



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И МОЛОДЕЖИ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

**Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Республики Крым
«Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»
(ГБОУВО РК КИПУ имени Февзи Якубова)**

СОБОЛЕВСКИЙ ВИТАЛИЙ ИВАНОВИЧ

Номинация: Технические науки

**РАЗРАБОТКА РАБОЧЕГО ОРГАНА КОМБИНИРОВАННОГО
СТЕРНЕВОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ
ПОЧВЫ НА БАЗЕ КСА-3,8 «СВАРОГ»**

Научная работа для участия
в конкурсе на лучшую научно-
исследовательскую работу обучающихся
Государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования Республики Крым
«Крымский инженерно-педагогический
университет имени Февзи Якубова»
студента _третьего_ курса, инженерно-
технологического факультета

Симферополь, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ И КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТЕРНЕВЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ.....	7
1.1 Современные тенденции эволюции технологий противоэрозионной ресурсосберегающей обработки стерневого фона почвы.....	7
1.2 Анализ современного состояния исследований в области теоретических, конструктивных и экспериментальных предпосылок создания и совершенствования рабочих органов для стерневой обработки почвы.....	10
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА КОМБИНИРОВАННОГО СТЕРНЕВОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ.....	15
2.1 Теоретическое обоснование параметров долота рабочего органа стерневого агрегата.....	15
2.2 Описание технологического процесса работы рабочего органа стерневого агрегата.....	18
ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	20
3.1 Программа исследований.....	22
3.2 Условия проведения исследований.....	22
3.3 Установки, приборы и оборудование, используемые для проведения исследований.....	23
ГЛАВА 4. Результаты экспериментальных исследований и технико- экономическая эффективность модернизированных рабочих органов для комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8 «СВАРОГ».....	31

4.1 Результаты лабораторных исследований	31
4.2 Результаты полевых исследований	39
4.3 Расчет технико-экономической эффективности модернизированных рабочих органов для комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8 «СВАРОГ»	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Патенты по теме научной работы.....	52

ВВЕДЕНИЕ

Минимальная технология обработки почвы под возделывание зерновых культур в варианте раздельного сева получила наибольшее применение в южных регионах Российской Федерации. Возникновение значительного разрыва между уборкой зерновых с их последующим посевом обуславливает применение данной технологии, основная цель которой является избежание высыхания и затвердевания обрабатываемого почвенного пласта.

В соответствии с предъявляемыми агротехническими требованиями, стерневые культиваторы наиболее применимы для использования данной технологии. Основным назначением стерневых культиваторов заключается в обработке почвы, имеющей на своей поверхности стерню, остающуюся после прохода комбайна. Как показывает анализ современных технологий очень часто для обработки почвы перед посевом и ухода за парами применяются именно стерневые культиваторы. Рабочие органы этих культиваторов выполняют подрезание почвенного пласта с одновременным рыхлением на глубину заделки семян [1]. Глубина обработки почвы по данной технологии достигает 14...16 см.

Анализ работ зарубежных авторов [2, 3] показал, что параметры почвообрабатывающих рабочих органов могут быть оптимизированы с помощью математических моделей. Многокритериальный анализ литературных источников показывает, что существующие теоретические и экспериментальные исследования в области модернизации технических средств для предпосевной обработки почвы, на примере рабочих органов культиваторов, рассматриваются в таких направлениях, как [4–6]:

- разработка рациональных параметров дизайна форм и рабочих поверхностей;
- определение энергетических показателей для расчета на прочность;
- снижение энергоёмкости рыхления, повышение производительности и качественных показателей;
- обеспечение равномерности глубины обработки почвы.

Как показывает анализ изучения существующих конструкций рабочих органов почвообрабатывающих технических средств и теоретических исследований в данной области, при обосновании рациональных значений геометрической формы для передней режущей кромки либо рабочей поверхности плоскорежущей лапы, в основном, во многих случаях используется теория трехгранного клина.

При обосновании формы существующих плоскорежущих рабочих органов, с использованием методов теоретической механики не всегда возможно в достаточной степени полно объяснить и учесть все физические явления, которые возникают в почве при воздействии на неё рабочего органа.

Поэтому, данное направление исследований в области земледельческой механики требует своего дальнейшего развития.

Как следствие, возникает потребность в разработке более эффективных рабочих органов для стерневых культиваторов, которые должны функционировать в обрабатываемой среде и отвечать требованиям прогрессивных технологий обработки почвы.

Решение задач по дальнейшему усовершенствованию дизайна форм поверхностей рабочих органов для технических средств безотвальной обработки почвы предлагается на основе использования земледельческой механики, которая является технической дисциплиной, изучающей законы теоретической механики применительно к анализу принципов работы сельскохозяйственных технических средств, позволяющей аналитически описать форму и параметры их рабочих органов [1].

Цель работы – повышение производительности и качественных показателей поверхностной обработки почвы в зоне рискованного земледелия путем обоснования параметров рабочего органа комбинированного стерневого агрегата, обеспечивающего ресурсосбережение, повышение производительности и качественных показателей предпосевной обработки почвы.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие

задачи:

1. Провести анализ современных технологий противоэрозионной поверхностной обработки стерневого фона почвы, а также процессов работы рабочих органов для данной технологии, с указанием недостатков и вариантов их улучшения;
2. Теоретически обосновать рациональные параметры рабочих органов для поверхностной обработки стерневого фона почвы;
3. Разработать методику проведения экспериментов при исследовании рациональных параметров рабочих органов для поверхностной обработки стерневого фона почвы;
4. Экспериментально определить влияние параметров работы рабочих органов на энергетические качественные показатели стерневой обработки почвы;
5. Провести полевые испытания рабочих органов для стерневой обработки почвы и определить их технико-экономическую эффективность.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ И КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТЕРНЕВЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

1.1 Современные тенденции эволюции технологий противоэрозионной ресурсосберегающей обработки стерневого фона почвы

Как показывает современный анализ развития интенсификации процессов обработки почвы, на примере Республики Крым, основой являлось использование зональных систем в существующей системе земледелия. Значительная часть посевных площадей региона представляла собой своеобразный полигон, на котором проводились исследования и внедрялись как индустриальные, так и подобные интенсивные технологии для растениеводческого комплекса. На современном этапе развития земледелия в растениеводческом комплексе Республики Крым наибольшее распространение получили две технологии – минимальная малоэнергоемкая и технология адаптивно-ландшафтного земледелия.

Главной особенностью минимальной малоэнергоемкой технологии являлась глубина рыхления, которая не превышала глубину заделки семян. Основоположителем данной технологии был Овсинский И.Е.

Основными направлениями технологий минимальной обработки почвы mini-till являются:

- отказ от классической вспашки с оборотом пласта и применение безотвального глубокого рыхления в качестве основной обработки;
- замена сплошной обработки на полосную (чизельная обработка) или ярусно-полосную (плоскорезно-щелевая обработка);
- глубина основной безотвальной обработки (глубокого рыхления) должна составлять не менее 20 см, а поверхностного рыхления – 8–10 см;
- совмещение сплошной культивации с посевом;
- совмещение поверхностного полосного рыхления с посевом;

– начальный этап внедрения рядового прямого посева (нулевая обработка) [7].

Ключевым элементом в минимальной обработке почвы являлось формирование почвозащитного слоя из измельченных растительных остатков, который надежно защищает поверхность почвы от солнца, мороза, а также удерживает влагу. Новая минимальная технология поверхностной обработки почвы с элементами глубокого рыхления решала целый комплекс задач: сохранение плодородия черноземов; повышение засухоустойчивости; избавление от вредителей и сорных растений. Фактически это был переход к адаптивным технологиям, приспособленным к почвенно-климатическим условиям конкретного региона.

Внедрение технологий адаптивно-ландшафтного земледелия, при которых максимально учитываются природные особенности ландшафтов, основные потребности полевых культур, рационально используется ресурсный потенциал, а перед использованием каждого земельного участка проводится его агроэкологическая оценка [8]. Преимуществами данной системы являются сохранение и улучшение природных агроландшафтов; восстановление подвергнувшихся деградации земель. Ключевым элементом адаптивно-ландшафтной системы является использование рациональной почвозащитной организации территорий, куда входят рекомендуемые системы севооборотов, удобрений и способов обработки почв.

Природоохранная и почвозащитная направленность технологии дает возможность снизить эрозионные процессы в почве до приемлемых значений, минимизировать загрязнение почв биогенными веществами, замедлить деградацию плодородных почв.

Подводя итог анализу, раздела современные тенденции эволюции технологий противозерозионной ресурсосберегающей обработки стерневого фона почвы можно сделать следующие предварительные выводы и предложения:

- 1) Почвозащитные технологии возделывания полевых культур за счет

противоэрозионной и энергосберегающей направленности должны обеспечивать благоприятные условия для роста и развития культурных растений: накопление влаги в почве, достаточную противоэрозионную устойчивость [8].

2) Анализ процесса развития технологий обработки почвы показал, что существенное влияние на их усовершенствование оказывает состояние почвы. Её основные качественные показатели продуктивности, биологической активности и экологической безопасности возрастают только при условии адаптации механизированных технологий обработки почвы к естественным процессам, протекающим в почвенной среде.

3) Почва является живой экосистемой, в которую можно проникнуть, не навредив ей при условии, что элемент проникновения к этой системе адаптирован. Структура почвы, это каркас, в котором происходят физические и химические процессы. Нарушение его структуры изменяет естество основных биологических законов. Это наглядно показывают интенсивные технологии земледелия.

4) Учеными установлено, что на угнетение биологической активности в почве и как следствие снижения урожайности существенное влияние оказывает плотность почвы и её фракционный состав [9]. При естественной плотности $1,1-1,3 \cdot 10^3$ кг/м почвы корневая система растений развивается естественно. Однако, применение классических технологий обработки почвы повышало плотность до $1,7 \cdot 10^3$ кг/м, которую корневая система растений не способна преодолеть. Этим и объясняется переход к минимальным технологиям, при которых глубина обработки ограничена глубиной заделки семян.

5) Почвенные комки диаметром от 1 до 30 мм считаются наиболее агротехнически ценными. При такой структуре почвы возможно образование оптимальной плотности в поверхностном слое, что уменьшает влагопотери за счет испарения, обеспечивает оптимальный тепловой режим и регулирует деятельность полезных почвенных микроорганизмов [10, 11].

1.2 Анализ современного состояния исследований в области теоретических, конструктивных и экспериментальных предпосылок создания и совершенствования рабочих органов для стерневой обработки почвы

В настоящее время в почворесурсосберегающем земледелии за рубежом наибольшее распространение получили два типа почвообрабатывающих машин: дисковые бороны, работающие на глубину 5–12 см, и диско-лаповые агрегаты, глубина рыхления которых лежит в пределах 15–25 см, при этом в обоих вариантах создается мульчирующий защитный слой на обработанной поверхности поля [12].

