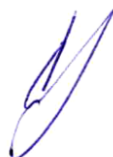


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волгоградский государственный аграрный университет»



На правах рукописи

СУББОТИН СТАНИСЛАВ ИГОРЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ЧИЗЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ ЗА СЧЕТ
МОДЕРНИЗАЦИИ ИХ КОНСТРУКЦИИ**

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромыш-
ленного комплекса (технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
Фомин Сергей Денисович
д.т.н., доцент

Волгоград 2026 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ОРУДИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	10
1.1 Состояние вопроса повышения долговечности рабочих органов орудий для обработки почвы	10
1.2 Анализ способов восстановления и повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин	19
1.3 Методология исследования ресурсов рабочих органов почвообрабатывающих машин	32
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	39
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕ- НИЯ АРМИРОВОЧНЫХ ВАЛИКОВ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПО КРИТЕРИЮ МИНИМИЗАЦИИ ПРИРОСТА ТЯГО- ВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ	41
2.1 Физическая картина движения частиц почвы по наклонной плос- кости долота плуга, армированной поперечным валиком	41
2.2. Моделирование процесса взаимодействия частиц почвы с по- верхностью рабочего органа, упрочненного продольным армировоч- ным валиком	48
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	58
3. ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧИЗЕЛЬНОГО АГРЕГАТА, РАБОЧИЕ ОРГАНЫ КОТОРОГО УПРОЧНЕНЫ ПРОДОЛЬНЫМИ АРМИРОВОЧНЫМИ ВАЛИ- КАМИ	59
3.1 Изготовление опытной партии модернизированных рабочих ор- ганов	59
3.2 Создание экспериментальной установки по определению тяго- вого сопротивления рабочей секции чизельного орудия, оборудован- ной экспериментальными рабочими органами	62
3.2.1. Устройство для измерения горизонтального усилия от сельско- хозяйственной машины, навешиваемой на трактор	64
3.2.2. Способ и устройство для определения точки приложения рав- нодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины	68
3.2.3 Регистрация действительной скорости движения эксперимен- тальной установки	71
3.3.3 Объект исследования и регистрируемые параметры	73
3.4 Технические средства регистрации и обработки измеряемых ве- личин	75
3.5 Измерение линейных размеров серийных и экспериментальных рабочих органов	76
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	78
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	79

4.1 Тяговое сопротивление секции чизельного плуга с экспериментальным и серийным рабочим органом	79
4.2 Результаты исследования тягового сопротивления чизельного плуга	83
4.3 Определение теоретических законов распределения величины износа экспериментальных рабочих органов	88
4.4 Определение теоретических законов распределения величины износа серийных рабочих органов	91
4.5 Анализ износа серийных и экспериментальных рабочих органов «весовым» методом	94
4.6 Анализ износа серийных и экспериментальных рабочих органов методом контроля линейных размеров базовых сечений	96
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	99
5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	110
ПРИЛОЖЕНИЯ	142

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Направления трансформации сельскохозяйственного производства Российской Федерации в настоящее время определяются следующими базовыми нормативными документами: «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20); Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 7 июля 2017 года № 1455-р)» [31].

Основной упор в рассматриваемой нормативной базе сделан на импортозамещение используемых технологий и их материально техническое оснащение; увеличение экспортного потенциала агропромышленного комплекса (АПК) страны; обеспечение продовольственной безопасности страны. В основу достижения этих целей закладывается: повышение научного и кадрового потенциала страны; обновление и модернизация материальной базы АПК; улучшение и автоматизация технологических процессов; повышение надежности технологических процессов и используемых материальных средств.

В рамках данной диссертационной работы рассмотрены вопросы повышения надежности почвообрабатывающей техники. Надежность почвообрабатывающей техники, как свойство объекта, формируется еще на начальных этапах её проектирования, именно группа показателей надежности (или единичные комплексные показатели) во многом определяет эффективность использования техники в период эксплуатации. От уровня надежности, закладываемой при проектировании, зависит способность сельскохозяйственной техники выполнять заданные агротехнологические операции в течение длительного периода эксплуатации. Поэтому развитие данного направления актуально.

Степень разработанности темы. Основной причиной выхода из строя почвообрабатывающей техники является износ её основных деталей, что подтверждается выявленными закономерностями процессов трения и изнашивания деталей машин. Этому направлению посвящены научные исследования ведущих отечественных ученых: М.А. Бабичева, В.А. Белова, В.М. Бойкова, В.Н. Буйлова, В.И. Виноградова, И.Г. Голубева, М.Н. Ерохина, И.В. Крагельского, А.М. Михальченкова, Л.С. Лившица, И.М. Панова, С.А. Сидорова, Г.Н. Синеокова, М.М. Хрущева и др. Результаты этих исследований внесли неоценимый вклад в изучение вопросов изнашивания рабочих органов и внедрению способов повышения их надежности.

Тем не менее, как показал анализ этих работ, остаются направления в этой области, требующие своего дальнейшего развития. В частности, в исследуемых работах, слабо освещены вопросы влияния формы рабочих органов на их долговечность в условиях работы в абразивной среде. Развитие этой области исследования является актуальным и имеет важное народнохозяйственное значение.

Объект исследования – чизельный агрегат для глубокого рыхления почвы.

Предмет исследования – показатели долговечности рабочего органа чизельного плуга.

Целью исследования является повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий за счет обоснования геометрических параметров их рабочей поверхности.

Задачи исследования:

- 1) провести анализ существующих способов повышения долговечности рабочих органов чизельных орудий;
- 2) теоретически обосновать геометрические размеры продольных армированных валиков, располагаемых на носовой поверхности рабочего органа чизельного плуга;

- 3) разработать программу экспериментальных исследований и провести полевые испытания чизельного агрегата, оборудованного модернизированными рабочими органами;
- 4) выполнить сравнительную оценку показателей долговечности модернизированных рабочих органов с серийными образцами;
- 5) оценить экономическую эффективность применения модернизированных рабочих органов чизельного плуга.

Научная новизна работы заключается:

- в обосновании геометрических размеров и ориентации армировочных валиков на поверхности рабочего органа чизельного плуга;
- разработке рабочего органа чизельного плуга; способа и устройства для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины; устройства для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор (патенты RU 2776191 C1, RU 2792117 C1, RU 2801775 C1);
- в результатах экспериментальных исследований оценки эффективности применения рабочих органов чизельных орудий с армировочными валиками.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы определяется теоретическим обоснованием геометрических размеров армировочных валиков на поверхности рабочего органа чизельного орудия, выполненном на основании критерия отсутствия залипания почвенных частиц между валиками, что является ключевым фактором сохранения энергетических затрат на процесс чизельной обработки на прежнем уровне. Это особенно важно в условиях современного сельского хозяйства, где эффективность и экономичность обработки почвы играют решающую роль в обеспечении высоких урожаев и снижении затрат на произ-

водство. Полученные аналитические зависимости представляют собой важный вклад в развитие теории и практики сельскохозяйственного машиностроения, способствуя созданию более эффективных и надежных орудий для обработки почвы.

Практическая значимость работы состоит в создании рабочих органов чизельного плуга с увеличенной долговечностью, позволяющие снижать издержки на ремонт и замену деталей, повышая экономическую эффективность сельхозпроизводства.

Методология и методы исследования

Методология исследования основана на поиске и обосновании критериальных пороговых ограничений, которые способствуют разработке эффективных методов повышения эффективности эксплуатации объекта исследования.

Это включает в себя:

1. Теоретическое обоснование предложенных мер

Теоретическое обоснование осуществляется с применением классических законов земледельческой механики и прикладной механики. Эти законы позволяют понять и описать физические процессы, происходящие при эксплуатации чизельных плугов. Кроме того, используются методы статистической обработки экспериментальных данных, что позволяет выявить закономерности и тенденции, которые могут быть использованы для улучшения конструкции и эксплуатации плугов.

2. Экспериментальная верификация предложенных методов

Экспериментальная верификация проводится в реальных условиях эксплуатации. Это позволяет проверить теоретические предположения на практике и убедиться в их достоверности. Эксперименты проводятся с использованием современных методов и оборудования, что обеспечивает высокую точность и надежность результатов.

3. Получение надежных и достоверных результатов

Методы, используемые в исследовании, позволяют получить надежные и достоверные результаты. Эти результаты могут быть использованы для

улучшения конструкции и эксплуатации чизельных плугов. Они также могут быть применены для разработки новых методов и технологий, которые позволят повысить эффективность и производительность сельскохозяйственной техники.

Таким образом, методология и методы исследования, используемые в данной работе, обеспечивают получение надежных и достоверных результатов, которые могут быть использованы для улучшения конструкции и эксплуатации чизельных плугов.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) теоретическое обоснование геометрических размеров армированных валиков, выполненное на основании критерия отсутствия залипания почвенных частиц;
- 2) экспериментальная модель рабочего органа чизельного орудия, с улучшенными показателями долговечности;
- 3) результаты экспериментальных исследований оценки эффективности применения модернизированных рабочих органов.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов проведенного исследования подтверждается использованием современной регистрирующей и измерительной аппаратуры в процессе проведения натурных испытаний. Это позволяет получить точные и объективные данные, которые могут быть использованы для дальнейшего анализа и интерпретации.

Кроме того, высокая сходимость теоретических данных и данных, полученных экспериментальным путем, также свидетельствует о высокой степени достоверности полученных результатов. Это означает, что теоретические модели и методы, используемые в исследовании, адекватно отражают реальные процессы и явления.

Основные положения работы были представлены и обсуждены на конференциях различного уровня, что также подтверждает их научную значимость и актуальность. Среди таких конференций можно выделить:

Национальные научно-практические конференции, 2020-2022 гг.

Международные научно-практические конференции, 2022-2024 гг.

Таким образом, проведенное исследование обладает высокой степенью достоверности и апробации, что позволяет использовать его результаты для дальнейшего развития и внедрения в практику.

Публикации по результатам исследований. В результате проведенной диссертационной работы было издано 17 публикаций, из которых:

- 8 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.
- Получено 3 патента РФ на изобретение с номерами: № 2776191, № 2792117, № 2801775.
- 6 работ опубликованы в других журналах и материалах конференций.

Общий объем опубликованных работ составляет 6,85 печатных листов, из которых 3,08 п.л. принадлежат лично автору.

Структура и объем диссертации.

Текст диссертации включает в себя следующие структурные элементы:

- Введение. Основная часть, состоящая из пяти разделов (разделы 1, 2, 3, 4, 5). Заключение. Список литературы. Приложения.

Текст диссертации представлен на 147 страницах, из которых:

основной текст занимает 141 страницу, содержит 60 иллюстраций, 21 таблицу, приложения занимают 4 страницы.

1. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ОРУДИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

1.1 Состояние вопроса повышения долговечности рабочих органов орудий для обработки почвы

Надежность почвообрабатывающей техники, как свойство объекта, формируется еще на начальных этапах её проектирования, именно группа показателей надежности (или единичные комплексные показатели) во многом определяет эффективность использования техники в период эксплуатации. От уровня надежности, закладываемой при проектировании, зависит способность сельскохозяйственной техники выполнять заданные агротехнологические операции в течение длительного периода эксплуатации [38, 64, 85, 124, 161, 162, 182].

Из классической теории надежности технических систем следует, что данное свойство определяется следующими философскими категориями: долговечность, безотказность, ремонтпригодность и сохраняемость. В период эксплуатации почвообрабатывающих машин на первое место выходят первые три категории, среди которых «долговечность» является определяющей.

Под долговечностью следует понимать свойство объекта сохранять работоспособное состояние до перехода в предельное состояние при установленной системе ТО и ремонтов. Данное свойство количественно можно определить одним из единичных показателей надежности: ресурс, назначенный ресурс, срок службы, и др. Среди них показатель ресурса принято считать основополагающим при эксплуатации почвообрабатывающих машин [109, 112, 122, 148, 211].

Под ресурсом понимают наработку объекта от начала его эксплуатации или её возобновления после капитального ремонта до наступления предельного состояния.

Общий ресурс почвообрабатывающей машины будет определяться величиной ресурсов её отдельных составляющих. Отказ которых в процессе эксплуатации вызывает необходимость в восстановлении их работоспособного состояния, а, следовательно, и ремонта всего почвообрабатывающего орудия. При этом всегда стремятся максимально снизить стоимость ремонтно-восстановительных мероприятий, так как их стоимость, в конечном счете, будет определять себестоимость единичной наработки орудия [83, 148, 167, 191]. «Вынужденные простои орудия увеличивают сроки проведения полевых работ, что негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур, по некоторым данным снижение урожайности зерновых культур» [31, 71], вызванное увеличением сроков полевых работ, обусловленных простоем техники, может достигать до 30% [83, 157, 173, 174, 175].

