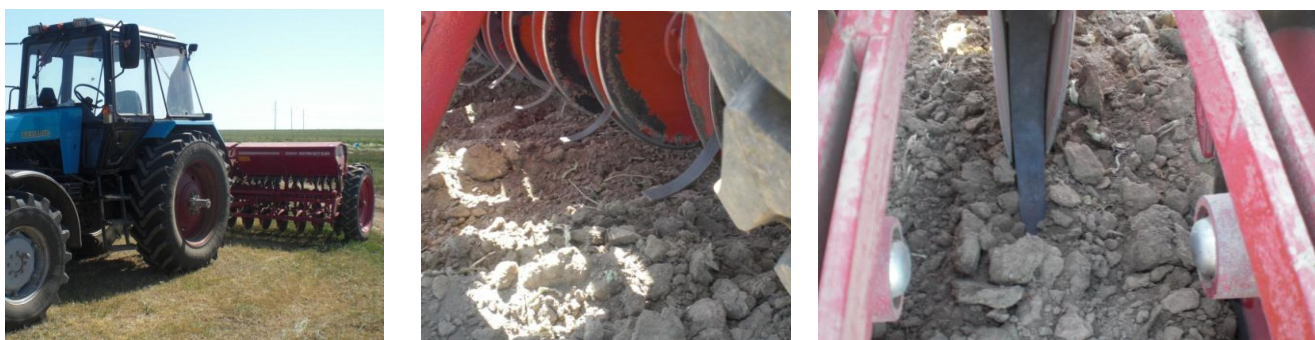
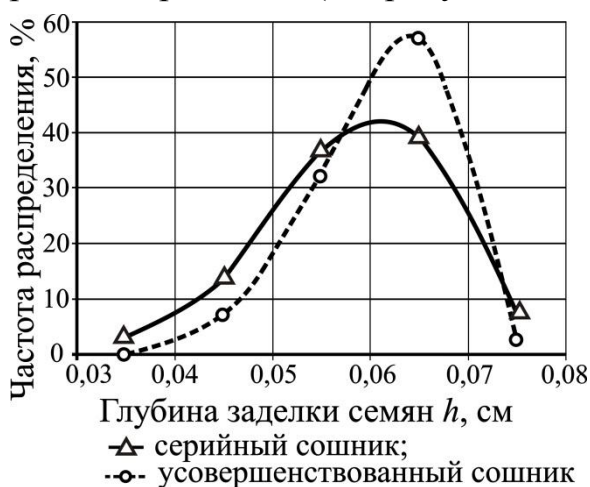
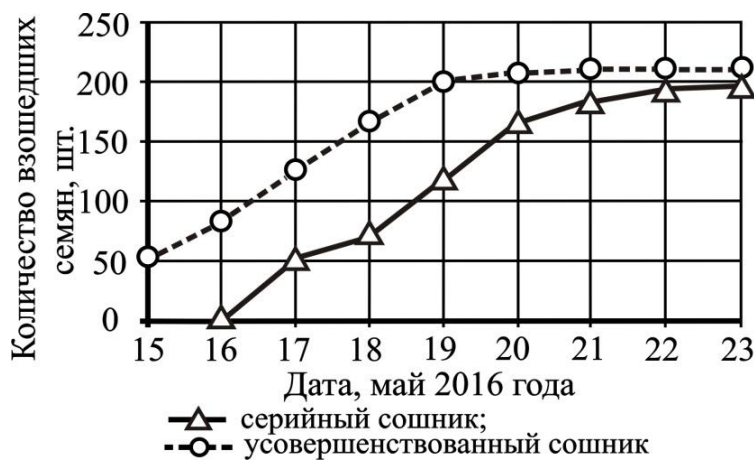


Рисунок 10 – Полевые исследования посевного агрегата МТЗ-1221+ СЗ-3,6

Глубина заделки семян, посеянных усовершенствованными сошниками, составила 4,5...7,5 см, а серийными сошниками – 3,3...7,9 см. При этом частота распределения семян в интервале агротехнического допуска 6 ± 1 см составила 89 % для усовершенствованного сошника и 76 % – для серийного сошника (рисунок 11, а). За счёт плотного контакта улучшаются условия прорастания семян, повышается дружность появления всходов, что благоприятно влияет на дальнейшее развитие растений (см. рисунок 11, б).