К лаповым агрегатам в технологиях поверхностных обработок почвы без оборота пласта в основном относят применение различные типов рабочих органов культиваторов.

Как показывает анализ к основным типам культиваторов, используемых в почвозащитных технологиях поверхностной обработки почвы, относятся:

- культиваторы-плоскорезы с широкозахватными лапами на жестких стойках;
- тяжелые культиваторы с плоскорезными лапами на жестких или S-образных упругих стойках;
- культиваторы с упругими S-образными стойками и лаповыми или долотообразными рабочими органами [13].

Недостатком данных почвообрабатывающих культиваторов является их высокая металлоёмкость и большие трудозатраты, необходимые при их переналадке.

Интенсификация технологического процесса механизации предпосевной обработки почвы может развиваться при условии применения технических средств, которые основаны на новых принципах воздействия их рабочих органов на обрабатываемый почвенный пласт. Для этого дополнительное изучение подобных органов является значимым как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Как показывает анализ, для предпосевной обработки почвы используются почвообрабатывающие орудия, характеризующиеся значительным разнообразием своих конструкций, которые существенно разнятся как по принципу действия, так и по конструктивным особенностям.

Существующие классификации в связи с их ограниченными признаками не дают возможности решить все задачи, по выбору сочетания рациональных значений признаков, адаптированных для синтеза, анализа и последующего перспективного проектирования новых элементов конструкций стерневых культиваторов.

Таким условиям может соответствовать система классификации стерневых культиваторов по значительному количеству независимых признаков. Для этого стерневые культиваторы необходимо рассматривать в виде системы. При этом она должна состоять из совокупности конструктивных, технологических и признаков, которые взаимосвязаны друг с другом, как представлено на рисунке 1.1. Разработанная система классификации стерневых культиваторов по конструктивным и технологическим признакам дает возможность выбирать тип стерневого агрегата в зависимости от способа агрегатирования, вида крепления стоек к раме, формы стоек, типа рабочих органов и финишной системы – применительно к конструктивным признакам, а также технологическим, где рассматриваются основные агротехнологические операции и основные агротребования.

При анализе изучаются все конструкционные элементы построения стерневого агрегата и его рабочие органы, относящиеся к какому, либо из типов, рекомендуемых в соответствии с агротехнологической операцией. Затем анализируются крепления к раме, формы и типы рабочих органов, используемые при выборе оптимальной конструкции стерневого агрегата.

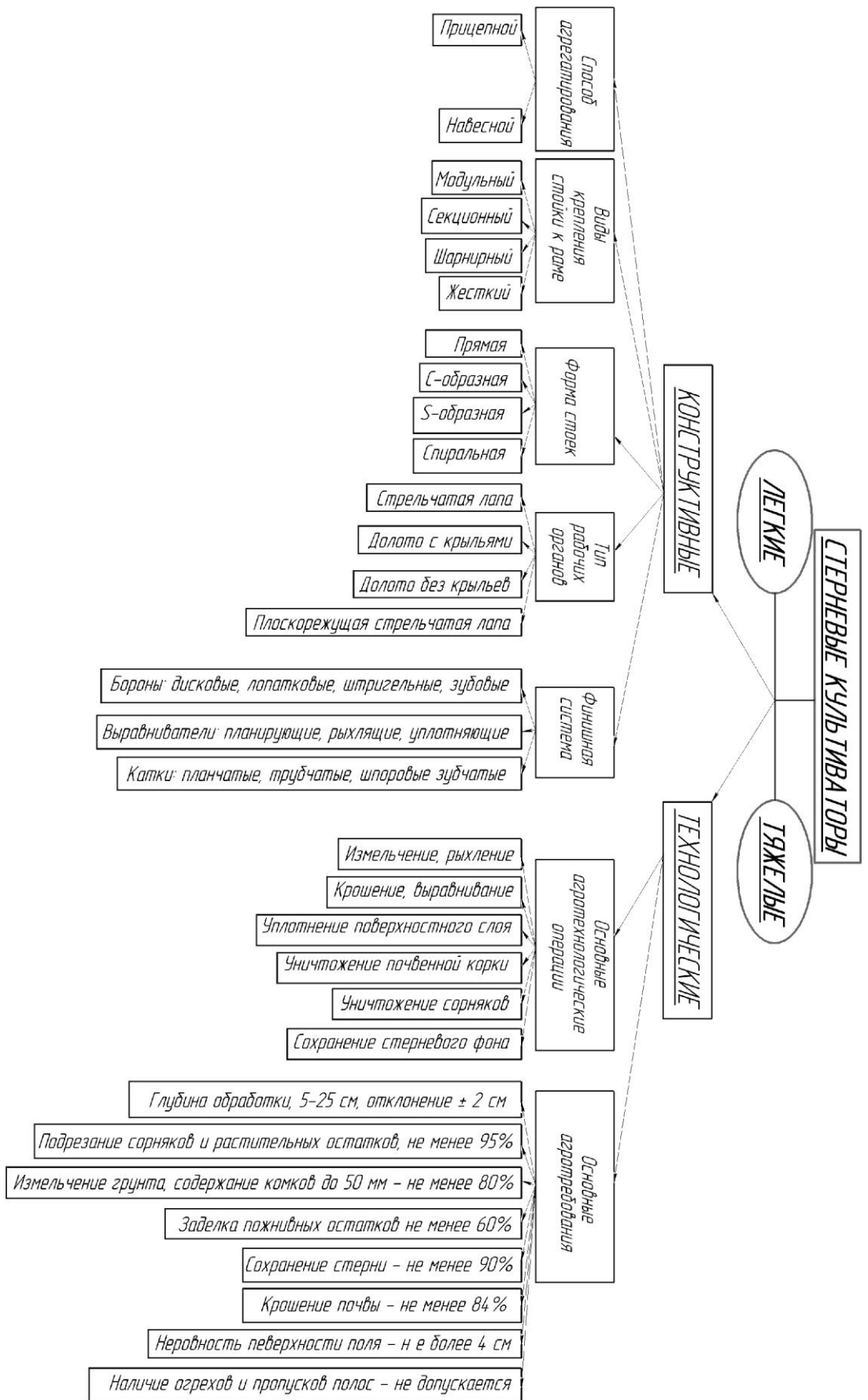


Рисунок 1.1 Система классификации стерневых культиваторов.

Анализ зарубежных научных работ по обоснованию конструктивных параметров рабочих органов стерневых культиваторов [14, 15] показал, что их оптимизации можно достигнуть с помощью математических моделей.

Основные направления совершенствования рабочих органов стерневых культиваторов, следующие [16–19]:

- 1) теоретическое обоснование оптимальных параметров рабочих поверхностей элементов органов культиваторов;
- 2) определение их энергетических показателей для расчета на прочность;
- 3) обеспечение равномерности глубины обработки почвы;
- 4) снижение энергоёмкости рыхления, повышение производительности и качественных показателей.

В.П. Горячкин первым разработал основы теории рабочих органов культиваторов в своих трудах по земледельческой механике [20]. Особое значение ученый придаёт скользящему перемещению лезвия рабочего органа по разрезаемому материалу, что даёт лучший эффект.

Последующее развитие самой теории рассмотрено в работах таких ученых, как: А.В. Желиговский [21], Г.Н. Синеоков, И.М. Панов [22], А.Ф. Кононенко [23], И.В. Волков [24], и рядом других.

По данным экспериментальных исследований [25,26] зубчатые почвообрабатывающие рабочие органы имеют меньшую энергоёмкость обработки почвы за счет того, что процесс резания характеризуется повышенным скольжением и интенсивным скалыванием. При этом не происходит уплотнение дна борозды.

Г.Э. Свирским [27] было установлено, что существенного снижения тягового сопротивления можно достичь за счет: снижения сил трения частиц почвы при взаимодействии с рабочей поверхностью почвообрабатывающих рабочих органов; увеличения интенсивности вибрационного воздействия; снижения рабочих скоростей.

Однако при обработке почвы применение подобных теоретических и экспериментальных решений ограничено за счет малой изученности основных

физико-механических свойств почвы, которые давали бы возможность многокритериального технического обоснования конструкций технических средств почвообработки.

Выводы по главе 1.

1. Основным направлением совершенствования конструкций рабочих органов стерневых агрегатов является их адаптационная технологичность – способность выполнять одним рабочим органом несколько операций с сохранением основных биологических законов функционирования экосистемы почвы.

2. Основным содержанием рассматриваемой научной проблемы является сохранение надёжности биологической системы почвенного покрова путём адаптирования рабочего органа стерневой обработки почвы с определёнными геометрическими формами и динамикой движения.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА КОМБИНИРОВАННОГО СТЕРНЕВОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

2.1 Теоретическое обоснование параметров долота рабочего органа стерневого агрегата

Для обоснования параметров долота используются исходные данные, такие как:

- 1) глубина обработки – a ;
- 2) угол внешнего трения (трение почвы о рабочий орган) – φ ;
- 3) угол внутреннего трения (трение почвы о почву) – φ_0 .

В основе предлагаемой теории лежит графоаналитический метод, включающий в себя элементы математических расчетов и графических построений. Параллельно оси OX (рисунок 2.1) строим вспомогательные линии 2-2 и 3-3. На линии 2-2 отмечаем точку C и под углом $\alpha_{max} = 90^\circ - \varphi$ [28] к координатной оси OX строим линию 4-4. Затем, через эту же точку, проводим перпендикуляр 5-5 к координатной оси OX . С учетом заданной высоты рабочего органа h_n отмечаем месторасположение точек K' и O . Проводим касательную 4-4 к участку логарифмической спирали в средней точке C профиля рабочей поверхности. Строим еще две касательные через точки K' и K к оси OX [28]. Угол установки лапы α_l будет определен по формуле (2.1):

$$\alpha_1 = \alpha_{min} = 45^\circ - \frac{\varphi_0}{2} \quad (2.1)$$

где α_{min} – минимальный угол установки лапы.

Используя известную зависимость $Q = 90^\circ - (\varphi + \alpha_{\min})$ [9] находим угол Q , который ограничивает участок логарифмической спирали для подрезающей части долота лапы.