Увеличению ресурса рабочих органов почвообрабатывающих орудий посвящено много работ [33, 161, 162, 64, 85, 122, 123, 124, 127, 139, 181, 182, 187, 229], при этом можно обратить внимание, что в основу этих исследований закладываются не только экономическое обоснование, но и требования, предъявляемое к экологической безопасности используемых природных ресурсов.

«Основной причиной выхода из строя машин и техники является результат процесса изнашивания – износ их основных деталей, что подтверждается, высказыванием: главной причиной выхода из строя машин является не их поломка, а износ подвижных сопряжений и рабочих органов под влиянием трения» [9, 31].

Износ поверхностей деталей машин является предметом исследования в разных областях науки: трибология, металлофизика, материаловедение.

Начальные исследования в области трибологии были направлены на развитие методологических основ испытаний на износ материалов [82]. При этом на первое место выдвигались кинематические модели, описывающие особенности работы деталей машин в условиях типовой эксплуатации, это научные

работы М.А. Бабичева, В.А. Белова, В.М. Бойкова, В.Н. Буйлова, В.И. Виноградова, И.Г. Голубева, М.Н. Ерохина, И.В. Крагельского, А.М. Михальченкова, Л.С. Лившица, И.М. Панова, С.А. Сидорова, Г.Н. Синеокова, М.М. Хрущева и др. Результаты этих исследований легли в основу классификации видов изнашивания и их частных особенностей.

В основу классификации заложен характер явлений, происходящих по поверхности трения: механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое [188]. При механическом износе, это, как правило, относится к деталям мобильной сельскохозяйственной техники, основными явлениями является: снятие микростружки, пластическое деформирование, хрупкое выкрашивание.

Эти явления в совокупности характерны для абразивного изнашивания. В основу этого вида изнашивания входит циклическое деформирование поверхности, что приводит к накоплению усталостных деформаций. При этом выделяют две характерные фазы абразивного износа: 1 – внедрение абразивных частиц в поверхность детали; 2 – разрушение поверхности и отрыв частиц

В условиях абразивного износа ресурс рабочих органов определяется внешними условиями работы (характеристиками почвы) и видом выполняемой технологической операции, рисунок 1.1.

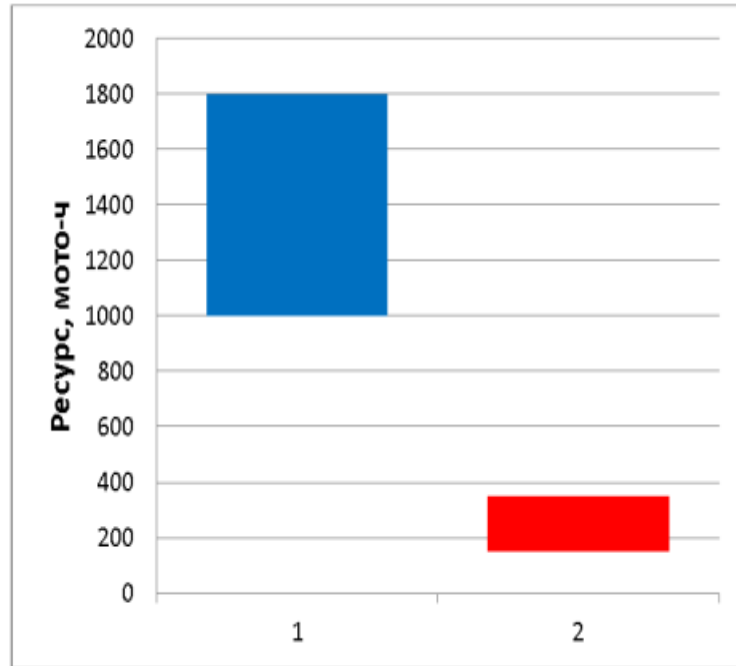


Рисунок 1.1 – Ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин:
1 – дисковые рабочие органы борон и сеялок; 2 – лемеха и долота плугов, лап культиваторов

Дисковые рабочие органы обладают большим ресурсом. В зависимости от условий работы их наработка может достигать до 1800 мото-ч. Меньшим ресурсом, до 350 мото-ч, обладают рабочие органы плугов и лап культиваторов) [46, 80, 162, 178, 179, 198]. Такое отличие в показателях ресурса обусловлено технологическим процессом разрушения почвенного пласта рабочими органами. В первом случае преимущественно наблюдается деформация отрыва, а во втором деформация сжатия. В первом случае уровень силовой нагруженности рабочего органа значительно меньше, чем во втором [69, 161, 162].

Ранжирование ресурса лемехов и долот плугов, лап культиваторов приведено на рисунке 1.2 [7, 77, 80, 109, 178, 179].

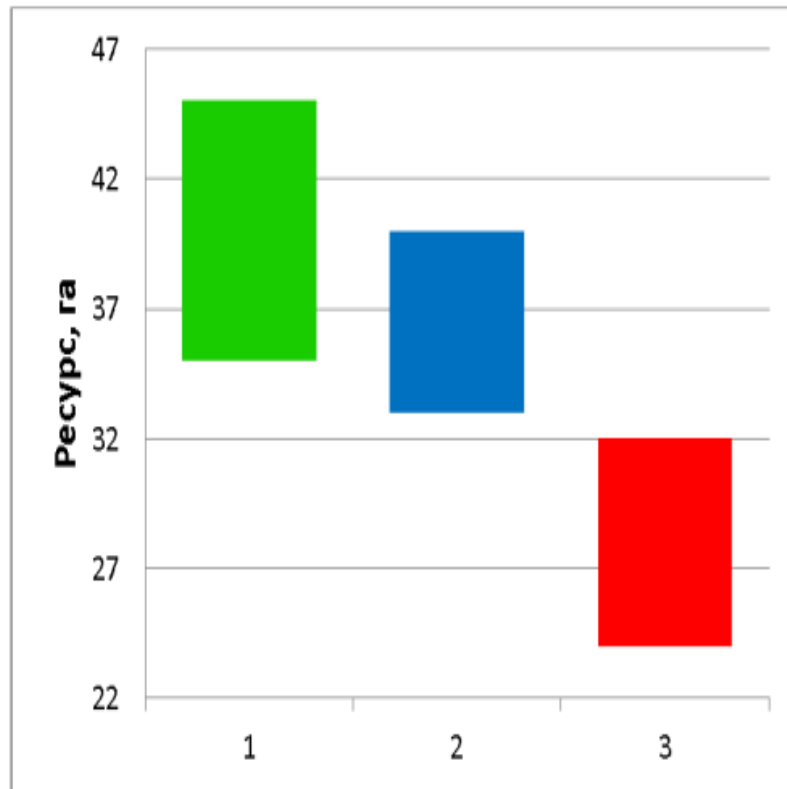


Рисунок 1.2 – Ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин:

1 – лемех оборотного плуга;

2 – стрелчатые лапы посевных машин;

3 – стрелчатые лапы машин для сплошной обработки почвы

Сравнительно низким ресурсом в условиях эксплуатации обладают рабочие органы чизельных орудий, согласно [72] ресурс долотообразных лемехов изменяется от 5 до 20 га.

Поэтому решения, направленные на повышение ресурса долота чизельного плуга, являются актуальными.

При проведении чизельной обработки почвы используют плуги отечественного и импортного производства. Среди отечественных производителей можно выделить ООО «Югжелдормаш», ООО «Энерготехмаш-Пром», «ИП Сергиенко А.Г.», ОАО «Светлоградагромаш», и др. Зарубежные модели, как

правило, импортируют из европейских стран, Канады и США (Kuhn; Kverneland,; Vogel&Noot,; Lemken,; DjonDeer, США и др.).

В конструкциях рабочих секций чизельных плугов, не зависимо от их моделей, можно выделить два основных элемента: стойка, рабочий орган, выполненный в виде сменного долота. В зависимости от технологического процесса обработки почвы могут быть использованы и другие элементы, рисунок 1.3.

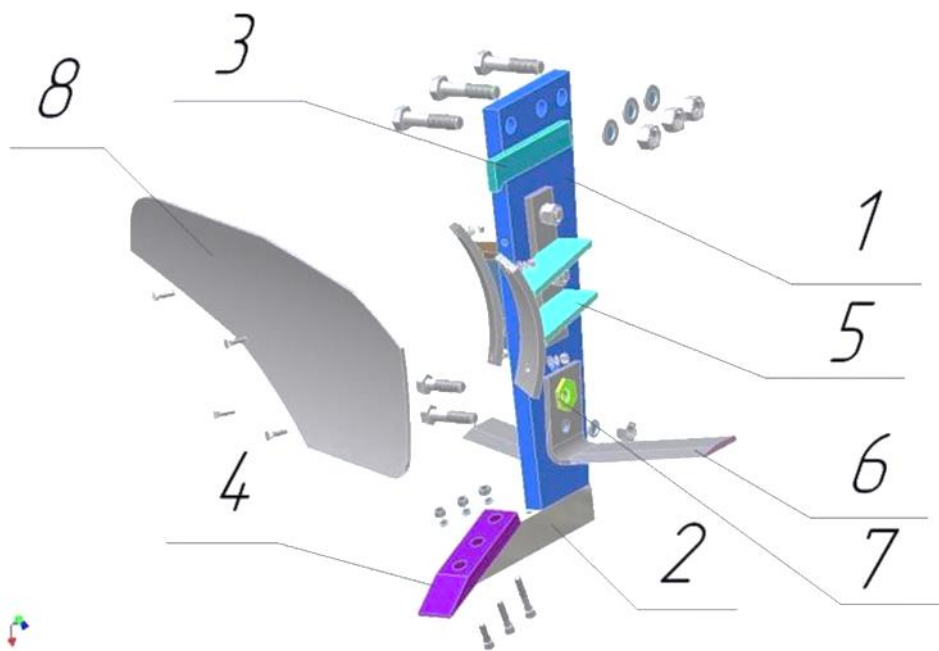
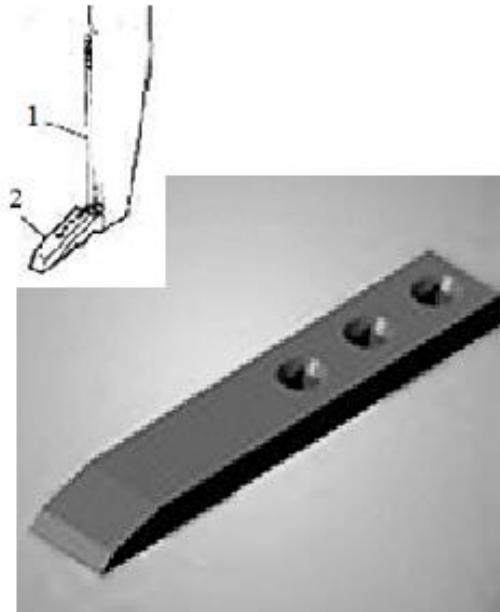


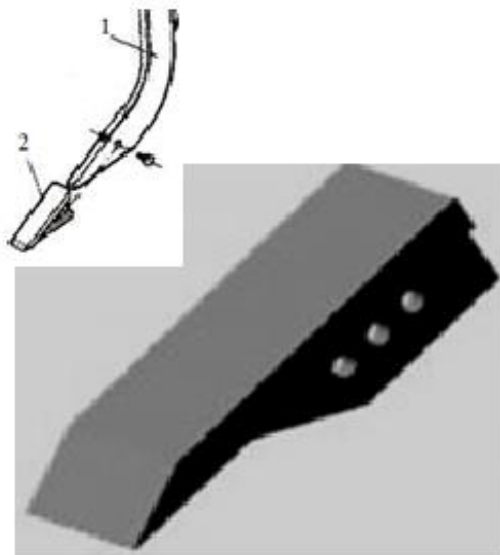
Рисунок 1.3 – Единичная секция чизельного орудия

1 – несущая стойка; 2 – горизонтальное основание для крепления долота; 3 – бобышка; 4 – долото; 5 – проставка; 6 – подрезающие крылья; 7 – крепежные элементы; 8 – отвал

Долота чизельных плугов можно разделить по способу крепления к стойке. Различают фронтальное и боковое крепление. В последнем случае сменные долота изготавливаются в объемном виде, рисунок 1.4 б.