а



б

Рисунок 11 – Показатели динамики всходов: а – равномерность заделки семян по глубине; б – динамика всходов семян яровой пшеницы

Для определения биологической урожайности перед уборкой проводили структурный анализ по диагонали опытного участка с учётных площадок. На делянках с посевами экспериментальной сеялкой биологическая урожайность яровой пшеницы составила 14,6 ц/га против 13,3 ц/га для серийной сеялки. Полученные результаты свидетельствуют о повышении урожайности зерна на 8,9 %.

В пятом разделе «Технико-экономическая оценка использования новой технологии заделки семян в почву и предлагаемого заделывающего органа» представлен расчёт экономической эффективности использования усовершенствованных сошников при посеве зерновых культур. Капитальные вложения для переоборудования одной серийной сеялки составляют 3654 руб. Экономический эффект от использования предлагаемых разработок составит 910 руб./га при годовом экономическом эффекте 196973 руб.

Заключение

1. Анализ способов и средств посева зерновых культур, разработанная классификация рабочих органов сеялок позволили выявить перспективное направление совершенствования двухдисковых сошников, теоретически обосновать параметры опытного образца сошника, обеспечивающего равномерность укладки семян по глубине и уплотнение дна бороздки, которые подтверждены теоретическими и экспериментальными результатами и технико-экономической эффективностью.

2. На основе анализа литературных источников, связанных с вопросами технологического процесса посева и совершенствования заделывающих рабочих органов, установлено, что на повышение урожайности зерновых культур значительное влияние оказывает плотность дна бороздки, равномерность распределения семян по глубине и закрытие их сверху слоем неуплотнённой почвы. Из классификации заделывающих рабочих органов посевных машин предложена новая конструктивно-технологическая схема дискового сошника, подтвержденная патентами РФ № 2435356 и РК №№ 30296, 30401,

обеспечивающая равномерность укладки семян по глубине и повышающая плотность дна бороздки.

3. Теоретическими исследованиями рабочего процесса посева получены аналитические зависимости плотности почвы, создаваемой прижимной пластиной, ее геометрических параметров, тягового сопротивления усовершенствованного сошника, деформации пружины поводка, устойчивости хода сошника и определения неравномерности заделки семян по глубине. Толщина пластины составляет 2,5 мм при радиусе кривизны сечения пластины $r = 52 \dots 57$ мм. Произведен расчет тягового сопротивления серийного и усовершенствованного сошников и сеялки в целом. Получено выражение деформации пружины поводка. Разработаны номограммы для определения неравномерности заделки семян по глубине.

4. По результатам определения физико-механических свойств почвы, семян и экспериментальных исследований установлено: угол наклона прижимной пластины относительно дна бороздки $\psi = 22^\circ$, жёсткость прижимной пластины 7500...7600 Н/м, обеспечивающей оптимальную плотность дна бороздки, равную 1,1–1,3 г/см³, тяговое сопротивление усовершенствованного сошника при глубине хода от 0,03 до 0,08 м составляет 49,08–137,05 Н, суммарное сопротивление прижимных пластин сошников сеялки составляет 190 Н. Оснащение двухдискового сошника прижимной пластиной уменьшает неравномерность заделки семян зерновых культур на 5,7...16,5 %.

5. Производственные испытания позволили установить эффективность зерновой сеялки с усовершенствованными сошниками при посеве зерновых культур: повышение полевой всхожести приводит к сокращению срока появления всходов на 2 дня, в интервале глубины заделки семян 0,05...0,07 м размещено 89 % общего количества семян против 76 % семян, заделанных серийным сошником, что даёт прибавку урожая на 8...10 %. Годовой экономический эффект от внедрения зерновой сеялки СЗ-3,6 с предлагаемыми сошниками при нормативной годовой загрузке составляет 196973 руб.