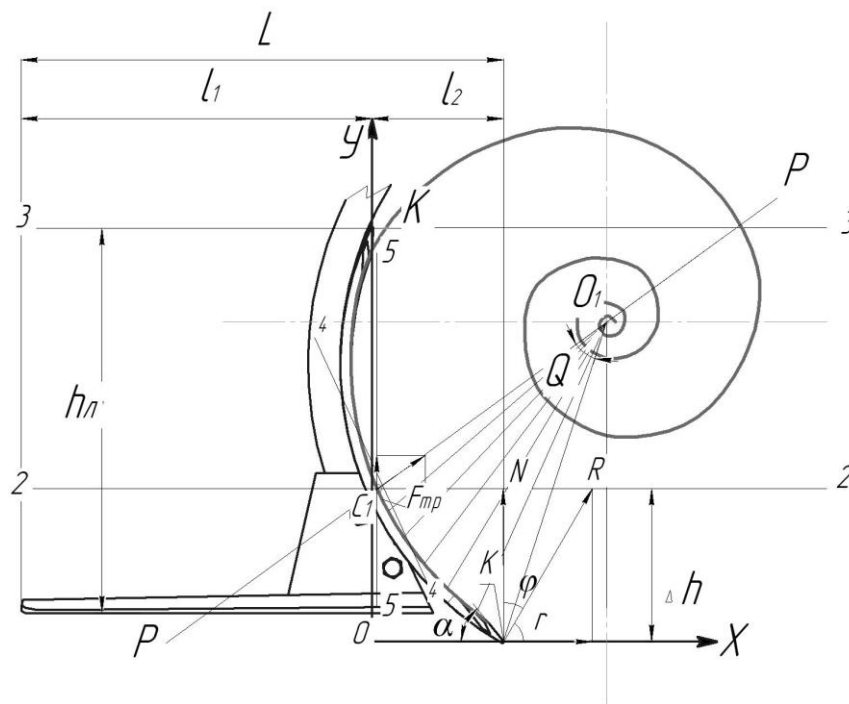


Рисунок 2.1 Форма профиля долота рабочего органа стерневого агрегата.

Начальное значение радиус-вектора ρ_0 определим по формуле (2.2) А.С. Кушнарера, А.В. Баукова и В.М. Найдыш [28]:

$$\rho_0 = \frac{a}{e^{Q \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos Q}}, \quad (2.2)$$

где Q – угол, ограничивающий логарифмическую часть профиля долота стерневой лапы, рад;

φ – угол внешнего трения, град.;

a – глубина хода рабочего органа, см.

Выполним построение отрезка, равного начальному радиус-вектору ρ_0 , в обе стороны от точки C . В результате получим точку O_1 , которая будет являться

полюсом логарифмической спирали, лежащей в основе нашего подрезающего профиля долота. Далее опускаем через полюс O_1 перпендикуляр к оси OX . Заданный угол Q разобьем на 12 частей с интервалом 5° .

Используя известное уравнение [9, 29] определим значения промежуточных радиусов-векторов по формуле (2.3):

$$\rho_i = \rho_0 \cdot e^{Q_i \cdot \text{tg} \varphi_0}, \quad (2.3)$$

где ρ_i – значение текущего радиус-вектора, см;

ρ_0 – значение начального радиус-вектора, см;

Q_i – значение текущего полярного угла, рад;

φ_0 – угол внутреннего трения, град.

Дальнейшее построение заключается в откладывании от полюса O_1 на соответствующих лучах значений соответствующих им радиусов-векторов ρ_i и соединение полученных точек плавной кривой для получения подрезающего профиля долота стерневого агрегата.

Для построения второй части профиля рабочего органа проводится вертикальная прямая, которая является продолжением стойки плоскорежущей лапы.

Определяется высота долота рабочего органа h_l по формуле (2.4):

$$h_l = K'O = \frac{2 \cdot \text{tg} \alpha \cdot a}{e^{Q_i \cdot \text{tg} \varphi_0}}. \quad (2.4)$$

Высота Δh груди долота рабочего органа вычисляется по формуле (2.5):

$$\Delta h = \frac{h_l}{2} = \frac{2 \cdot \text{tg} \alpha \cdot a}{e^{Q_i \cdot \text{tg} \varphi_0}} \div 2 = \frac{a \cdot \text{tg} \alpha}{e^{Q_i \cdot \text{tg} \varphi_0}}. \quad (2.5)$$

Затем находится величина вылета L носка относительно стойки по уравнению (2.6):

$$L = l_1 + l_2 = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot a \cdot \operatorname{tg} Q}{e^{Q_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}} + \frac{2 \cdot a}{e^{Q_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}} = \frac{2 \cdot a}{e^{Q_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}} \left(\frac{\operatorname{tg} Q \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1} + 1 \right) \quad (2.6)$$

Такое выполнение формы рабочей поверхности долота рабочего органа создает качественное рыхление почвы, исключает уплотнение почвы лапой и обеспечивает её деформацию с минимальными энергозатратами благодаря плавному обтеканию и сходу почвы с плоскорежущей лапы.

2.2 Описание технологического процесса работы рабочего органа стерневого агрегата

Рабочий орган стерневого агрегата для поверхностной обработки почвы, содержит С-образную стойку 1 с лапой, кронштейн 2 и пружинно-винтовой механизм 3 показанный на рисунке 2.2 [30].

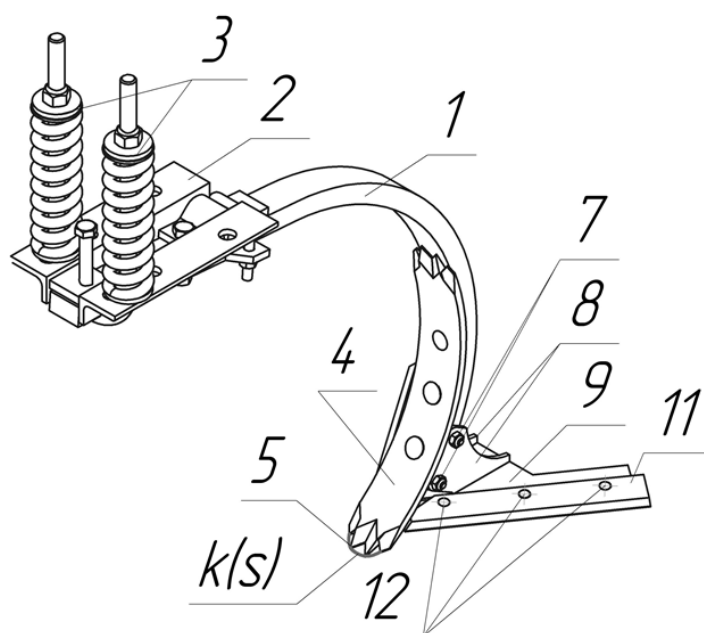


Рисунок 2.2 Общий вид рабочего органа рабочего органа стерневого агрегата.

Лапа образована долотом 4 режущая кромка 5, которой выполнена по

форме кривой эвольвенты окружности $k(s)$, при этом за долотом 4 на С-образной стойке 1 смонтирована плоскорежущая лапа 6 в виде равнобедренной трапеции (рисунок 2.3), по средством двух болтовых соединений 7 и двух косынок 8 жестко закрепленных на рабочей поверхности 9 плоскорежущей лапы 6.

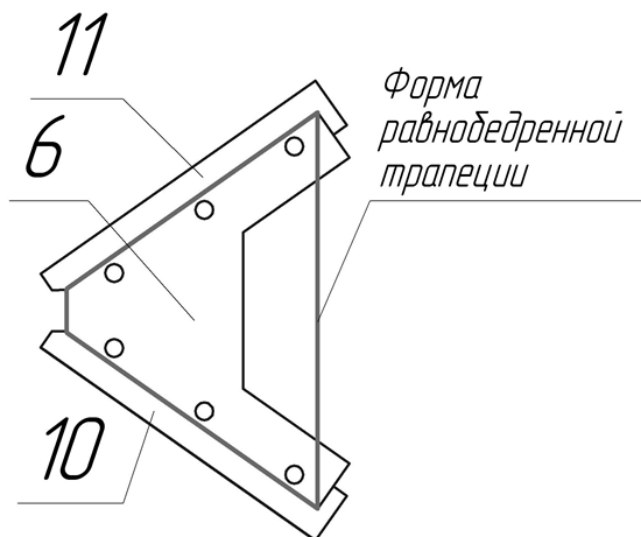


Рисунок 2.3 Плоскорежущая лапа в виде равнобедренной трапеции, вид снизу.

На лапе 6 дополнительно закреплены правый 10 и левый 11 плоскорежущие ножи посредством трех заклепок 12 на каждый из ножей представленных на рисунке 24.

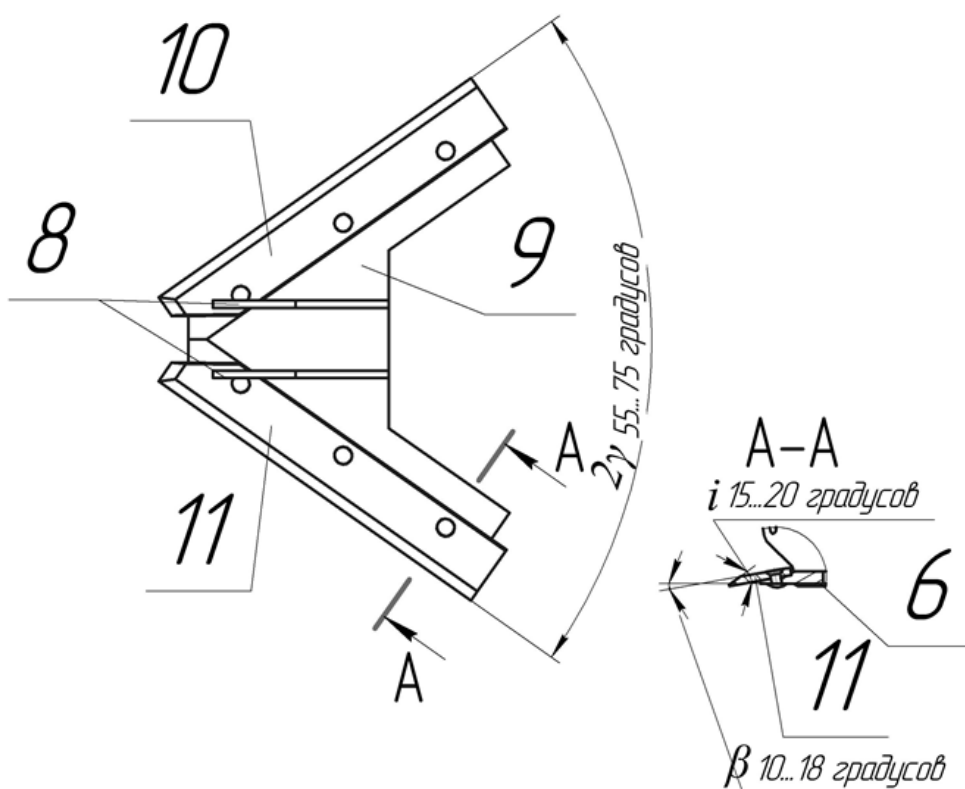


Рисунок 2.4 Плоскорежущая лапа в виде равнобедренной трапеции, вид сверху.