a)



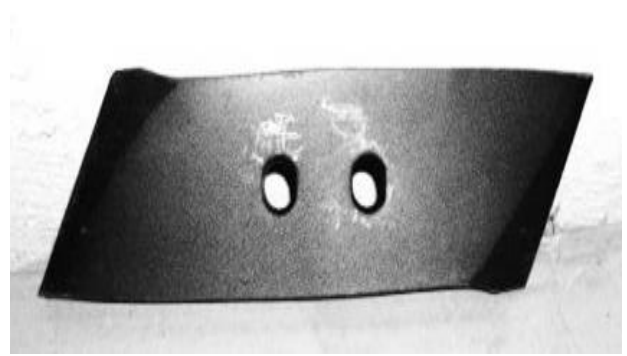
б)

1 – стойка; 2 – долото чизельного плуга

Рисунок 1.4 – Долота чизельного плуга с фронтальным и боковым креплением к стойке



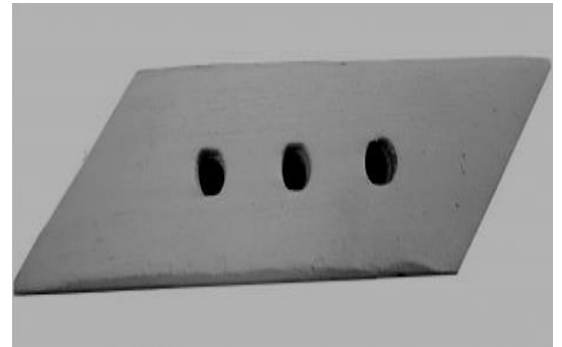
а)



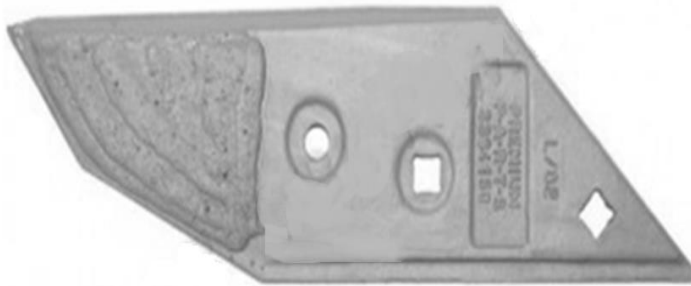
б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)

Рисунок 1.5 – Долото плуга: а) *Vogel&Noot*; б) *Kverneland*; в) *GregoireBesson*; г) *UNIA* (Польша); д) *Vulcan* ф. *Lemken*; е) *Kuhn* (Франция); ж) ООО «Энерготехмаш-Пром»; з) Россия

Долота с боковым креплением российских зарубежных изготовителей, показаны на рисунке 1.6.

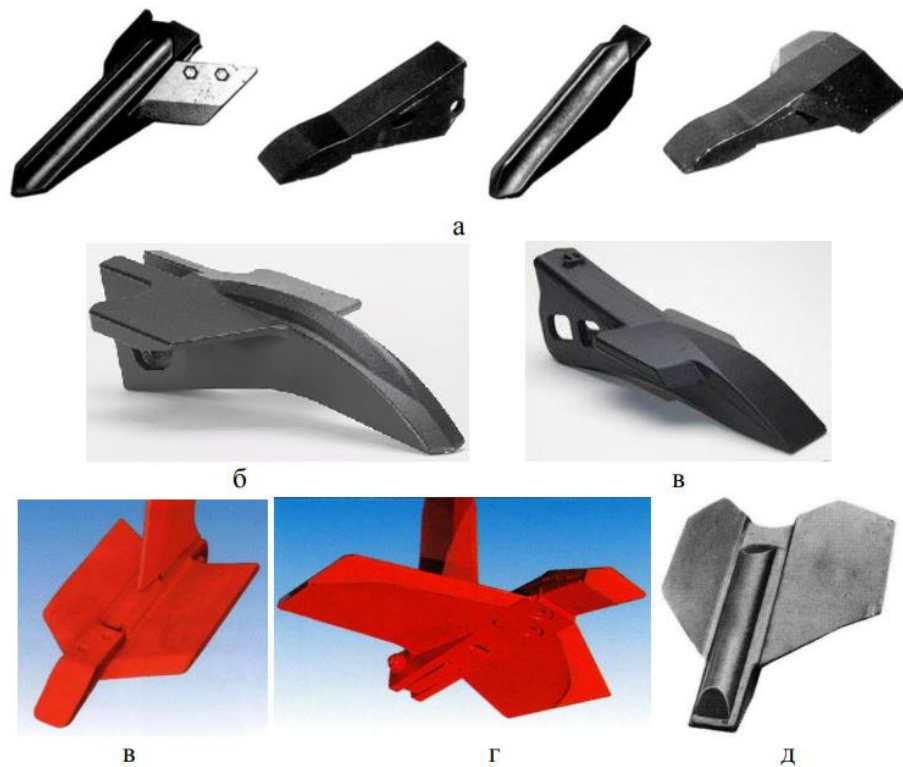


Рисунок 1.6. Долота с боковым креплением: *а, в, г, д – Россия; б – США*

Данные по ресурсу исследуемых моделей очень сильно разнятся, это обусловлено не только условиями эксплуатации, но и применяемыми материалами для изготовления и технологиями упрочнения. В установлении минимальных требований к ресурсу долот чизельного плуга можно использовать требования, прописанных в СТО АИСТ 104.6 Машины почвообрабатывающие. Правила установления показателей назначения. – 2003 [14].

Из которых следует, что минимальное значение ресурса чизельных долот, подвергнутых упрочнению износостойкими наплавками, должно составлять не менее 30 гектар. Для неупрочненных долот – 20 гектар.

Такие требования к минимальному значению ресурса на практике не всегда выполняются, что подтверждает актуальность задачи повышения ресурса рабочих органов.

1.2 Анализ способов восстановления и повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин

В работах [1, 28, 29, 32, 34, 46, 69, 71, 77, 83, 91, 99, 157, 162, 167, 184] показаны основные технологии, применяемые для увеличения и восстановления ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин.

В работе [184] рассмотрено совершенствование технологии восстановления и повышения надежности и долговечности быстроизнашивающихся деталей почвообрабатывающих машин. Суть её заключается в электродуговой наплавке высокоуглеродистых сплавов на изношенную поверхность рабочего органа. Авторы определили оптимальную геометрию наплавочных упрочняющих слоев, которые в зависимости от условий эксплуатации могут представлять собой отдельные полосы, валики или единичные точки. Форма наплавочного слоя определяется типом обрабатываемой почвы. Эффективность данной технологии достаточно высока, общее увеличение ресурса рабочих органов глубоких рыхлителей составило до 40%, что существенно снижает потребность в расходных материалах.

В работе [12] «представлены результаты полевых эксплуатационных испытаний долот лемехов плугов фирмы KUHN, упрочненных металлокерамическими покрытиями, полученными карбовибродуговым способом (КВДУ). Показано, что упрочнение режущих поверхностей долот КВДУ с тыльной стороны позволяет повысить их наработку на отказ до 70 га, что в среднем в 2,1 раза выше, чем у серийных неупрочненных долот. Таким образом, применение способа КВДУ позволяет значительно повысить износостойкость и долговечность долот лемехов плугов отечественного и зарубежного производства» [12].

В статье [142] рассмотрена перспектива применения лазерной наплавки при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственной техники.

Представлен способ повышения ресурса деталей сельскохозяйственных машин на примере долота глубокорыхлителя Gaspardo Artiglio, позволяющая повысить их долговечность до 2,5 раз.

«Изобретение относится к области сельскохозяйственного машиностроения, в частности к деталям рабочих органов почвообрабатывающих машин, предназначенных для глубокого рыхления почвы, и может быть использовано при изготовлении долот» [137]. Долото глубокорыхлителя выполнено в виде пластины, наружная поверхность которой имеет наплавленный слой износостойкого материала толщиной 0,1-0,8 от толщины пластины и длиной 2-20 от толщины пластины. Наплавку износостойкого материала ведут с использованием пасты, в которой содержится 73-75% порошка марки ПР-НХ18С5Р4, 23-24% оксида титана и раствор клея ПВА-М - остальное, и вибрирующего угольного электрода электрической дугой прямой полярности силы тока – 50 А, напряжения – 50 В, скорости перемещения угольного электрода – 3 мм/с, частоты и амплитуды вибрации угольного электрода – 5-6 Гц и 0,7 мм соответственно. Предлагаемое долото глубокорыхлителя обладает повышенной долговечностью, высокой изнашивающей способностью, высокой ударной вязкостью в условиях интенсивного абразивного изнашивания.

Целью данной работы [185] «является повышение эффективности процесса восстановления долот глубокорыхлителей. В ходе исследований были выявлены аналитические зависимости режимов плазменной наплавки, позволяющие получать покрытия с заданными свойствами износостойкости.

Для достижения поставленной цели был разработан состав наплавочного материала, содержащий карбид вольфрама в качестве упрочняющей фазы. Это позволило повысить ресурс рабочих органов глубокорыхлителей путем применения разработанной технологии восстановления и оснастки.

В процессе экспериментальных исследований были установлены значения параметров плазменной наплавки, обеспечивающие повышение долговеч-

ности долот глубокорыхлителей. Разработанная технология позволяет повысить ресурс долот в 2,8 раза, что подтверждено патентом РФ на изобретение № 2680332» [185].

Кроме того, была разработана технологическая оснастка, позволяющая реализовать способ плазменной наплавки и испытать полученные покрытия на износостойкость. Эта оснастка также подтверждена патентом РФ на изобретение № 2675208.

Таким образом, применение разработанной технологии и оснастки позволяет значительно повысить эффективность процесса восстановления долот глубокорыхлителей, обеспечивая их долговечность и износостойкость.

«При эксплуатации сельскохозяйственных машин вследствие воздействия абразивных частиц рабочие органы (стрельчатые лапы, долота и т. д.) интенсивно изнашиваются, происходит изменение угла резания, рабочих размеров и профиля. Применение современных способов восстановления позволяет повысить долговечность рабочих органов глубокорыхлителей и требует установления оптимальных параметров процесса ремонта для деталей. Поэтому необходимо определить эффективность восстановления рабочих органов сельскохозяйственных машин плазменной наплавкой [194]. В результате практических исследований были установлены зависимости твердости наплавленного шва от силы тока, скорости наплавки, состава наплавочного материала. Выявлены оптимальные режимы наплавки: напряжение - 70 В, сила тока - 200 А, скорость наплавки - 5 м/ч, содержание карбида вольфрама - 50 % по массе порошка. При этом износостойкость повышается в 1,5-1,7 раза» [194].

«Изобретение относится к области ремонта изношенных деталей с применением сварки и наплавки и может быть использовано при восстановлении рабочих органов почвообрабатывающих машин [136]. Способ включает удаление изношенной режущей-лезвийной части долота, изготовление накладной пластины из стали ШХ9 полосового проката шириной 16 мм и толщиной 5,5 мм, ее приваривание к восстанавливаемому долоту и упрочнение поверхности

накладной пластины путем наплавки по всей площади поверхности накладной пластины износостойкого материала» [136] в виде электродной проволоки с диаметром 2,2-2,4 мм и определенным составом посредством электродуговой наплавки под слоем флюса постоянным током обратной полярности с соответствующим режимом. Использование изобретения позволяет повысить твердость и износостойкость восстанавливаемого рабочего органа и соответственно увеличить его долговечность.

Последствия низкого ресурса почвообрабатывающих машин — это не только нарушение агротехнических требований, предъявляемых к технологиям обработки почвы, но и увеличение времени обслуживания техники. Количество внеплановых технических обслуживаний может увеличиваться до 7. В работе [186] авторы предлагают использовать техническую керамику для повышения ресурса рабочих органов. В работе оценено состояние исследований и перспектив применения в Российской Федерации керамических материалов для потребностей агропромышленного комплекса.) Использовали наноструктурный бёмит, полученный методом гидротермального синтеза, для улучшения свойств материалов и покрытий. Определяли трещиностойкость способом индентирования, содержание метана в биогазе - хроматографическим методом. Привели результаты применения алюмооксидной керамики для изготовления деталей почвообрабатывающей техники, что позволяет увеличить ресурс деталей для обработки суглинистых почв в 2,4-4,5 раз. Отметим, что для повышения прочности, износостойкости и трещиностойкости материала перспективным представляется создание нанокompозитов.