Рекомендации производству

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании сошников зерновых сеялок для посева в условиях пониженной влажности почвы, а также при оснащении прижимными пластинами сошников сеялок, находящихся в эксплуатации.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейшем целесообразно совершенствовать конструкцию предлагаемого технического средства – прижимной пластины – путём выполнения её в виде составного устройства, состоящего из несущей основы и сменных накладок с низким коэффициентом трения; оснастить пластину ограничителем поперечного смещения в междисковом пространстве.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Ивженко, С. А. Совершенствование двухдискового сошника / С. А. Ивженко, А. Е. Сарсенов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 6 – С. 60–62.

2. Павлов, И. М. Повышение эффективности дисковых сошников [Текст] / И. М. Павлов, А. В. Перетяцько, А. Е. Сарсенов // Аграрный научный журнал, 2016. – № 12. – С. 58–60.

3. Павлов, И.М. К определению геометрических параметров прижимной пластины [Текст] / И. М. Павлов, А. В. Русинов, А. Е. Сарсенов // Научное обозрение, 2017. – № 1. – С. 25–30.

4. Павлов, И. М. Тяговое сопротивление сошника [Текст] / И. М. Павлов, А. Е. Сарсенов // Аграрный научный журнал, 2017. – № 2. – С. 64–66.

В патентах:

5. Инновационный пат. № 30296 Республика Казахстан, МПК А 01 С7/20, Сошник [Текст] / А. Е. Сарсенов, И. М. Павлов, А. В. Перетяцько, В. Х. Мухамеджанов, М. К. Бралиев; заявитель и патентообладатель Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана» № 2014/1714.1; заявл. 18.11.2014; опубл. 15.09.2015, Бюл. № 9. – 5 с.: ил.

6. Инновационный пат. № 30401 Республика Казахстан, МПК А 01 С7/20, Сошник [Текст] / А. Е. Сарсенов, И. М. Павлов, А. В. Перетяцько, В. Х. Мухамеджанов, М. К. Бралиев; заявитель и патентообладатель Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана» № 2014/1715.1; заявл. 18.11.2014; опубл. 15.10.2015. Бюл. № 10. – 5 с.: ил.

7. Пат. № 2435356 Российская Федерация, МПК А 01 С7/20. Сошник [Текст] / Ивженко С. А., Перетяцько А. В., Сарсенов А. Е.; заявитель и патентообладатель Федер. госуд. образов. учрежд. высш. проф. образов. Саратов. госуд. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова. – № 2010125627/13; заявл. 22.06.10; опубл. 10.12.11. Бюл. № 34. – 7 с.: ил.

В материалах конференций и семинаров и в других изданиях:

8. Павлов, И. М. Обоснование параметров экспериментального сошника [Текст] / И. М. Павлов, В. Х. Мухамеджанов, А. Е. Сарсенов // В кн.: Наука и образование XXI века: опыт и перспективы: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию Конституции Республики Казахстан и Ассамблеи народа Казахстана. Ч. II. – Уральск, 2015. – С. 335–339.

9. Павлов, И. М. Совершенствование двухдискового сошника. [Текст] / И. М. Павлов, В. Х. Мухамеджанов, А. Е. Сарсенов // В кн.: Наука и образование XXI века: опыт и перспективы: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию Конституции Республики Казахстан и Ассамблеи народа Казахстана. Ч. II. – Уральск, 2015. – С. 331–334.

10. Сарсенов, А. Е. Определение параметров упругих элементов сошника [Текст] / А. Е. Сарсенов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Сб. науч. матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2016. – С. 104–107.

11. Сарсенов, А. Е. Совершенствование двухдискового сошника [Текст] / А. Е. Сарсенов // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития посвящ. 70-и летию факультета механизации сельского хоз-ва : Сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф. – Душанбе, 2017. – С. 450–455.

12. Павлов, И. М. Сошник [Текст] / И. М. Павлов, А. В. Перетяцько, А. Е. Сарсенов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2016. – № 4. – С. 28–29.

Подписано в печать 20.04.2017. Заказ №
Формат 60×90/22. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.
Типография Саратовского государственного аграрного университета им. Н. И. Вавилова