Рабочий орган стерневого агрегата для поверхностной обработки почвы работает следующим образом. При движении рабочего органа стерневого агрегата лапа образована долотом 4 режущая кромка 5, которой выполнена по форме кривой эвольвенты окружности $k(s)$ приводящей к снижению коэффициента трения почвы о металл, что заглубляясь в почву обеспечивает равномерность её хода по глубине обработки и снижает лобового сопротивления долота при его внедрении. При этом правый 10 и левый 11 плоскорежущие ножи, закрепленные посредством заклепок 12 на плоскорежущей лапе 6 в виде равнобедренной трапеции формируют равномерную глубину обработки за счет отсутствия изгибающих моментов плоскорежущих ножей 10 и 11 жестко закрепленных на рабочей поверхности 9 плоскорежущей лапы 6. В процессе рыхления почвы правый 10 и левый 11 плоскорежущие ножи, закрепленные под углом раствора лапы 2γ находящимся в диапазоне от 55 до 75 градусов, выполняют её качественную работу без залипания и скольжения вдоль ножей различных сорных растений. В процессе рыхления почвы правый 10 и левый 11 плоскорежущие ножи, имеющие угол крошения β находящийся в диапазоне от 10 до 18 градусов, а угол заострения ножей i находящийся в диапазоне от 15 до 20 градусов, создают качественную плоскорежущую степень производимого лапой 6 рыхления почвы. При возникновении значительного износа на рабочей поверхности 9 плоскорежущей лапы 6 производится полная замена только правого 10 и (либо) левого 11 плоскорежущих ножей посредством трех заклепок 12 на каждом из ножей, что приводит к повышению служебных характеристик всей лапы 6, а именно увеличению её срока службы.

Выводы по главе 2.

1. Предложенное аналитическое обоснование с применением графоаналитического метода позволяет на основе исходных данных (глубины

хода рабочих органов a ; угла внешнего трения φ ; угла внутреннего трения φ_0 ; твёрдости и деформационного показателя почвы) рассчитывать параметры рабочего органа с режущо-крошащим долотом: профиль рабочей поверхности лапы; высоту лапы h_l по формуле (2.4); величину вылета носка лапы L относительно стойки по уравнению (2.6); высоту режущо-крошащего долота лапы; волнистую режущую кромку боковых крыльев.

2. Использование предложенного рабочего органа стерневого агрегата для поверхностной обработки почвы позволит повысить служебные характеристики лапы и сохранить качество рыхления почвы.

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований

Программа исследований предусматривала обоснование параметров рабочих органов для стерневой обработки почвы для подтверждения основной теории, а также для проверки показателей, которые характеризуют взаимодействие проектируемых рабочих органов с почвенной средой, определение технологических режимов взаимодействия рабочих органов для стерневой обработки почвы с почвенным пластом, состав которого идентичен почвам Крымского региона, построение графиков и математических моделей при проведении экспериментов стерневой обработки почвы на различных скоростях движения, изучение зависимости тягового усилия и амплитуды автоколебания рабочих органов агрегата для стерневой обработки почвы от его глубины обработки и скорости движения, сравнение экспериментальных рабочих органов для стерневой обработки почвы с аналогом – культиватором КПЭ-3,8ВВВВ и определение их технико-экономической эффективности.

3.2 Условия проведения исследований

Лабораторные исследования проводились в почвенном канале Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского». Тип почвы – чернозем южный карбонатный. Влажность почвы при испытаниях составила $W = 15\text{--}19\%$, твердость $p = 136\text{--}211\text{ Н/см}^2$, а деформационный показатель $\nu = 1,66 \cdot 10^{-7}\text{--}2,61 \cdot 10^{-7}\text{ м}^2/\text{Н}$.

Полевые исследования новых рабочих органов на базе КСА-3,8 «Сварог» (рисунок 3.1) проводились в отделении полевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» на опытных полях, которые расположены в селе Клепинино,

Красногвардейского района, Республики Крым. Испытания проводились на площади 100 га при поверхностной обработке паров и безотвальной обработке стерни зерновых культур на южном мицелярно-карбонатном черноземе. Во время проведения экспериментов влажность почвы W в поле находилась в пределах 14,85–18,38 %; твердость p – 150,59–226,78 Н/см²; деформационный показатель почвы ν – $1,46 \cdot 10^{-7}$ – $1,87 \cdot 10^{-7}$ м²/Н.



Рисунок 3.1 Общий вид КСА-3,8 «Сварог» с исследуемыми рабочими органами на полевых испытаниях

3.3 Установки, приборы и оборудование, используемые для проведения исследований

Проведение экспериментальных исследований в условиях лаборатории выполнялось на базе института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в специализированной аудитории 3а/5Г. В данной аудитории расположен почвенный канал со следующими габаритными размерами 2500x2000 мм. Данный канал обладает прямоугольным сечением, а также заполнен почвой (рисунок 3.2).

По краям канала расположены рельсы, по которым перемещается тележка с исследуемым экспериментальным рабочим органом стерневого агрегата.

Привод осуществляется от лебедки посредством электродвигателя. Испытуемый экспериментальный рабочий орган стерневого агрегата крепится к подвижной раме тележки хомутами.



а)



б)

Рисунок 3.2 Общий вид канала с исследуемыми рабочими органами:

а) серийный рабочий органа КПЭ-3,8ВВВ; б) экспериментальный рабочий орган стерневого агрегата

Подвижная рама тележки имеет направляющие и винты (1) по двум сторонам, благодаря винтам осуществляется регулировка по глубине, на которой нами предусматривается проведение опытов.

Для создания требуемой плотности пласта в почвенном канале используется специальный водоналивной каток (рисунок 3.3). Также почва увлажняется специальным приспособлением до требуемой влажности, если это было необходимо. Привод лебедки осуществляется за счёт коробки переменных передач от электродвигателя с фазным ротором. Скорость перемещения тележки нами может регулироваться путем переключения передач, а также с помощью изменения электрического сопротивления в цепи обмотки ротора за счёт жидкостного реостата.



Рисунок 3.3 Процесс прикатывания почвы водоналивным катком

Регистрация экспериментальных значений (рисунок 3.4) осуществлялась с помощью ноутбука Lenovo ideapad 310-15 IAP – 1, тензостанции ZET 017-T8 – 2, анализатора ZET017-U2 – 3, тензодатчика TS21-T2 – 4, а также двух пьезоэлектрических акселерометров BC 110 – 5.

Определение тягового усилия находилось с помощью тензометрического датчика TS21-T2.

При начале движения тележки датчик фиксировал сигнал, а затем передавал его на анализатор ZET017-U2 и тензостанцию ZET 017-T8, и далее на ноутбук Lenovo ideapad 310-15 IAP. На ноутбуке установлена специальная программа, которая считывает информацию и записывает её в виде протокола. Данные с протокола переносились в программу, где в последующем уже строились графики изменения тягового усилия, а также графики вибрационных колебаний экспериментального рабочего органа стерневого агрегата.



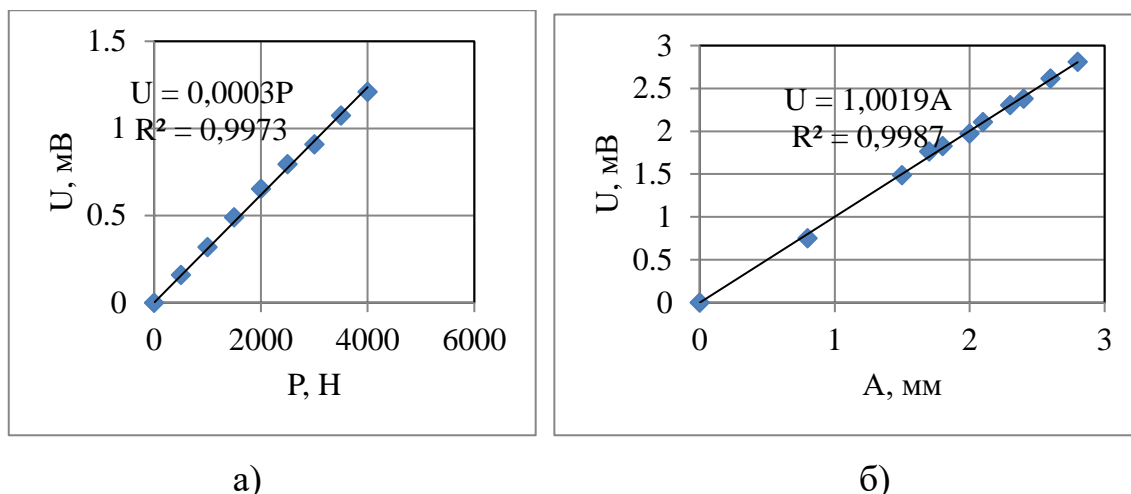


Рисунок 3.6 График тарировки:

а) тензометрического датчика TS21-T2; б) датчика вибрации BC110

Для определения влажности почвы, как в почвенном канале так в полевых условиях, применялся электронный цифровой измеритель TP 46908 (рисунок 3.7).

Для определения твердости и деформационного показателя почвы использовался модернизированный прибор, на базе твердомера Ю.Ю. Ревякина, который оборудован инденторами полусферической формы с радиусами от 0,02 м до 0,038 м (рисунок 3.8).

Для определения действительной скорости движения экспериментального рабочего органа использовался механический секундомер (ГОСТ 5072–79Е), который измерял время движения тележки с прямолинейным направлением движения протяженностью 10 метров. При этом точность секундомера составляет 0,2 с.



а)



б)

Рисунок 3.7 Общий вид электронного цифрового измерителя ТР 46908:

а) измеритель в почвенном канале б) измеритель на стерневом фоне

Ширина и глубина развальных борозд, высота и ширина гребней, а также равномерность хода по глубине экспериментальных рабочих органов агрегата определялась с применением линейки, имеющей шкалу деления 0,1 см (ГОСТ 17435-72 Линейки чертежные. Технические условия.

Для определения качества крошения почвы использовался специальный металлический ящик без дна с размерами 0,5×0,5×0,4 м. Для обеспечения качественной выборки соответствующих фракций почвенных агрегатов после прохода рабочего органа, ящик под давлением заглублялся в почву в зоне прохода на глубину рыхления рабочего органа.

Решётный классификатор, имеющий такие фракции, как: – менее 25 мм; – от 25 до 50 мм; – от 50 до 100 мм; – более 100 мм, использовался для выделения отобранных фракций почвы путем сепарации.



а)



б)

Рисунок 3.8 Общий вид модернизированного прибора, на базе твердомера Ю.Ю. Ревякина: а) модернизированный прибор в почвенном канале
б) модернизированный прибор на стерневом фоне

Вес отобранных почвенных фракций определялся на настольных электронных весах DS-788 (ГОСТ 29329-92 «Весы для статического взвешивания. Общие технические требования»), относящихся к среднему классу точности от 1,0 до 3,0 г.