Доказали, что добавление бёмита в противоположное покрытие повышает стойкость литейных заготовок на истирание в 2,5 раза. Дополнительно снижается количество раковин и каверн в отливках, снижает количество отходов, что в целом позволяет повысить качество литья и снизить приведенные затраты на изготовление деталей.

Керамические материалы благодаря высокой твердости, износостойкости и коррозионной стойкости становятся перспективными для применения в агропромышленном комплексе.

В работе [146] объект исследования - процессы взаимодействия почвообрабатывающих рабочих органов с почвой, цель работы - разработка методов и теории функционирования инновационных рабочих органов и автоматизированных технических средств для ресурсосберегающей обработки почвы. Методика исследований - теоретические, экспериментальные лабораторные, лабораторно-полевые исследования. Результаты работы и их новизна: экспериментально доказана возможность рыхления поверхностного слоя почвы без внедрения механического деформатора. Впервые получено, что подача пульсирующего сжатого воздуха по ходу движения рабочего органа щелереза обеспечивает снижение тягового сопротивления в зависимости от его скорости движения в диапазоне 21...27%. Разработана методика 3D-моделирования сложной пространственной поверхности почвообрабатывающих рабочих органов. Осуществлена разработка новых материаловедческо-технологических и конструктивных параметров почворезущих рабочих органов, позволяющих существенно (в 1,5-2,5 раза) повысить их абразивную износостойкость и ресурс, в ряде случаев обеспечить эффективное импортозамещение. Область применения результатов исследований – ресурсосберегающие технологии обработки почвы и технологии формирования покрытий на почвообрабатывающих рабочих органах. Значимость работы - предложены принципиально новые аспекты технологии обработки почвы и технологии формирования покрытия почвообрабатывающих рабочих органов.

Повышение ресурса и других технических характеристик рабочих органов сельскохозяйственных машин путем использования новых материалов и твердых сплавов позволяет повысить эксплуатационные показатели нагруженных деталей и улучшить качество работы при выполнении технологических операций [140]. Из проведенных исследований следует, что легирование твердосплавных материалов и покрытий из них новыми высокоизносостойкими

тугоплавкими соединениями - эффективный способ повышения долговечности деталей машин, эксплуатируемых в высокоабразивных средах.

В статье Борисенко, И. Б. [21] «представлены результаты сравнительных испытаний серийных и экспериментальных стрелчатых лап культиватора КПС-4, выполненных из листа стали 65Г толщиной 6 мм и подвергнутых объемной закалке. Серийные лапы упрочнены электродуговой наплавкой сор-майта, экспериментальные стрелчатые лапы подвергнуты поверхностному упрочнению износостойким покрытием Ц-131229, состоящим из двух основных компонентов: никелевой матрицы и карбидов вольфрама. Параметрами, контролируемыми при износе, являлись: ширина захвата лапы, ширина крыла лапы, острота режущей части лапы, средний весовой износ лапы, а также развитие возникающих дефектов износостойкого покрытия на момент выбраковки экспериментальной стрелчатой лапы. Ресурс экспериментальной стрелчатой лапы до выбраковки составил 48 га, что превышает ресурс серийного образца (16,5 га) на 190%» [21].

В работе В. Н. Буйлова [31] исследуется перспективный подход к повышению ресурса почвообрабатывающей сельскохозяйственной техники. Автор акцентирует внимание на разработке и «внедрении инновационных технологий и технических средств, направленных на восстановление и упрочнение рабочих органов машин. В частности, рассматриваются такие методы, как наплавка в жидком теплоносителе и электролизное борирование» [31].

Одним из ключевых аспектов исследования является разработка аналитических моделей прогнозирования долговечности рабочих органов, восстановленных с использованием указанных методов. Эти модели основаны на глубоком физико-химическом обосновании состава электролита, что позволяет более точно прогнозировать срок службы восстановленных деталей и оптимизировать процесс их восстановления.

Таким образом, работа В. Н. Буйлова представляет собой важный вклад в развитие технологий восстановления и упрочнения рабочих органов сельскохозяйственной техники, что способствует повышению их ресурса и эффективности эксплуатации.

«Проведен анализ причин износа рабочих органов культиваторов, Буйлов, В. Н. [30]. Представлены основные выбраковочные параметры, из-за которых данные элементы теряют свою работоспособность. Проведен анализ факторов, влияющих на степень изнашивания рабочих органов культиваторов. Предложены теоретические рекомендации по созданию равнопрочного почвообрабатывающего агрегата, рабочие органы которого подвергаются равномерному износу независимо от их расположения на машине» [30].

Общая классификация способов повышения и восстановления ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин показана на рисунке 1.7.

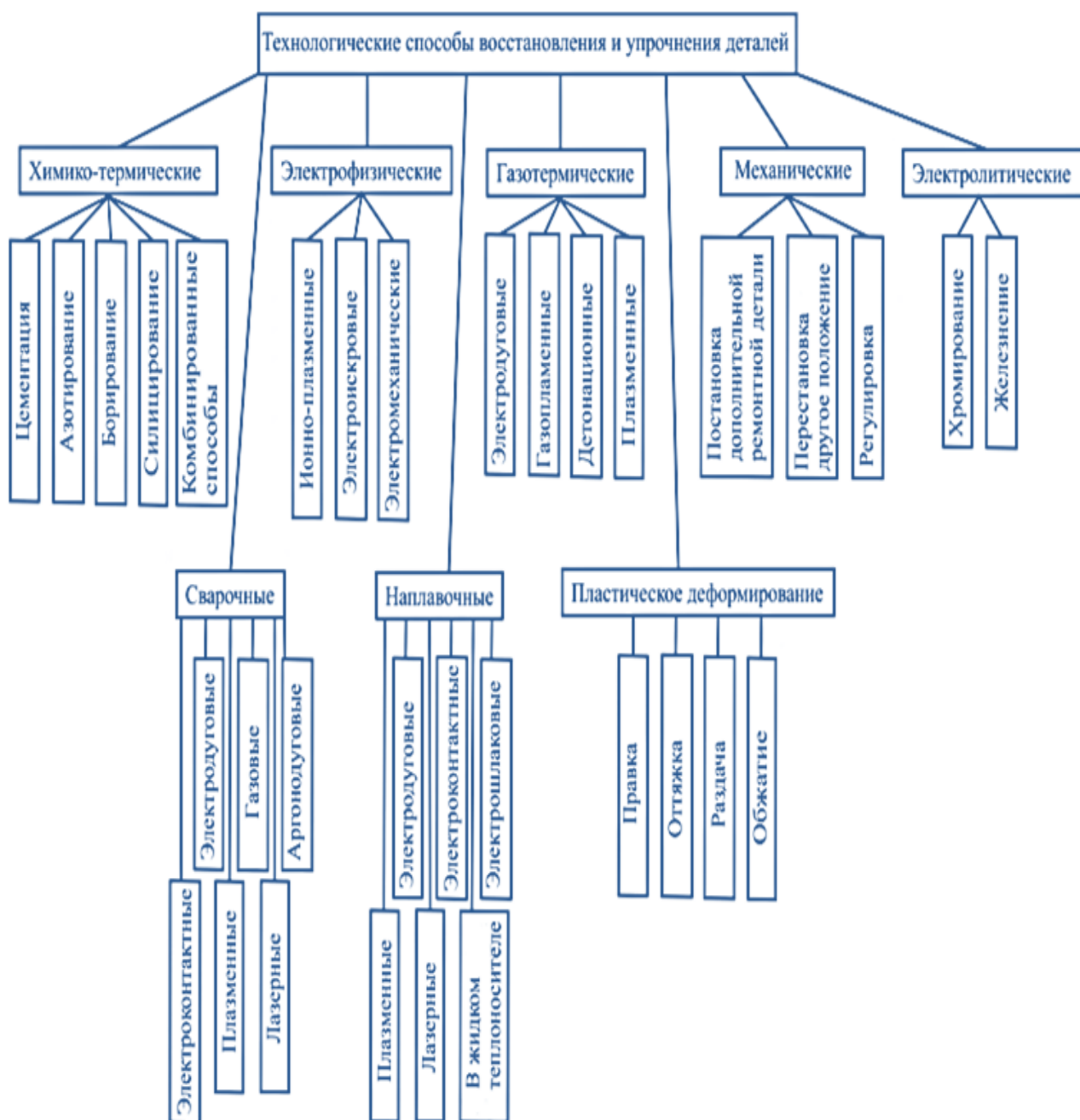


Рисунок 1.7 – Классификация способов повышения и восстановления ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин

Среди них можно выделить отдельный класс работ, посвященных технологиям дуговой наплавки твердых сплавов. На основании проведенных исследований были установлены оптимальные геометрические формы и схемы нанесения наплавочных материалов. Оптимальные формы нанесения ранжируются от отдельно взятых точек, до полос и валиков. Эффективность этого направления достаточно высока, увеличение ресурса армированных рабочих

органов может составлять до 100 % (по сравнению с образцами, выполненных из углеродистой стали), однако данные технологии имеют существенный недостаток – 20 кратное увеличение стоимости готового изделия, рисунок 1.8.

На основании этого хочется выделить направление по изготовлению рабочих органов литьём из серого или высокопрочного чугуна [83].

В изучаемой диссертационной работе предложена технология изготовления рабочего органа плуга, позволяющая в одном цикле провести не только технологические операции изготовления, но и технологические операции упрочнения рабочего органа. Достигается это тем, что проведение нормализации, закалки и отжига базовой детали проводят в одном цикле. Для этого необходимо исходные отливки разместить на монолитной стальной плите, которая служит аккумулятором тепловой энергии, рисунок 1.9. Результаты проведенных экспериментов показали, что за счет массы плиты получается с аккумулятором запас теплоты, которого оказывается достаточным для отжига изделия феррито-перлитную молекулярную структуру. Дальнейшее охлаждение плиты с базовыми заготовками происходит по предлагаемым кривым охлаждения. Причем скорости охлаждения для различных участков заготовок предлагаются разные и контролируются оператором.

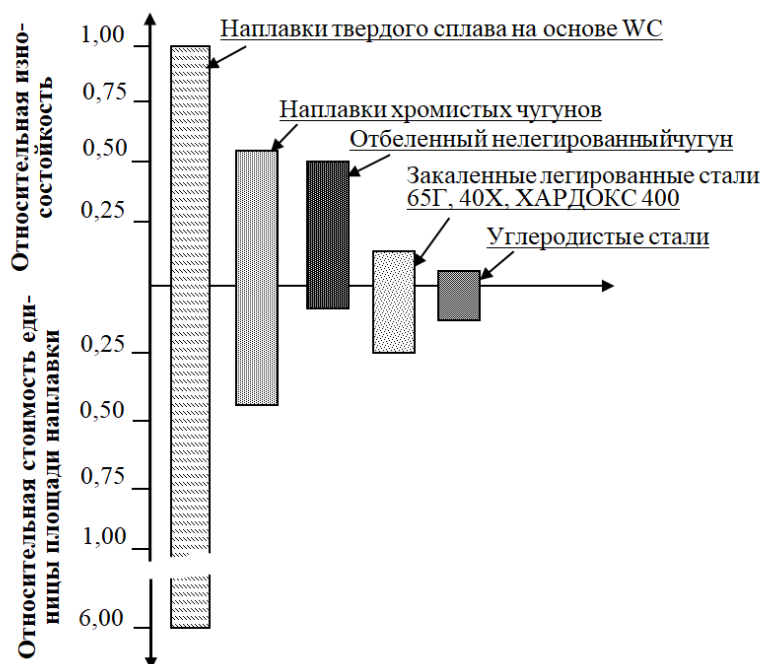
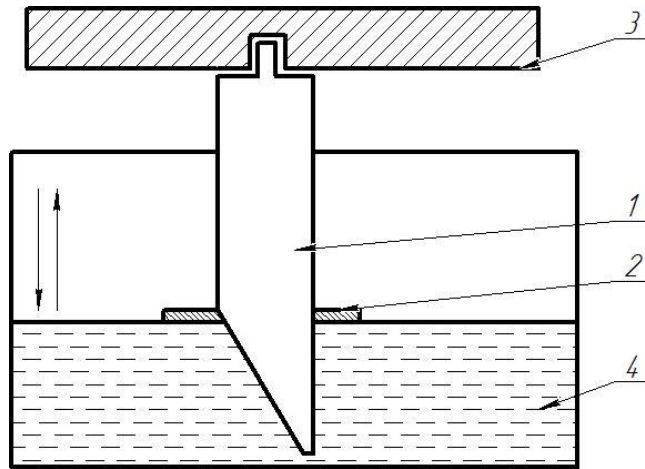


Рисунок 1.8 – Диаграмма стоимости применяемых технологий упрочнения материалов к их относительной износостойкости



1 – базовая заготовка; 2 – защитный экран; 3 – монолитная стальная плита; 4 – закалочная среда

Рисунок 1.9 – Комплексная термическая обработка базовых деталей типа долото

Результаты описываемой комплексной термической обработки, показаны на рисунке 1.10.