Для определения размерных фракций почвенных комков использовался штангенциркуль 0-200 мм INGCO HVC01200, вид ШЦ-I (ГОСТ 166-89 Штангенциркули. Технические условия).

Видеозапись и фотофиксация взаимодействия исследуемых рабочих органов с почвенными агрегатами осуществлялась с помощью веб-камеры Logitech HD Webcam C310.

При проведении полевых экспериментов регистрация получаемых экспериментальных значений проводилась с помощью динамометра ДПУ-10-2 ГОСТ 13837-68 (свидетельство о поверке № С-КК/11-10-2021/105975959), съёмной камеры Ultra HD 4K, портативное зарядное устройство CNE-CSPB26GO (рисунок 3.9). Основным показателем являлось определение значения тягового

сопротивления на шкале динамометра ДПУ-10-2, которое фиксировалось съёмной камерой с интервалом в 1 секунду.



Рисунок 3.9 Приборы для регистрации полученных экспериментальных значений тягового сопротивления: а) общий вид динамометра ДПУ-10-2 – 1, камеры Ultra HD 4K 2, портативного зарядного устройства CNE-CSPB26GO – 3; б) приборы в полевых условиях

Конструктивное усовершенствование измерительных приборов и установок для своевременного и качественного выполнения экспериментальных исследований рабочих органов стержневого агрегата КСА-3.8 «Сварог» выполнялось на базе лаборатории изготовления и апробации опытных образцов оборудования отдела механизации производства и разработки новых образцов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма».

ГЛАВА 4. Результаты экспериментальных исследований и технико-экономическая эффективность модернизированных рабочих органов для комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8 «СВАРОГ»

4.1 Результаты лабораторных исследований

На основе программы и методики проведения лабораторных исследований, приведенных в главе 3, получены результаты экспериментальных значений тягового сопротивления экспериментальных рабочих органов стерневого агрегата в сравнении с серийным КПЭ-3,8ВВВ.

Основные неварьируемые факторы, такие как влажность W , твердость T и деформационный показатель ν почвы, при проведении лабораторных исследований, представлены в таблице 4.1. Замеры этих значений характеризуют имитацию почвы повышенной плотности, которая формируется в процессе отсутствия длительной её обработки при образовании на её поверхности стерневого фона после прохода зерноуборочных комбайнов.

Таблица 4.1

Основные неварьируемые факторы почвы

Глубина обработки h , м	Значение показателя		
	Влажность W , %	Твердость T , Н/см ²	Деформационный показатель ν , м ² /Н
0,05	16,2–19,1	188,59–196,04	$1,95 \cdot 10^{-7}$ – $3,2 \cdot 10^{-7}$
0,10	16,8–18,9	187,35–194,54	$1,95 \cdot 10^{-7}$ – $3,1 \cdot 10^{-7}$
0,15	16,4–19,0	188,34–196,12	$1,96 \cdot 10^{-7}$ – $3,1 \cdot 10^{-7}$

В ходе исследований экспериментальных рабочих органов стерневого агрегата и серийных рабочих органов агрегата КПЭ-3,8ВВВ получены значения таких показателей, как частота k , амплитуда A вибрации и тяговое сопротивление P . Данные значения представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Результаты исследования параметров вибрации и тягового сопротивления серийного рабочего органа КПЭ-3,8ВВВ и экспериментального рабочего органа (скорость 1,33 м/с)

Наименование показателя	Значение показателя						Повышение интенсивности и вибрации рабочего органа в сравнении с серийным, раз		Снижение тягового сопротивления экспериментального рабочего органа в сравнении с серийным, %				
	Серийный рабочий орган КПЭ-3,8ВВВ			Экспериментальный рабочий орган									
Глубина обработки почвы h , м	Частота вибрации k , Гц	Амплитуда вибрации A , мм	Тяговое сопротивление P , Н	Частота вибрации k , Гц	Амплитуда вибрации A , мм	Тяговое сопротивление P , Н	по частоте	по амплитуде					
	0,05	0,76	0,37	847,45	1,05	2,44				676,61	1,38	6,59	20,15
	0,10	1,03	0,17	1039,4	1,15	0,51				842,59	1,12	3,00	18,93
	0,15	1,07	0,23	1286,53	1,18	0,46				1071,9	1,10	2,00	16,68

Из анализа таблицы 4.2 видно, что экспериментальный рабочий орган имеет меньшее тяговое сопротивление при обработке почвенного пласта на 16,68–20,15 %, а также повышение интенсивности вибрации в сравнении с серийным рабочим органом 1,1–1,38 раз.

После проведения экспериментальных проходов и обработки данных с помощью программы Microsoft Excel построены графики зависимости тягового сопротивления от глубины обработки, а также частоты колебаний от глубины обработки (рисунки 4.1, 4.2).

Из таблицы 4.2 и графиков на рисунках 4.1 и 4.2 видно, что исследуемый экспериментальный рабочий орган стерневого агрегата имеет большую частоту и амплитуду колебаний, соответственно в 1,1–1,4 раза и 2–6,5 раз, по сравнению с серийным аналогом. Это обеспечивает меньшее тяговое сопротивление

рабочего органа стерневого агрегата при обработке почвенного пласта в среднем на 16,7–20,1 %.

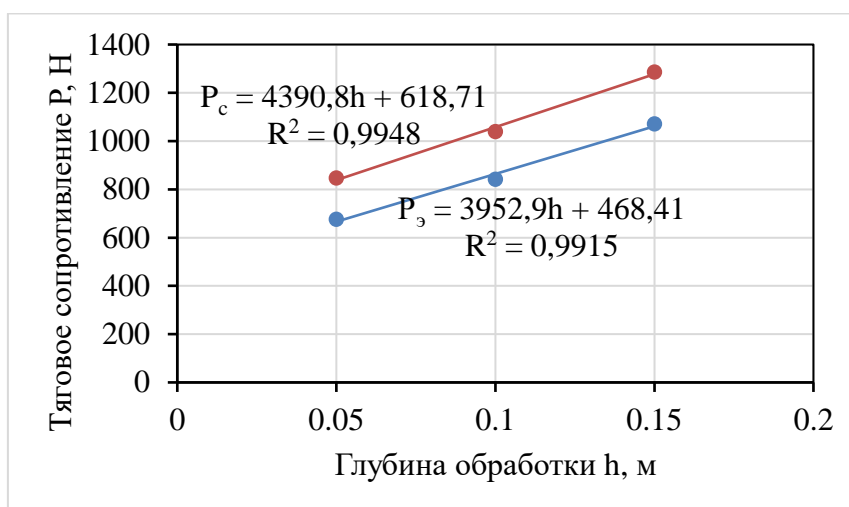


Рисунок 4.1 – График зависимости тягового сопротивления P от глубины обработки h при скорости движения V = 1,33 м/с

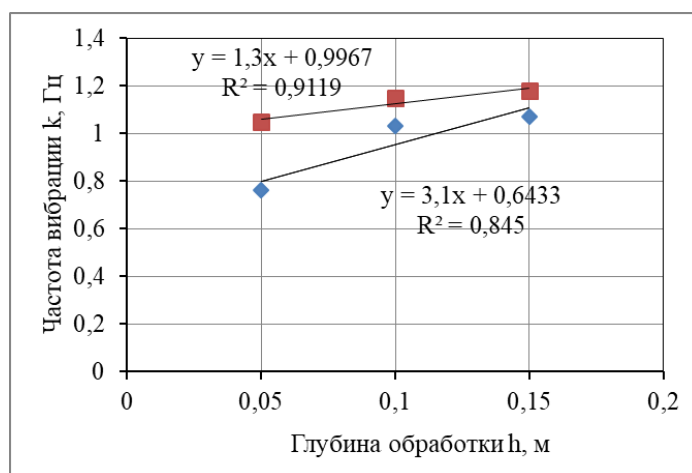


Рисунок 4.2 – График зависимости частоты колебаний k от глубины обработки h при скорости движения V = 1,33 м/с

Полученные в процессе проведения экспериментов уравнения регрессии в кодированных переменных имеют вид (4.1) и (4.2):

– для экспериментального рабочего органа стерневого агрегата:

$$Y_{\text{э}} = 811,88 + 176,86X_1 + 62,47X_2 + 20,79X_1X_2; \quad (4.1)$$

– для серийного рабочего органа КПЭ-3,8ВВВ:

$$Y_C = 986,02 + 212,41X_1 + 80,97X_2 + 7,13X_1X_2. \quad (4.2)$$

Оценка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показала, что для уравнения (4.1) значимыми являются коэффициенты, удовлетворяющие условию $|b_i| \geq 59,41$, а для уравнения (4.2) – соответственно $|b_i| \geq 48,78$.

При проверке полученных математических моделей (4.1) и (4.2) по критерию Кохрена его расчетное значение G_p оказалось меньше табличного $G_T = 0,76$ и составило, соответственно, 0,54 и 0,43, а это означает воспроизводимость полученных результатов.

Проверка математических моделей (4.1) и (4.2) по критерию Фишера подтвердила их адекватность, поскольку расчётные значения F_p составили соответственно 0,95 и 0,17, что меньше табличного значения $F_T = 7,71$.

Уравнения регрессии в натуральных значениях переменных, с учётом оценки значимости коэффициентов, имеют вид (4.3) и (4.4):

– для экспериментального рабочего органа стерневого агрегата:

$$P_{\text{Э}} = 255,77 + 3537,2h + 202,29v; \quad (4.3)$$

– для серийного рабочего органа КПЭ-3,8ВВВ:

$$P_C = 318,29 + 4248,2h + 242,91v. \quad (4.4)$$

Проанализировав полученные уравнения регрессии (4.1)–(4.4) и их коэффициенты, можно сделать вывод, что с увеличением глубины и скорости обработки почвы тяговое сопротивление исследуемых рабочих органов возрастает. При этом глубина обработки оказывает более существенное влияние по сравнению со скоростью. Из полученных уравнений регрессии и построенных графиков видно, что тяговое сопротивление рабочих органов стерневого агрегата с увеличением глубины и скорости обработки почвы растёт менее

интенсивно по сравнению с серийным рабочим органом КПЭ-3,8ВВВ, что объясняется более интенсивной вибрацией первого. Наибольшее различие по тяговому сопротивлению (20 %) исследуемые рабочие органы имеют при глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление рабочих органов стерневого агрегата на 19 % меньше, чем серийного рабочего органа КПЭ-3,8ВВВ.

Рабочий орган стерневого культиватора в процессе рыхления, образует колебательные и одновременно ударные эффекты в обрабатываемом почвенном пласте. Они создают большое число плоскостей скалывания (рисунок 4.4).

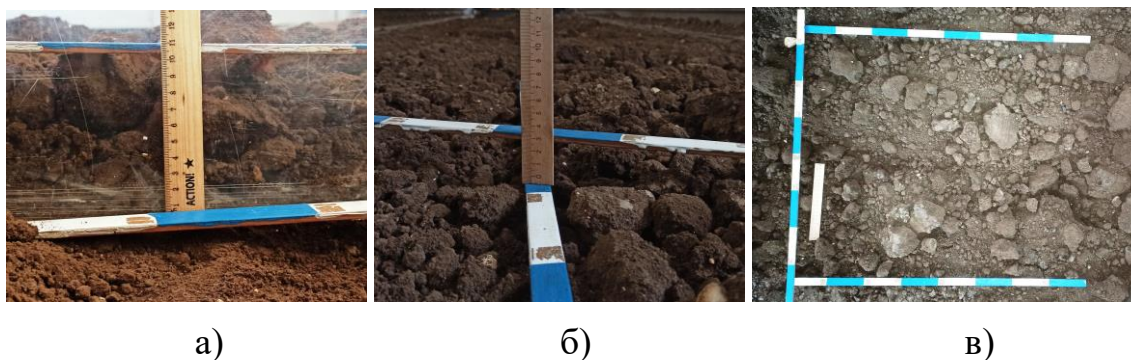


Рисунок 4.4 – Лабораторные исследования экспериментального рабочего органа стерневого культиватора в почвенном канале:

- а), б) исследования неравномерности перемещения по глубине хода и гребнистости почвенного пласта (глубина 0,1 м);
- в) пласт почвы, который был прокультивирован после прохода исследуемого рабочего органа (глубина 0,1 м)

Это приводит к улучшению процесса самоочищения рабочих элементов зубчатых поверхностей боковых крыльев и долота.

Полученный агрегатный состав обработанной почвы после прохода серийного рабочего органа КПЭ-3,8ВВВ представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Агрегатный состав обработанной почвы при глубине 0,15 м серийным рабочим органом КПЭ-3,8ВВ

Рабочая скорость агрегата, км/ч	Фракции, мм								Общая масса пробы	
	Свыше 100		50–100		25–50		Менее 25			
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
8	0,763	8,8	1,258	14,5	1,639	18,9	5,014	57,8	8,674	100
10	0,617	6,9	1,038	11,6	1,745	19,5	5,553	60,1	8,953	100
12	0,530	5,5	0,897	9,3	1,938	20,1	6,281	62,5	9,646	100

Анализ данных таблицы 4.3 показал, что средние значения количества комков размером свыше 100 мм составляют 5,5–8,8 % от общей массы пробы, а количество комков размером менее 25 мм составляет 57,8–62,5 % от общей массы пробы.

Полученный агрегатный состав обработанной почвы после прохода экспериментального рабочего органа КСА-3,8 «Сварог» представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Агрегатный состав обработанной почвы при глубине 0,15 м экспериментальным рабочим органом КСА-3,8 «Сварог»

Рабочая скорость агрегата, м/с	Фракции, мм								Общая масса пробы	
	Свыше 100		50–100		25–50		Менее 25			
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
0,5										
1,1	0,538	6,3	0,820	9,6	1,760	20,6	5,400	63,5	8,518	100
1,6	0,441	5,0	0,681	7,7	1,883	21,1	5,886	66,2	8,891	100
Среднее значение	0,362	3,9	0,565	6,0	2,015	22,0	6,416	68,1	9,358	100

Анализ данных таблицы 4.4 показал, что средние значения количества комков размером свыше 100 мм составляют 3,9–6,3 % от общей массы пробы, а количество комков размером менее 25 мм составляет 63,5–68,1 % от общей массы пробы.

При анализе таблицы 4.5 сделан вывод, что в процессе работы, за счет оптимальной формы долота, крыльев и наличия маятникового ударника экспериментальный рабочий орган создает скользящие колебания с ударным воздействием в почвенном пласте, оказывающим положительный эффект на процесс его крошения.

Таблица 4.5

Сравнительные значения показателей крошения и глыбистости почвы серийным рабочим органом КПЭ-3,8ВВ и экспериментальным рабочим органом КСА-3,8 «Сварог» при глубине обработки 0,15 м

Рабочая скорость агрегата, м/с	Степень крошения, %		Глыбистость, %	
	Серийный рабочий орган КПЭ-3,8ВВ	Экспериментальный рабочий орган КСА-3,8 «Сварог»	Серийный рабочий орган КПЭ-3,8ВВ	Экспериментальный рабочий орган КСА-3,8 «Сварог»
0,5	57,8	63,5	8,8	6,3
1,1	60,1	66,2	6,9	5,0
1,6	62,5	68,1	5,5	3,9
Среднее значение	60,13	65,93	7,1	5,06

В результате, в сравнении с серийным рабочим органом КПЭ-3,8ВВ экспериментальный рабочий орган КСА-3,8 «Сварог» обеспечивает повышение степени крошения почвы на 5,7–6,1 % и снижение глыбистости в 1,3–1,4 раза.

После каждого экспериментального прохода замерялась глубина обработки почвы в двадцати местах вдоль всей длины почвенного канала.

Для определения глубины использовались мерные линейки.

Данные сравнения рабочих органов по устойчивости глубины обработки при скорости движения 1,6 м/с, представлены в таблице 4.6, для обработки результатов использовалась программа Microsoft Excel.

Показатели глубины обработки почвы

Значения	Глубина обработки $1 \cdot 10^{-2}$ м					
	5		10		15	
	Рабочий орган КПЭ-3,8ВВ	Рабочий орган КСА-3,8 «Сварог»	Рабочий орган КПЭ-3,8ВВ	Рабочий орган КСА-3,8 «Сварог»	Рабочий орган КПЭ-3,8ВВ	Рабочий орган КСА-3,8 «Сварог»
Максимальное значение глубины h_{max}	5,1	5,2	10,1	10,3	15,2	15,3
Минимальное значение глубины h_{min}	4,8	4,9	9,5	9,8	14,2	14,7
Среднее значение h_{cp}	4,95	5,05	9,8	10,05	14,7	15
Стандартное отклонение σh	0,15	0,15	0,3	0,25	0,5	0,3
Коэффициент вариации K_v , %	3,0	2,97	3,06	2,48	3,4	2,0
Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения σ_0	0,171	0,171	0,34	0,28	0,57	0,42
Относительная погрешность P , %	3,5	3,3	3,5	2,7	3,9	2,8

Проанализировав данные из таблицы 4.6, можно сделать вывод, что экспериментальный рабочий орган соответствует агротребованиям и движется более стабильно на заданной глубине при выполнении процесса рыхления почвы. Для рабочих органов КПЭ-3,8ВВ среднее квадратическое отклонение σh составило $0,32 \cdot 10^{-2}$ м, а для рабочих органов КСА-3,8 «Сварог» σh – $0,23 \cdot 10^{-2}$ м, что меньше на $0,09 \cdot 10^{-2}$ м.

Показатели гребнистости почвы по результатам лабораторных исследований после проходов серийного рабочего органа КПЭ-3,8ВВ и экспериментального рабочего органа КСА-3,8 «Сварог» представлены в таблице 4.7.

Высота гребней

Глубина обработки, м	Скорость движения, м/с	Рабочий орган	
		КПС-3,8	КПЭ-3,8ВВ
0,05	0,5	0,23±0,04	0,33±0,06
0,05	1,1	0,26±0,04	0,40±0,03
0,05	1,6	0,32±0,03	0,44±0,04
0,1	0,5	0,27±0,03	0,38±0,06
0,1	1,1	0,31±0,02	0,46±0,04
0,1	1,6	0,36±0,03	0,54±0,04
0,15	0,5	0,35±0,05	0,41±0,04
0,15	1,1	0,37±0,03	0,48±0,07
0,15	1,6	0,39±0,04	0,52±0,04

Из анализа таблицы 4.7 видно, что гребни на поверхности обработанной почвы предложенным рабочим органом КСА-3,8 «Сварог» имеют высоту в диапазоне $0,23\pm 0,04$ – $0,39\pm 0,04$, что в 1,3–1,4 раза меньше по сравнению с ближайшим аналогом КПЭ-3,8ВВ. Этот процесс объясняется меньшим боковым смещением сформированных взрыхленных пластов почвы в вертикальной плоскости за счет зубчатых форм долота и крыльев лапы, а также оптимальной амплитуды и частоты колебаний стойки с маятниковым ударником.

4.2 Результаты полевых исследований

Исследования проводились в оптимальные агротехнические сроки после уборки озимого ячменя на сидераты по стерневому фону. Во время проведения экспериментов влажность почвы W в поле находилась в пределах 14,85–18,38 %; твердость p – 150,59–226,78 Н/см²; деформационный показатель почвы ν – $1,46 \cdot 10^{-7}$ – $1,87 \cdot 10^{-7}$ м²/Н.

При проведении полевых исследований экспериментального стерневого агрегата КСА-3,8 «Сварог» получены сравнительные значения тягового сопротивления P .

Данные значения как для КСА-3,8 «Сварог», так и для КПЭ-3,8ВВ представлены в таблице 4.8.

Результаты исследования тягового сопротивления экспериментального агрегата КСА-3,8 «Сварог» и серийного культиватора КПЭ-3,8В (справочные данные [76]).

Показатель скорости, V, км/ч	Экспериментальный агрегат КСА-3,8 «Сварог»		Серийный культиватор КПЭ-3,8В		Снижение тягового сопротивления экспериментальным культиватором КПС-3,8, %
	Тяговое сопротивление культиватора P, Н	Тяговое сопротивление рабочего органа P, Н	Тяговое сопротивление культиватора P, Н	Тяговое сопротивление рабочего органа P, Н	
Глубина экспериментального прохода h, – 0,05 м					
8	8145,3	740,5	9785,8	889,6	20,14
10	8362,62	760,3	10039,33	912,7	20,05
12	9098,9	827,14	10913,22	992,07	19,94
Глубина экспериментального прохода h, – 0,10 м					
8	9541,87	867,44	11346,2	1031,5	18,91
10	10382,8	943,9	12328,5	1120,9	18,74
12	11055,0	1005,0	13084,7	1189,5	18,36
Глубина экспериментального прохода h, – 0,15 м					
8	14756,9	1341,5	17194,9	1563,12	16,52
10	15264,0	1387,6	17764,2	1614,9	16,38
12	16800,8	1527,3	19509,1	1773,5	16,12

После обработки табличных данных с помощью программы Microsoft Excel дополнительно построены графики зависимости тягового сопротивления от глубины обработки и скорости движения агрегатов (рисунки 4.5, 4.6).