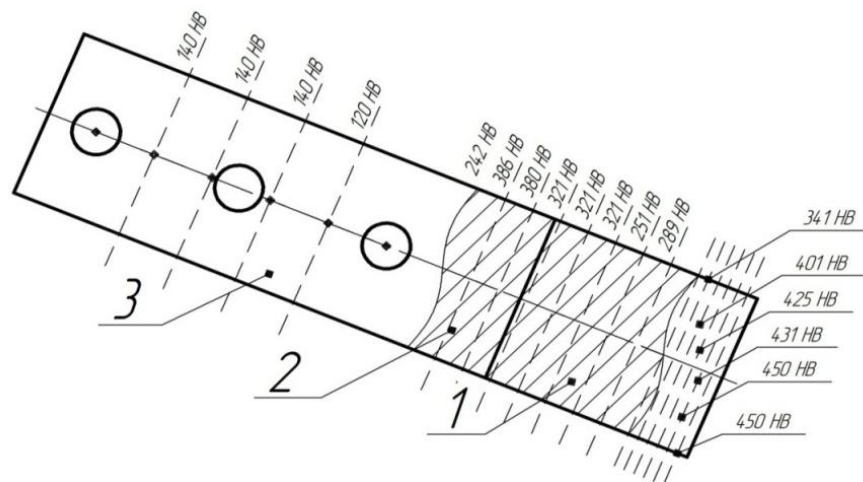


Рисунок 1.10 – Градиент твердости поверхности базовой детали

В результате комплексной термической обработки были получены следующие металлографические структуры по участкам долота:

- нижний бейнит (НВ 340-450), зона режущей кромки;
- перлит (120-240), средняя часть долота – зона крепления;
- феррито-перлитная структура (120-140), задняя часть долота.

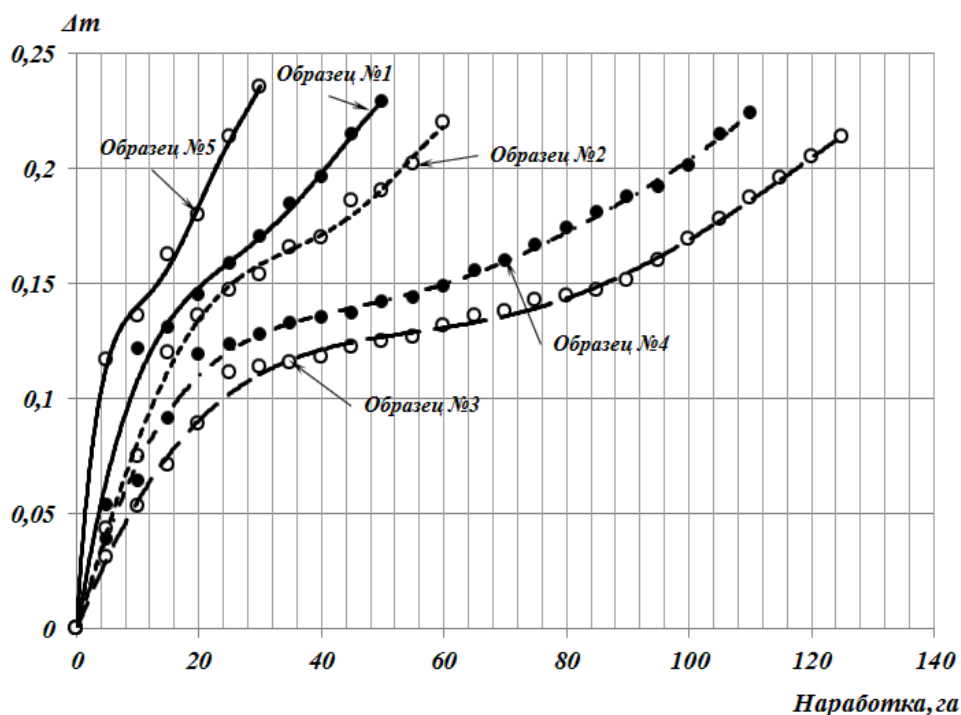
В ходе дополнительных исследований авторы изучили влияние различных методов обработки поверхности на эксплуатационные характеристики долот [83]. Эксперименты включали оплавление поверхности, нагрев до закалочных температур и оплавление токами высокой частоты.

Натурные испытания экспериментальных образцов продемонстрировали, что наибольший ресурс достигается у долот, изготовленных из материала ВЧ-50 (рисунок 1.11). Применение предложенной технологии обработки позволило увеличить ресурс долот более чем в четыре раза по сравнению с исходными образцами.

Использование материала ВЧ-50 обеспечивает значительное повышение износостойкости и прочности долот, что особенно важно в условиях интенсивной эксплуатации. Благодаря специальной технологии обработки, удалось добиться существенного увеличения срока службы долот, что позволяет существенно снизить затраты на их замену и обслуживание.

Таким образом, применение материала ВЧ-50 и предложенной технологии обработки является эффективным решением для повышения ресурса долот и оптимизации производственных процессов

Кроме того, оплавление рабочей поверхности лазером и токами высокой частоты также продемонстрировало значительное повышение ресурса по сравнению с эталонным образцом, выполненным из стали 65Г. Эти результаты подтверждают эффективность предложенной технологии и открывают перспективы для её дальнейшего применения в промышленности.

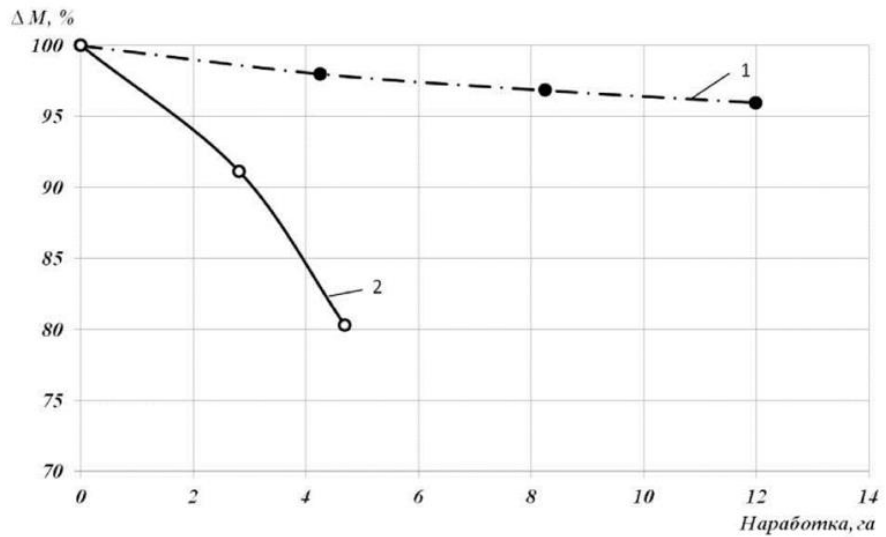


- Образец 1 - чугун ВЧ50 (изотермическая закалка);
 образец 2 - чугун ВЧ50 (термоциклическая закалка);
 образец 3 - чугун ВЧ50 (термоциклическая закалка + лазерная обработка поверхности);
 образец 4 - чугун СЧ20 (термоциклическая закалка + закалка токами высокой частоты);
 образец 5 - сталь 65Г (закалка, охлаждение в масле + отпуск).

Рисунок 1.11 – Изменение массы долот в зависимости от объема выполненных работ

В работе [114] автором предлагается технология упрочнения режущей части рабочего органа плуга. Основывается она на формировании режущей кромки наплавочного валика методом поверхностного легирования. Материал, используемый для легирования – наплавочный порошок ПГ-С27 (ГОСТ 21448-75). Наплавляемый валик сваривался с материалом рабочего органа, образуя износостойкий слой.

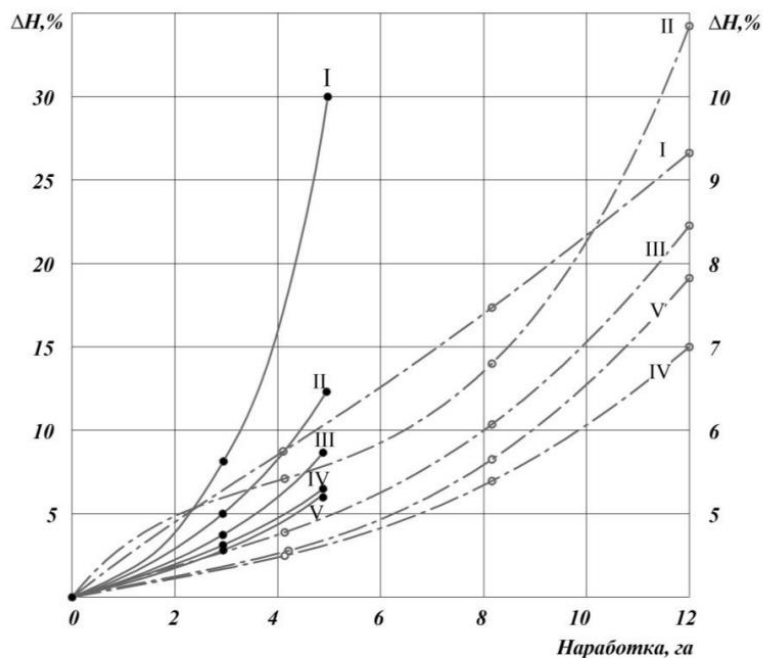
Результаты экспериментальных исследований на износостойкость образцов, выполненных по предлагаемой технологии и стандартных рабочих органов (производитель Рубцовский завод), представлены на рисунке 1.12



1 –экспериментальный рабочий орган; 2 – серийный рабочий орган

Рисунок 1.12 – Изменение массы рабочих органов от объема выполненных работ

Линейный износ рабочих органов показан на рисунке 1.13



прямая линия – линейный износ серийного лемеха;

штрихпунктирная – линейный износ экспериментального лемеха

Рисунок 1.13 – Линейный износ рабочего органа в контролируемых сечениях

Более детальный анализ состояния режущей кромки рабочего органа, при наработке 12 га, показал, что экспериментальные рабочие органы сохранили свою изначальную геометрию, и остроту режущей кромки. Серийный рабочий орган, при наработке 4,8 га, был выбракован по причине затупления режущей части.

1.3 Методология исследования ресурсов рабочих органов почвообрабатывающих машин

Разработка новых методов упрочнения поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин и совершенствование существующих методов требует методологических основ, позволяющих дать оценку эффективности существующим технологиям. Как правило, основу экспериментальных методов составляет: теория надежности, математическая статистика и трибология.

Рассмотрим методику оценки износа режущей части долота и бокового деформатора чизельного плуга, рисунок 1.14 [181].



a)



б)

Рисунок 1.14 – Боковой деформатор (а) и основное долото (б)
чизельного плуга

Оценки износа, наблюдаемых рабочих органов, проводилась по экспериментальной выборке в количестве 50 штук, при их эксплуатационной наработке 35 гектар. На начальной стадии экспериментальные образцы очищали от загрязнений механическим способом. Измерение линейного износа осуществлялось путем сравнения его с эталонным (номинальным) образцом методом наложения.

Полученная в ходе измерения информация оформлялась в виде вариационного ряда, таблицы 1.1, 1.2. Дальнейшая статистическая обработка информации проводилась с использованием пакета программ *Excel*, таблицы 1.3, 1.4.

Таблица 1.1 – Вариационный ряд износа основного долота

№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм
1	18,4	11	21,5	21	22,5	31	23,5	41	24,8
2	19,2	12	21,6	22	22,7	32	23,6	42	24,8
3	19,7	13	21,8	23	22,7	33	23,6	43	24,9
4	20,3	14	21,8	24	22,8	34	23,6	44	25,2
5	20,4	15	21,9	25	23,0	35	23,9	45	25,3
6	20,8	16	22,1	26	23,0	36	24,0	46	25,4
7	21,0	17	22,3	27	23,1	37	24,2	47	25,5
8	21,2	18	22,4	28	23,1	38	24,2	48	25,5
9	21,2	19	22,4	29	23,2	39	24,3	49	25,7
10	21,3	20	22,4	30	23,4	40	24,7	50	26,3

Таблица 1.2 - Вариационный ряд износа бокового деформатора

№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм
1	18,7	11	24,7	21	27,5	31	28,6	41	29,3
2	19,4	12	25,3	22	27,8	32	28,7	42	29,5
3	19,5	13	25,5	23	27,9	33	28,7	43	29,5
4	20,7	14	26,1	24	27,9	34	28,7	44	29,7
5	21,0	15	26,2	25	28,0	35	28,8	45	29,8
6	21,3	16	26,4	26	28,2	36	28,8	46	30,3
7	21,6	17	27,0	27	28,2	37	28,9	47	30,3
8	22,2	18	27,1	28	28,4	38	29,0	48	30,6
9	22,9	19	27,3	29	28,4	39	29,0	49	30,9
10	24,5	20	27,5	30	28,5	40	29,2	50	31,2

Таблица 1.3 – Статистический ряд износа основного долота

Интервал, мм	18,400- 19,529	19,529- 20,657	20,657- 21,786	21,786- 22,914	22,914- 24,043	24,043- 25,171	25,171- 26,300
Середина интервала (I_{CP})	18,964	20,093	21,221	22,350	23,479	24,607	25,736
Частота (m_i)	2	3	7	12	12	7	7
Опытная вероятность (P_i)	0,04	0,06	0,14	0,24	0,24	0,14	0,14
Накопленная опытная вероят- ность ($\sum_{i=1}^n P_i$)	0,04	0,10	0,24	0,48	0,72	0,86	1,00

Таблица 1.4 - Статистический ряд износа бокового деформатора

Интервал, мм	18,700- 20,486	20,486- 22,271	22,271- 24,057	24,057- 25,843	25,843- 27,629	27,629- 29,414	29,414- 31,200
Середина интервала (I_{CP})	19,593	21,379	23,164	24,950	26,736	28,521	30,307
Частота (m_i)	3	5	1	4	8	20	9
Опытная вероятность (P_i)	0,06	0,10	0,02	0,08	0,16	0,40	0,18
Накопленная опытная вероят- ность ($\sum_{i=1}^n P_i$)	0,06	0,16	0,18	0,26	0,42	0,82	1,00

На основании полученных расчетных данных был осуществлен подбор теоретического закона распределения износа образцов. Параметры закона нормального распределения приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Параметры закона нормального распределения

Показатели	tcp	σ	tcm	V	tn	tb	$\delta, \%$
Основное долото	22,982	1,780	17,836	0,346	19,992	25,972	1,84
Боковой деформатор	26,914	3,159	17,807	0,347	21,607	32,222	2,79

Количественные значения экспериментальных данных позволяют получить графическое представление распределения величины износа рабочих органов по интервалам наработки, рисунки 1.15-1.18

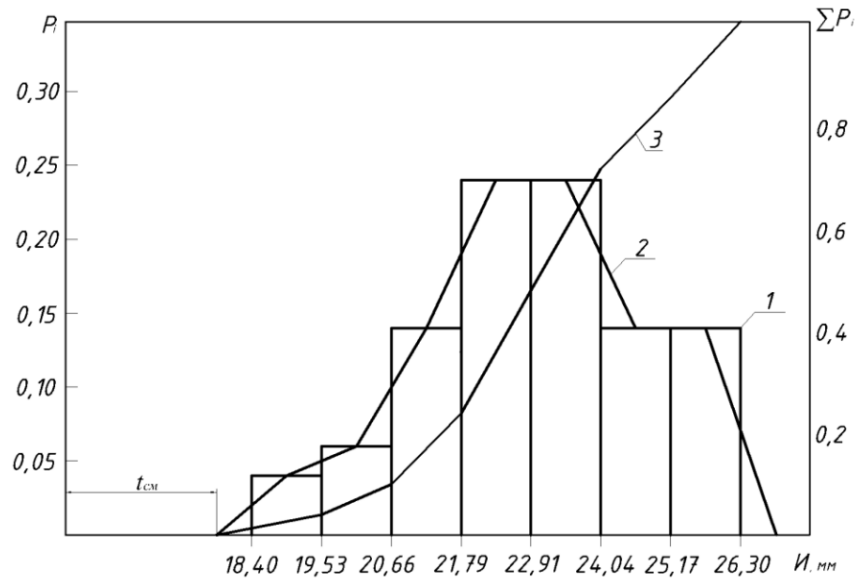


Рисунок 1.15 – 1 – гистограмма распределения величин износа; 2 – полигон распределения величин износа; 3 - кумулятивная кривая величин износа режущей кромки основного долота

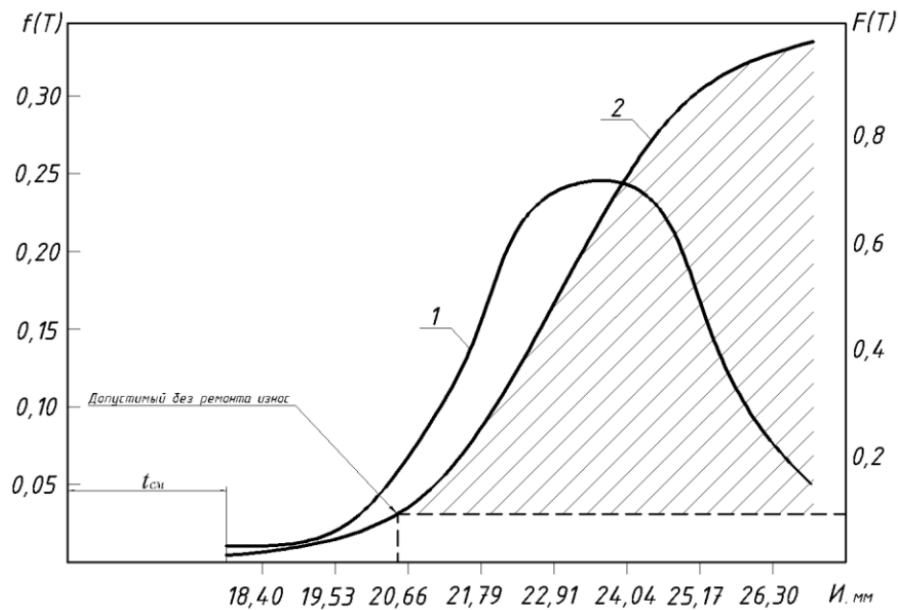


Рисунок 1.16 – 1 – дифференциальная кривая закона нормального распределения; 2 – интегральная кривая закона нормального распределения величины износа режущей кромки основного долота

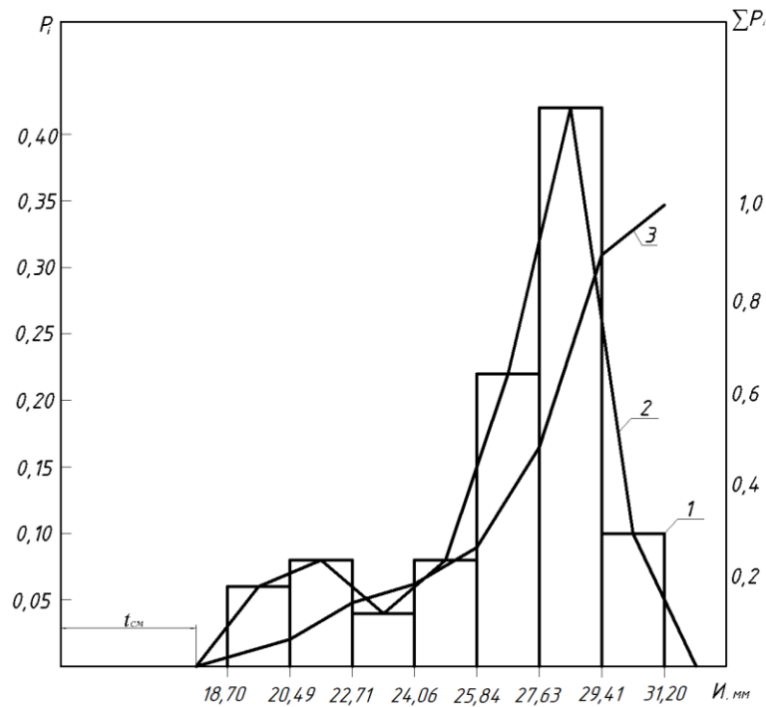


Рисунок 1.17 – 1 – гистограмма распределения величин износа; 2 – полигон распределения величин износа; 3 - кумулятивная кривая величин износа режущей кромки бокового деформатора

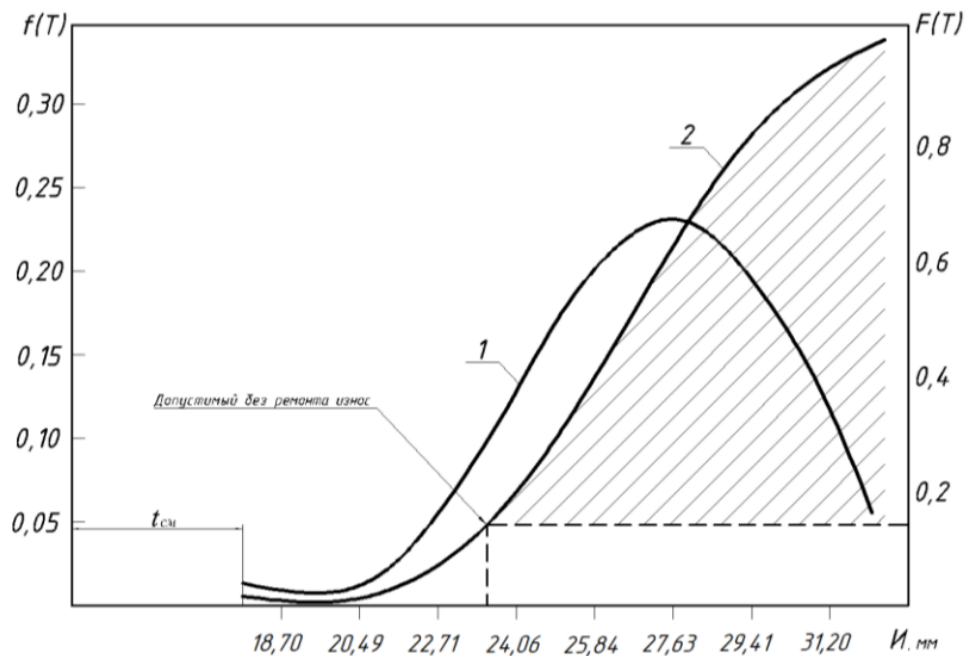


Рисунок 1.18 – 1 – дифференциальная кривая закона нормального распределения; 2 – интегральная кривая закона нормального распределения величины износа режущей кромки бокового деформатора

Полученные графические материалы позволяют оценить предельное значение ресурса серии рабочих органов, а также возможность прогнозирования остаточного ресурса типовых рабочих органов, эксплуатирующихся в данных почвенных условиях. Основные виды из приведенного анализа следующие:

1. При наработке 25 гектар на одно основное долото 94% долот имеют величину износа режущей кромки более 20 мм, что является причиной их выбраковки. Отбракованные долота могут быть подвергнуты восстановлению методами электродуговой наплавки или приварки к изношенной поверхности замещающих режущих частей.

2. При наработке 35 гектар на один боковой деформатор 86% деформаторов имеют величину износа более 22 мм, величина наибольшего износа составляет до 31,2 мм. Соответственно рабочие органы с предельным износом режущей части должны быть отбракованы.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Ресурс орудий для сплошной обработки почвы определяется значением ресурса их рабочих органов, который в свою очередь лимитирован стойкостью рабочей поверхности к абразивному износу.

2. Существующие способы упрочнения поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин не могут быть рекомендованы по технико-экономическим критериям.

3. Проведенный научный анализ продемонстрировал высокоэффективный способ увеличения эксплуатационного ресурса рабочих органов чизельного плуга посредством нанесения армированных валиков из материалов повышенной твердости на контактные поверхности долота.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий за счет обоснования геометрических параметров их рабочей поверхности.