Из таблицы 4.8 и графиков на рисунках 4.6 и 4.7 видно, что исследуемый агрегат КСА-3,8 «Сварог» обеспечивает меньшее тяговое сопротивление при обработке почвенного пласта по стерневому фону в среднем на 16,12–20,14 %.

Полученные в процессе проведения экспериментов уравнения регрессии в кодированных переменных имеют вид (4.5) и (4.6):

– для экспериментального агрегата КСА-3,8 «Сварог»:

$$Y_3 = 12200,46 + 3578,389X_1 + 749,3808X_2 + 272,5808X_1X_2; \quad (4.5)$$

– для серийного культиватора КПЭ-3,8В:

$$Y_C = 14350,77 + 4001,225X_1 + 860,4083X_2 + 296,7283X_1X_2. \quad (4.6)$$

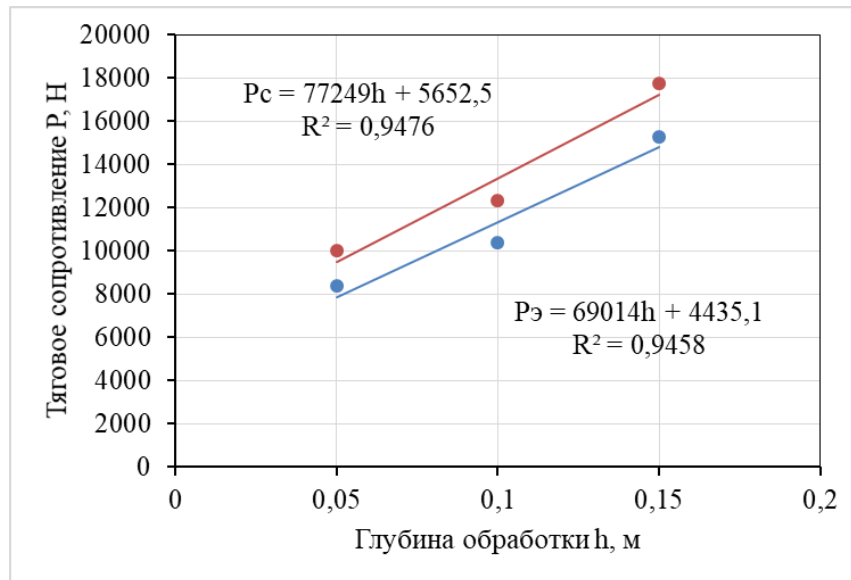


Рисунок 4.5 График зависимости тягового сопротивления P от глубины обработки h при скорости движения $V = 10$ км/ч: $P_{\text{э}}$ – экспериментальный агрегат КСА-3,8 «Сварог»; $P_{\text{с}}$ – серийный культиватор КПЭ-3,8В

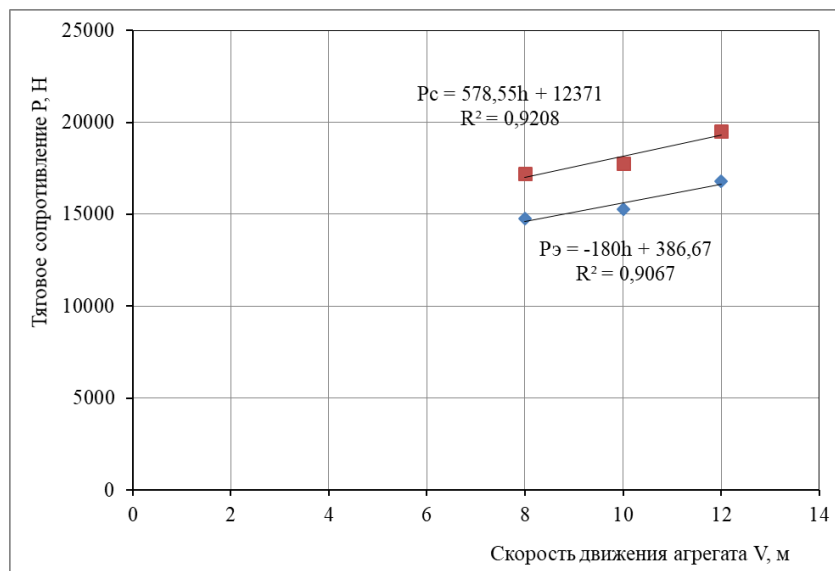


Рисунок 4.6 График зависимости тягового сопротивления P от скорости движения агрегата V при глубине обработки $h = 10$ см:

$P_{\text{э}}$ – экспериментальный агрегат КСА-3,8 «Сварог»;

$P_{\text{с}}$ – серийный культиватор КПЭ-3,8В

Оценка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показала, что для уравнения (4.5) значимыми являются коэффициенты, удовлетворяющие условию $|b_i| \geq 284,0602$, а для уравнения (4.6) – соответственно $|b_i| \geq 310,5919$.

Проверка полученных математических моделей (4.5) и (4.6) по критерию Кохрена, при условии, что его расчетное значение G_p оказалось меньше табличного $G_T = 0,76$, в расчетах составило 0,74 и 0,64, а это означает воспроизводимость полученных результатов.

Также проверка математических моделей (4.5) и (4.6) по критерию Фишера подтвердила их адекватность, поскольку расчётные значения F_p составили, соответственно, 7,1 и 7,05, что меньше табличного значения $F_T = 7,71$.

Уравнения регрессии в натуральных значениях переменных, с учётом оценки значимости коэффициентов, имеют вид (4.7) и (4.8):

– для экспериментального агрегата КСА-3,8 «Сварог»:

$$P_D = 1296,78 + 715,68h + 374,69v; \quad (4.7)$$

– для серийного культиватора КПЭ-3,8В:

$$P_C = 2046,26 + 800,25h + 430,21v. \quad (4.8)$$

Анализ полученных уравнений регрессии и построенных графиков показывает, что с увеличением глубины и скорости обработки почвы тяговое сопротивление экспериментального стерневого агрегата КСА-3,8 «Сварог» растёт менее интенсивно в сравнении с серийным культиватором КПЭ-3,8В. Данный процесс объясняется более адаптированными комбинированными элементами рабочих органов у КСА-3,8 «Сварог», приводящих к снижению энергоёмкости рыхления обрабатываемого почвенного пласта, а также наличия ударников на каждой стойке, обеспечивающих постоянство автоколебательного процесса. Наибольшее различие по тяговому сопротивлению (20,14 %) исследуемые культиваторы имеют при глубине обработки почвы 5 см. В среднем

тяговое сопротивление экспериментального стерневого агрегата КСА-3,8 «Сварог» на 18,74 % меньше, чем у серийного КПЭ-3,8В.

4.3 Расчет технико-экономической эффективности модернизированных рабочих органов для комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8 «СВАРОГ»

Для расчета экономической эффективности использования новых конструктивных элементов рабочих органов проведем сравнение основных показателей экспериментального агрегата КСА-3,8 «Сварог» в сравнении с серийным агрегатом КПЭ-3,8В (таблица 5.2).

Часовая производительность стерневого агрегата $W_{ч}$ при выполнении полевых работ определяется следующим образом в виде (5.5):

$$W_{ч} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot t, \quad (5.5)$$

где B_p – ширина захвата машины, м;

V_p – рабочая скорость, км/ч;

t – нормативный коэффициент использования времени смены, $t = 0,75$.

Средняя рабочая скорость серийной модели КПЭ–3,8В: $V_{p1} = 9$ км/ч.

Средняя рабочая скорость экспериментальной модели агрегата КСА-3,8 «Сварог»: $V_{p2} = 12$ км/ч.

Результаты расчетов по формуле (5.5):

$$W_{чс} = 0,1 \cdot 3,8 \cdot 9 \cdot 0,75 = 2,56 \text{ га/ч,}$$

$$W_{чэ} = 0,1 \cdot 3,8 \cdot 12 \cdot 0,75 = 3,42 \text{ га/ч.}$$

Формула определения годового объема работы W_r почвообрабатывающей машины имеет вид (5.6):

$$W_r = W_u \cdot T_r, \quad (5.6)$$

где T_r – планируемая годовая наработка ($T_r = 300$ часов).

Результаты расчета:

$$W_{r\delta} = 2,56 \cdot 300 = 769,5 \text{ га},$$

$$W_{r\varepsilon} = 3,42 \cdot 300 = 1026 \text{ га}.$$

Удельные затраты труда t_n на единицу работы почвообрабатывающего агрегата определяются в следующем виде (5.7):

$$t_n = \frac{L}{W_u}, \quad (5.7)$$

где L – количество обслуживающего персонала ($L=1$ чел.), чел.

Соответственно получим:

$$t_{nc} = \frac{1}{2,56} = 0,39 \text{ ч/Га.}$$

$$t_{n\varepsilon} = \frac{1}{3,42} = 0,29 \text{ ч/Га.}$$

Снижение затрат труда (ч) определяется как выражение вида (5.8):

$$\Delta_m = (t_{n1} - t_{n2}) \cdot W_{r\varepsilon}, \quad (5.8)$$

$$\Delta_T = (0,39 - 0,29) \cdot 1026 = 100 \text{ ч}.$$

Прирост производительности P_{HH} определим следующим образом в виде (5.9):

$$P_{HH} = \left(\frac{t_{nc}}{t_{nэ}} - 1 \right) \cdot 100, \quad (5.9)$$

$$P_{HH} = \left(\frac{0,39}{0,29} - 1 \right) \cdot 100 = 33\%.$$

Удельный расход топлива (G), кг/га рассчитывается по формуле (5.10):

$$G = \frac{1}{W} \cdot Ne \cdot q \cdot a, \quad (5.10)$$

где Ne – мощность двигателя трактора МТЗ-923.3, $Ne = 70$ кВт,

q – удельный расход топлива двигателем трактора, 0,23 кг/(кВт·ч).

a – коэффициент загрузки двигателя.

$$G_c = \frac{1}{2,56} \cdot 70 \cdot 0,22 \cdot 0,8 = 4,81 \text{ кг/га}, \quad G_{э} = \frac{1}{3,43} \cdot 70 \cdot 0,22 \cdot 0,8 = 3,59 \text{ кг/га}.$$

Годовая экономия топлива ΔT при внедрении модернизированного агрегата имеет вид (5.11):

$$\Delta T = (G_c - G_{э}) \cdot W_{рэ}, \quad (5.11)$$

$$\Delta T = (4,81 - 3,59) \cdot 1026 = 1251,72 \text{ кг}.$$

Годовой экономический эффект от внедрения $\Delta \Gamma$ при учете затрат на топливо:

$$\text{Эг} = 1251,72 \cdot 58,2 = 72850,10 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений будет равен $44361,41 / 72850,10 = 0,61$ года.