Задачи исследования:

- 1) провести анализ существующих способов повышения долговечности рабочих органов чизельных орудий;
- 2) теоретически обосновать геометрические размеры продольных армировочных валиков, располагаемых на носовой поверхности рабочего органа чизельного плуга;
- 3) разработать программу экспериментальных исследований и провести полевые испытания чизельного агрегата, оборудованного модернизированными рабочими органами;
- 4) выполнить сравнительную оценку показателей долговечности модернизированных рабочих органов с серийными образцами;
- 5) оценить экономическую эффективность применения модернизированных рабочих органов чизельного плуга.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ АРМИРОВОЧНЫХ ВАЛИКОВ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПО КРИТЕРИЮ МИНИМИЗАЦИИ ПРИРОСТА ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

2.1 Физическая картина движения частиц почвы по наклонной плоскости долота плуга, армированной поперечным валиком

Как было отмечено в материалах первой главы одним из действенных методов повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин считается применение армировочных валиков, наплавляемых, или получаемых при изготовлении, на режущую кромку. В этом случае армировочный валик располагается перпендикулярно вектору скорости движения почвообрабатывающего орудия, что может существенно увеличить тяговое сопротивление отдельных секций, а, следовательно, и всего агрегата. Связано это с изменением профиля плоскости контакта рабочего органа, профилю приобретает криволинейный вид, т.е. перестает быть плоским. Поэтому основной задачей, решаемой в рамках оценки эффективности данного метода, является оценка величины увеличения тягового сопротивления рабочего органа, армированного поперечным валиком. Ответ на это вопрос может быть получен из силового анализа движущейся по поверхности частицы почвы [78, 79].

Принимаемые при силовом анализе допущения следующие:

1. Форма армировочного валика представляет собой цилиндрическую поверхность, размер которой определяется её радиусом.
2. В процессе износа армировочного валика форма его поверхности остается цилиндрической, изменяется, в сторону уменьшения, только её радиус.
3. Вектор скорости частиц почвы направлен перпендикулярно образующим цилиндрической поверхности армировочного валика.

4. В процессе взаимодействия частицы почвы и поверхности армировочного валика, в виду малого времени взаимодействия, масса и размер частиц остается величиной постоянной [78].

Физическая картина процесса взаимодействия частицы почвы с армировочным валиком показана на рисунке 2.1. Частица почвы, вступая в контакт с валиком, огибает его, и продолжает свое движение по плоскости рабочего органа. При этом вектор скорости движения частицы (V_0) направлен в противоположную сторону скорости движения агрегата (V).

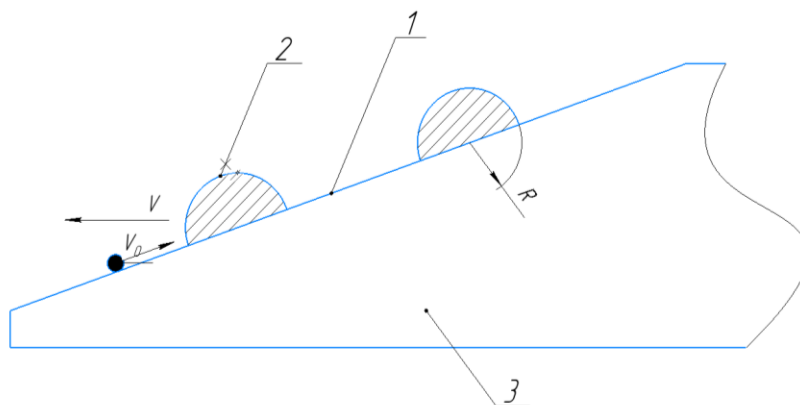


Рисунок 2.1 - Физическая картина процесса взаимодействия частицы почвы с армировочным валиком долота:

1 – плоскость взаимодействия рабочего органа; 2 – армировочный валик; 3 – долото плуга

Проведем анализ активных сил, действующих на движущуюся частицу почвы, по армировочному цилиндрическому валику радиуса R . Примем m – масса частицы, P – усилие, оказываемое основным пластом почвы на частицу, прижимая её к поверхности долота. При соприкосновении частицы в точке А с границей армировочного валика происходит изменение вектора скорости частицы, как по величине, так и по направлению. Это изменение происходит ударно, т.е. резко меняется количество движения движущейся частицы почвы.

После этого, частица почвы начинает двигаться по поверхности армировочного валика, при этом вектор скорости частицы направлен по касательной к его поверхности, рисунок 2.2, и определяется величиной угла φ , $V=V(\varphi)$. При условии, что в процессе взаимодействия с армировочным валиком частица почвы неразрывна с общим пластом почвы, проекция её скорости на плоскость рабочего органа остается постоянной. Тогда можно записать

$$V(\varphi) = \frac{V_0}{\cos(\varphi)}, (0 \leq \varphi \leq \varphi_0) \quad (2.1)$$

Процесс взаимодействия частицы почвы с затылочной частью армировочного валика нами рассматриваться не будет, так как данная поверхность меньше нагружена силами со стороны почвы, чем фронтальная поверхность. На основании этого примем, что $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$.

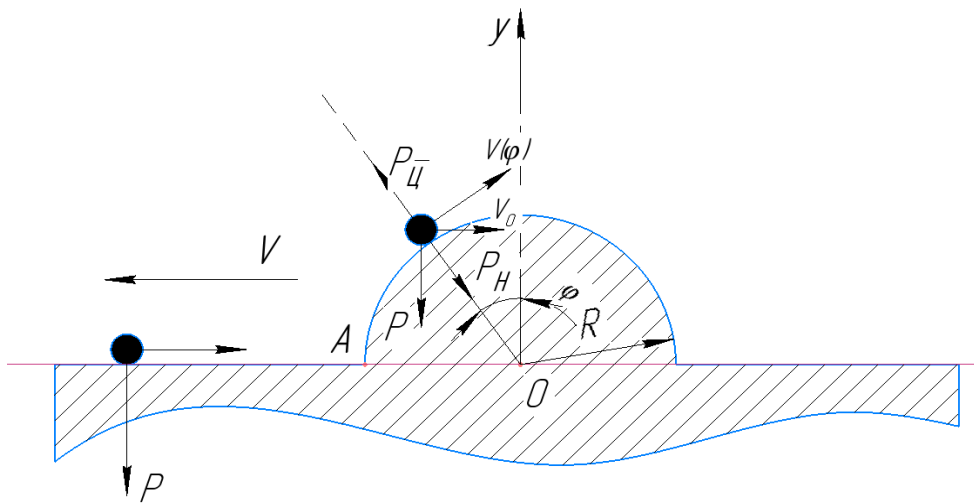


Рисунок 2.2 – Анализ силового взаимодействия частицы почвы с армировочным валиком

Поведем анализ силового взаимодействия частицы почвы с фронтальной поверхностью армировочного валика. Примем допущение, что проекция силы

P на нормаль по модулю равна самой силе P . Данное допущение можно считать верным если исходить из условия, что высота армировочного валика невелика

Тогда можно будет записать

$$P_H = \frac{P}{\cos(\varphi)}, (0 \leq \varphi \leq \varphi_0). \quad (2.2)$$

Модуль центробежной силы определится выражением

$$P_{Ц} = P_{Ц}(\varphi) = \frac{mV^2(\varphi)}{R} = \frac{mV_0^2}{R\cos^2\varphi}, (0 \leq \varphi \leq \varphi_0). \quad (2.3)$$

Тогда усилие давления частицы почвы на фронтальную поверхность армировочного валика определится выражением

$$N(\varphi) = P_H - P_{Ц} = \frac{P}{\cos(\varphi)} - \frac{mV_0^2}{R\cos^2\varphi}. \quad (2.4)$$

Преобразовывая выражение (2.4), получим

$$N(\varphi) = \frac{P}{\cos^2\varphi} \left(\cos(\varphi) - \frac{\frac{mV_0^2}{R}}{P} \right). \quad (2.5)$$

Обозначив

$$\frac{\frac{mV_0^2}{R}}{P} = \frac{P_{Ц}(0)}{P} = \beta,$$

где $P_{Ц}(0)$ – значение центробежной силы при $\varphi = 0$, получим

$$N = N(\varphi) = \frac{P}{\cos^2\varphi} (\cos(\varphi) - \beta). \quad (2.6)$$

Для дальнейшего моделирования процесса взаимодействия частицы почвы с валиком необходимо задать геометрические параметры самой частицы почвы. В работе [78], принято, что частица почвы представляет собой куб с заданной стороной, размером a .

Тогда

$$P = \rho a, \quad (2.7)$$

где p – величина давления почвы на плоскость долота.

Масса частицы почвы

$$m = \rho a^3, \quad (2.8)$$

где ρ – плотность почвы.

С учетом этого, можно записать

$$\beta = \frac{\rho V_0^2 a}{p R}, \quad (2.9)$$

В процессе движения долота в почвенной среде будет происходить изменение геометрического размера армировочного валика, в виду его естественного износа, тогда можно записать, что $R \rightarrow \infty$; $\cos(\varphi_0) \rightarrow 0$; $\beta \rightarrow 0$.

Установим аналитическую связь между этими геометрическими параметрами, рисунок 2.3.

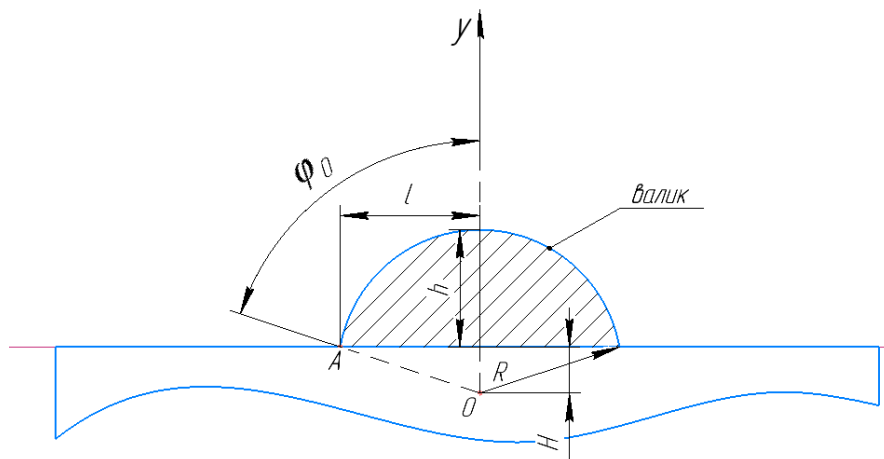


Рисунок 2.3 – К установлению аналитической связи геометрических размеров армировочного валика

Анализ рисунка 2.3. показывает, что:

$$H = R \cos(\varphi_0); l = R \sin(\varphi_0); h = R - R \cos(\varphi_0) = R(1 - \cos(\varphi_0));$$

$$\frac{h}{l} = \frac{1 - \cos(\varphi_0)}{\sin(\varphi_0)} = \frac{2 \sin^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)}{2 \sin\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} = \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_0}{2}\right).$$

(2.10)

Введем обозначение

$$\frac{h}{l} = \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) = \alpha; \frac{\varphi_0}{2} = \operatorname{arctg}(\alpha); \varphi_0 = 2 \operatorname{arctg}(\alpha).$$

(2.11)

Тогда можно записать:

$$\begin{aligned} R &= \frac{l}{\sin(\varphi_0)} = \frac{l}{2 \sin\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} = \frac{l}{2} \left(\frac{\sin^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) + \cos^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} \right) = \\ &= \frac{l}{2} \left(\frac{\sin\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} + \frac{\cos\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} \right) = \frac{l}{2} \left(\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) + \operatorname{ctg}\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) \right) = \frac{l}{2} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right). \end{aligned}$$

(2.12)

Данный параметр можно подсчитать через величину h :

$$\begin{aligned} R &= \frac{h}{1 - \cos(\varphi_0)} = \frac{h}{2 \sin^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} = \frac{h}{2} \left(\frac{\sin^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) + \cos^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} \right) \\ &= \frac{h}{2} \left(1 + \operatorname{ctg}^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) \right) = \frac{h}{2} \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} \right) = \frac{h}{2} \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \\ &= \frac{h}{2} \left(\frac{\alpha^2 + 1}{\alpha^2} \right). \end{aligned}$$

(2.13)

Использование аналитических зависимостей (2.12), (2.13) предполагает наличие экспериментальных данных по геометрическим показателям h и l армировочного валика. Эти параметры должны быть измерены в процессе эксплуатации для разных значений наработки долота.

Для повышения точности предлагаемых аналитических зависимостей можно использовать в них не коэффициент трения почвы о сталь, а коэффициент трения почвы о почву. Связано это с тем, что с затылочной стороны армировочного валика формируются зоны залипания почвы, это приводит к движению частиц почвы по радиусам большим, чем заданный радиус валика.

Моделирование процесса движения почвенных частиц по стальной плоскости, снабженной армировочными валиками, выполнено в программе *Solid Works*, рисунок 2.4 [78].