Таблица 5.2 – Основные показатели экономической эффективности внедрения

Наименование показателя	Ед. измерения	Вид машины		Изменение показателя
		КПЭ-3,8В	КСА-3,8 «Сварог»	
Стоимость новых конструктивных элементов рабочих органов	тыс. руб	–	44,36	–
Производительность агрегата	га/ч	2,56	3,42	+0,86
Расход топлива	кг/га	4,81	3,59	+1,22
Годовой экономический эффект	тыс. руб.	–	72,85	–
Срок окупаемости	год		0,61	–

Выводы по главе 4.

1. В результате сравнения с серийным рабочим органом КПЭ-3,8В экспериментальный рабочий орган КСА-3,8 «Сварог» обеспечивает повышение степени крошения почвы на 5,7–6,1 % и снижение глыбистости в 1,3–1,4 раза. Экспериментальный рабочий орган соответствует агротребованиям и движется более стабильно на заданной глубине при выполнении процесса рыхления почвы.

2. При проведении полевых экспериментов, анализ полученных уравнений регрессии и построенных графиков показывает, что наибольшее различие по тяговому сопротивлению (20,14 %) исследуемые агрегаты имеют при глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление экспериментального стерневого агрегата КСА-3,8 «Сварог» на 18,74 % меньше, чем у серийного КПЭ-3,8В.

3. Результатом внедрения новых рабочих органов для экспериментального стерневого агрегата КСА-3,8 «Сварог» будет годовой экономический эффект в размере 72,85 тыс. руб. При этом затраты на модернизацию составят 44,36 тыс. руб.

4. Срок окупаемости капитальных вложений от применения новых конструктивных элементов рабочих органов для экспериментального агрегата КСА-3,8 «Сварог» составит 0,61 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана система классификации стерневых культиваторов. На основе земледельческой механики для стерневого агрегата обоснованы параметры долота его рабочих органов. Создана опытно-конструкторская разработка стерневого агрегата. Экспериментально исследован процесс работы рабочих органов стерневого агрегата и определены его энергетические и качественные показатели обработки почвы в сравнении с серийным КПЭ-3,8В. Определена технико-экономическая эффективность экспериментального стерневого агрегата КСА-3,8 «Сварог».

Применение экспериментальных рабочих органов для стерневой обработки почвы на агрегате КСА-3,8 «Сварог», при сезонной наработке 300 часов, позволяет повысить производительность на 0,86 га/ч, а также снизить расход топлива на 1,22 кг/га.

Рекомендации производству

Предприятиям агропромышленного комплекса Российской Федерации предлагается прицепной стерневой агрегат КСА-3,8 «Сварог» для поверхностной предпосевной обработки почвы со следующими параметрами: ширина захвата – 3,8 м; глубина обработки – 5–15 см; скорость движения – 8–12 км/ч.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Применить предлагаемую конструктивно-технологическую схему прицепного стерневого агрегата КСА-3,8 «Сварог» с последующей его модернизацией в виде встроенных выравнивателей и катков для создания комбинированных рабочих органов агрегата в предпосевной обработке сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабицкий Л.Ф. Бионико-механические основы сельскохозяйственных машин. Теория и методы / Л.Ф. Бабицкий, В.Ю. Москалевич, И.В. Соболевский. – LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 384 с.
2. Mekyes E. Soil Gütting anditillage / E. Mekyes // Amsterdam etc. Elsevier. – 1985. – № 7. – 217 p.
3. Pollock DJr. Finite element analysis of multipass effects of vehicles on soil compaction / DJr. Pollock, I.Y. Perumpral, T. Kuppusamy // Trans. ASAE . St. Joseph. Mich. – 1986. – vol.29, № 1. – p.45–50.
4. Колипко В.П. Эффективные агротехнологии и серийные машины / В.П. Колипко // Техника и оборудование для села. – 2006. – № 10.
5. Мазитов Н.К. Ресурсосберегающая технология предпосевной обработки почвы и посева / Н.К. Мазитов // Земледелие. – 2005. – № 4. – С. 36–37.
6. Теличкина Н.А. Обоснование параметров комбинированного культиватора для предпосевной обработки почвы / Н.А. Теличкина // Вестник ЧГАУ. – 2007. – № 50. – С. 80–84.
7. Гусев Е.М. Эволюция технологий в земледелии: от «серых» до «зеленых» / Е.М. Гусев // Аридные экосистемы. 2020. – том 26, № 1 (82). – С. 3–12.
8. Барабанов А.Т. Научные основы адаптивно-ландшафтной системы земледелия / А.Т. Барабанов // Фермер. Поволжье. – 2016. – № 3 (45). – С. 26–29.
9. Бабицкий Л.Ф. Механіко-біонічні основи багато контактно-ударної дії протиерозійних робочих органів на ґрунт: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Л.Ф. Бабицький. – Сімферополь, 1994. – 43 с.
10. Ергина, Е.И. Влияние современных тенденций климата на состояние эрозионно опасных агроландшафтов и оценка почвообразующего потенциала природных факторов Крыма / Е.И. Ергина, В.О. Жук // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (65). – С. 175–178.

11. Макаров П.И. Технология и техника для гладкой вспашки почвы / П.И. Макаров // Казань: изд-во Казанского ун-та, 2000. – 288 с.
12. Фёдоров С.Е. Повышение качества поверхностной обработки почвы регулированием жесткости упругой стойки культиватора: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Сергей Евгеньевич Фёдоров. – Саранск, 2016. – 170 с.
13. Жук А.Ф. Развитие машин для минимальной обработки почвы / А.Ф. Жук, Е.Л. Ревякин. – М.: ВИМ, 2007 – 140 с.
14. Myalo V.V. Basic Parameters Substantiation of the Cultivator Working Body for the Continuous Tillage in the System of Ecologically Safe Resource-Saving Agriculture / V.V. Myalo, O.V. Myalo, E.V. Demchuk, V.V. Mazyrov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – 224. – 012023.
15. Al-Suhaibani S.A. Development and Evaluation of Tractors and Tillage Implements Instrumentation System / S.A. Al-Suhaibani, A.A. Al-Janobi, Y.N. Al-Majhadi // American Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2010. – Vol. 3, Iss. 2. – P. 363–371. DOI 10.3844/ajeassp.2010. 363.371.
16. Al-Suhaibani S.A. Development and Evaluation of Tractors and Tillage Implements Instrumentation System / S.A. Al-Suhaibani, A.A. Al-Janobi, Y.N. Al-Majhadi // American Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2010. – Vol. 3, Iss. 2. – P. 363–371. DOI 10.3844/ajeassp.2010. 363.371.
17. Askari M. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements / M. Askari, M.H. Komarizade, A.M. Nikbakht, N. Nobakht, R.F. Teimourlou // Research in Agricultural Engineering. – 2011. – Vol. 57, Iss. 4. – P. 128–136.
18. Колипко В.П. Эффективные агротехнологии и серийные машины / В.П. Колипко // Техника и оборудование для села. – 2006. – № 10. – С. 56–58.
19. Мазитов Н.К. Ресурсосберегающая технология предпосевной обработки почвы и посева / Н.К. Мазитов // Земледелие. – 2005. – № 4. – С. 36–37.
20. Горячкин В.П. Земледельческие машины и орудия / В.П. Горячкин. – М.: Кн-во студентов Петров. с.-х. акад., 1923. – 181 с.

21. Желиговский В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов / В.А. Желиговский. – Тбилиси, 1960. – 145 с.
22. Синеоков Г.П. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И. М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 330 с.
23. Кононенко А.Ф. Пути улучшения использования сельскохозяйственной техники / А.Ф. Кононенко. – М.: Колос, 1980. – 115 с.
24. Волков И.В. Эффективность обработки почвы / И.В. Волков // Вестн. аграрной науки. – 1994. – № 3. – С. 29–31.
25. Бауков А.В. Поперечный профиль рыхлительного рабочего органа и процесс трещинообразования / А.В. Бауков, А.С. Кушнарев // Почвообрабатывающие и посевные машины: – Мелитополь: Научные труды Мелитопольского ИМСХ. – 1967. – Т.5, вып. 3.
26. Третьяк В.П. Влияние формы рабочих органов, движущихся в почве, на тяговое сопротивление / В.П. Третьяк // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Респ. межвед. тем. науч.-техн. сб. «Механизация обработки почвы и внесения удобрений». – Киев, 1967. – Вып. 8 – С. 18–28.
27. Курдюмов В.И. Новый рабочий орган культиватора / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.А. Шаронов // Сельский механизатор. – 2012. – № 11. – С. 12–16.
28. Кушнарев А.С. Проектирование рыхлительных рабочих органов культиваторов / А.С. Кушнарев, А.В. Бауков, В.М. Найдыш. – Киев, 1979.
29. Соболевский И.В. Бионическое обоснование конструкции рабочих органов стерневого культиватора / И.В. Соболевский, И.И. Калафатов // Актуальные проблемы науки и техники: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 31–33.
30. Патент 218025 Российская Федерация, МПК А01В 35/24, А01С 7/20. Рабочий орган культиватора для сплошной обработки почвы: № 2023105684 : заявл. 13.03.2023 : опубл. 02.05.2023. – 9 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Патенты по теме научной работы

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 223688

Устройство для измерения твердости почвы

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КРЫМА" (RU)**

Авторы: **Соболевский Иван Витальевич (RU), Калафатов Ильяс Идрисович (RU), Евдокимов Владислав Николаевич (RU), Соболевский Виталий Иванович (RU)**

Заявка № **2023135859**

Приоритет полезной модели **28 декабря 2023 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **28 февраля 2024 г.**

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает **28 декабря 2033 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164ba196183b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.03.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 218025

Рабочий орган культиватора для сплошной обработки почвы

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ "НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО
ХОЗЯЙСТВА КРЫМА" (RU)**

Авторы: **Соболевский Иван Витальевич (RU), Калафатов Ильяс
Идрисович (RU), Куклин Владимир Алексеевич (RU),
Зубоченко Денис Викторович (RU), Соболевский Виталий
Иванович (RU)**

Заявка № 2023105684

Приоритет полезной модели 13 марта 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 02 мая 2023 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 13 марта 2033 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 69b80077e14c40f0a94edbd24145d5c7
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 2.03.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 226618

Комбинированный культиватор для поверхностной обработки почвы

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КРЫМА" (RU)**

Авторы: **Соболевский Иван Витальевич (RU), Голиков Игорь Владимирович (RU), Евдокимов Владислав Николаевич (RU), Куклин Владимир Алексеевич (RU), Калафатов Ильяс Идрисович (RU), Соболевский Виталий Иванович (RU)**

Заявка № 2024110699

Приоритет полезной модели 18 апреля 2024 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 13 июня 2024 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 18 апреля 2034 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164ba96f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