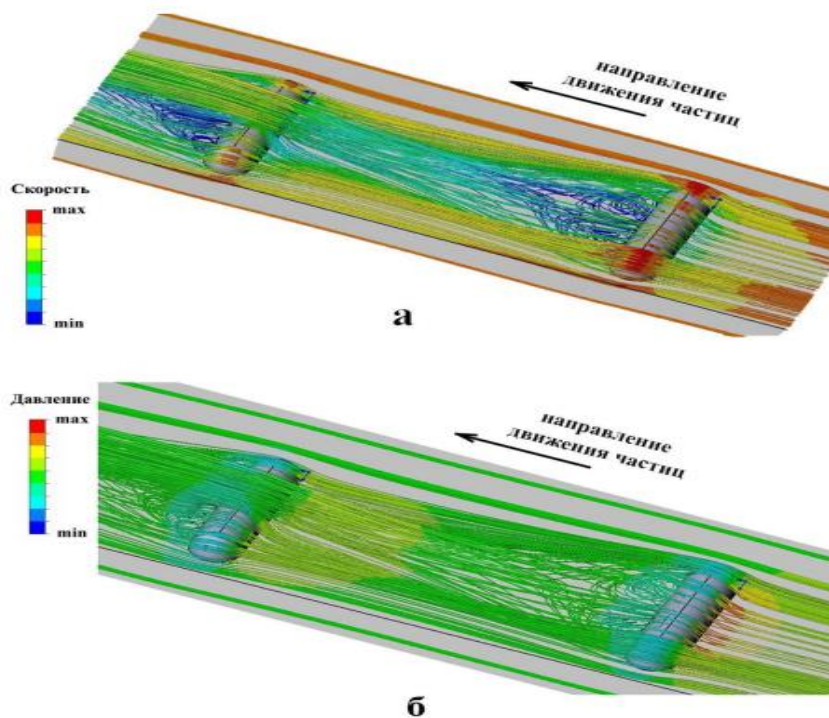


Рисунок 2.4 – Фрагмент имитационной модели движения почвенных частиц по поверхности рабочего органа, оснащенной армировочными валиками. а) – скорости частиц; б) – давление частиц

Имитационная модель показывает, что пиковые значения давления почвы на рабочий орган наблюдаются с фронтальной стороны армировочного

валика, при этом скорость частиц снижается. Минимальные значения скорости и давления наблюдаются в зоне затылочной поверхности валика. В целом, такая картина соответствует физической модели взаимодействия почвы с валиком.

2.2. Моделирование процесса взаимодействия частиц почвы с поверхностью рабочего органа, упрочненной продольным армировочным валиком

На рисунке 2.5. представлен фрагмент носовой части долота, упрочненного продольным армировочным валиком.

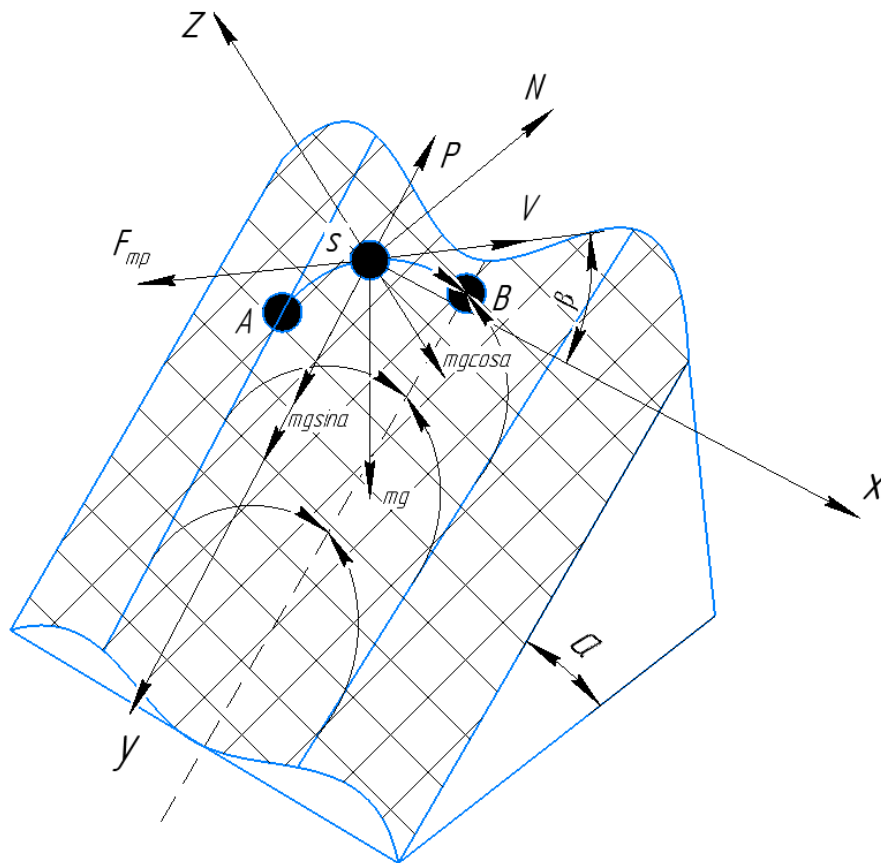


Рисунок 2.5 - Кинематическая схема взаимодействия носовой части рабочего органа с частицей почвенного фона

«Рассмотрим процесс перемещения частицы почвы (тяжелая материальная точка) по наклонной плоскости рабочего органа, оснащенной продольными армировочными валиками. В виду цилиндрической поверхности армировочного валика, при движении под действием активных сил» [173], частица почвы будет перемещаться в пространство между армировочными валиками, и, при определенных условиях, может происходить забивание пространства частицами почвы. Аналитически условие забивания части почвы можно записать в виде $V = 0$. Данное явление нежелательно, в виду возможного прироста тягового сопротивления рабочего органа. Таким образом, при обосновании геометрических параметров армировочных валиков можно исходить из критериального условия $V \neq 0$.

Для обоснования размеров длины и радиуса армировочного валика рассмотрим перемещение частицы почвы из положения А в положение В. В силу наличия действующих сил и сил трения траектория движения будет происходить по некоторой кривой линии S .

Движение частиц происходит под действием следующих активных сил:

P – сила тягового сопротивления движению рабочего органа в почве;

$F_{\text{тр}}$ – сила трения между частицей и поверхности долота в её переносном движении;

mg – «сила тяжести частицы почвы;

Проекция силы тяжести частицы на оси декартовых координат» [173] :

$$X = 0, Y = mg \sin(\alpha), Z = -mg \cos(\alpha)$$

(2.14)

Дифференциальные уравнения частицы в проекциях на оси декартовых координат запишутся в виде:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2x}{dt^2} &= N^x - F_{\text{тр}}^x \\ m \frac{d^2y}{dt^2} &= mg \sin(\alpha) + F_{\text{тр}}^y - P \\ m \frac{d^2z}{dt^2} &= -mg \cos(\alpha) + N^z + F_{\text{тр}}^z. \end{aligned}$$

(2.15)

Для решения поставленной нами задачи введем ряд допущений:

— рабочий орган чизельного орудия представляется как неподвижное тело, а почвенный пласт движется по нему под действием силы P с постоянной скоростью V ;

— обоснование геометрических размеров армировочного валика рассматривается из критерия минимизации прироста сопротивления движению рабочего органа в почве, поэтому на начальном этапе принимается условие $h = z \rightarrow \min$, где h - высота армировочного валика.

С учетом принятых допущений систему дифференциальных уравнений (2.15) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2x}{dt^2} &= -fN \\ m \frac{d^2y}{dt^2} &= mg \sin(\alpha) - fN \\ 0 &= -mg \cos(\alpha) + N \end{aligned} \tag{2.16}$$

Из последнего уравнения определяется величина нормальной реакции

$$N = mg \cos(\alpha),$$

которая остается всегда постоянной, тогда

$$\begin{aligned} m \frac{d^2x}{dt^2} &= -fmg \cos(\alpha) \\ m \frac{d^2y}{dt^2} &= mg \sin(\alpha) - fmg \cos(\alpha). \end{aligned} \tag{2.17}$$

Полученные дифференциальные уравнения необходимо интегрировать совместно. Решение можно упростить. Обратим внимание, что согласно полученной системе уравнений на точку в плоскости OXY действуют две силы: $mg \sin(\alpha)$ – по направлению оси OY и $fmg \cos(\alpha)$ – противоположно вектору скорости точки в относительном движении, которые введя обозначения

$$g_1 = g \sin(\alpha), \quad f_1 = f \operatorname{ctg}(\alpha) \quad (2.18)$$

можно переписать в виде

$$mg_1, \quad f_1 mg_1$$

Тогда систему уравнений 2.17 можно записать в виде уравнения Эйлера

$$m \frac{V}{dt} = g_1 \sin(\alpha) - f_1 g_1$$

$$\frac{V^2}{\rho} = \pm g_1 \cos(\beta) \quad (2.19)$$

где β — угол между направлением относительного движения и осью OX

Знак $+$ во второй зависимости выражения (2.19) относится к случаю, когда траектория движения частицы обращена вогнутостью в сторону положительного направления оси OY и $-$ в противоположном случае.

Учитывая, что

$$\rho = \pm \frac{ds}{d\beta} = \pm V \frac{dt}{d\beta} \quad (2.20)$$

получим

$$dt = \frac{V}{g_1} \cdot \frac{d\beta}{\cos\beta} \quad (2.21)$$

Полученные выражения позволяют определить скорость движения частицы в функции угла β , после чего можно получить зависимость изменения координат x и y в функции угла β , используя соотношения:

$$dx = V \cos(\beta) dt$$

$$dy = V \sin(\beta) dt \quad (2.22)$$

Задачу можно существенно упростить, если ввести новую переменную

$$\delta = \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\beta}{2} \right)$$

(2.23)

Тогда

$$\frac{d\beta}{\cos\beta} = -\frac{d\delta}{\delta}, \sin\beta = \frac{1-\delta^2}{1+\delta^2}, \cos\beta = \frac{2\delta}{1+\delta^2}$$

(2.24)

следовательно, уравнение (2.21) запишется в виде

$$dt = -\frac{V}{g_1} \cdot \frac{d\delta}{\delta}$$

Подставив данное выражение в уравнения (2.19), (2.22) получим

$$\frac{dV}{V} = -\frac{1-\delta^2}{1+\delta^2} \cdot \frac{d\delta}{\delta} + f_1 \frac{d\delta}{\delta}$$

$$dx = \frac{2V^2 d\delta}{g_1(1+\delta^2)}$$

$$dy = \frac{V^2(1-\delta^2)d\delta}{g_1(1+\delta^2)\delta}$$

(2.25)

Интегрируя выражение (2.25) получим

$$V = C\delta^{fctg\alpha-1}(1+\delta^2)$$

(2.26)

$$x = -\frac{2C}{g\sin\alpha} \left(\frac{\delta^{2fctg\alpha-1}}{2fctg\alpha-1} + \frac{\delta^{2fctg\alpha-1}}{2fctg\alpha+1} \right) + A$$

(2.27)

$$y = -\frac{C^2}{g\sin\alpha} \left(\frac{\delta^{2fctg\alpha-2}}{2fctg\alpha-2} + \frac{\delta^{2fctg\alpha+2}}{2fctg\alpha+2} \right) + B$$

(2.28)

$$t = \frac{C}{g\sin\alpha} \left(\frac{\delta^{fctg\alpha-1}}{fctg\alpha-1} + \frac{\delta^{fctg\alpha+1}}{fctg\alpha+1} \right) + T$$

(2.29)

где A , B и T – произвольные постоянные.

Произвольные постоянные определяются по начальным условиям: $t=0$,

$$V=V_0; x=y=0.$$

$$C = \frac{V_0}{\delta^{fctg\alpha-1}(1 + \delta^2)}, \quad (2.30)$$

$$A = \frac{2V_0^2}{g\sin\alpha[\delta^{fctg\alpha-1}(1 + \delta^2)]^2} \left(\frac{\delta^{2fctg\alpha-1}}{2fctg\alpha - 1} + \frac{\delta^{2fctg\alpha+1}}{2fctg\alpha + 1} \right), \quad (2.31)$$

$$B = \frac{2V_0^2}{g\sin\alpha[\delta^{fctg\alpha-1}(1 + \delta^2)]^2} \left(\frac{\delta^{2fctg\alpha-2}}{2fctg\alpha - 2} + \frac{\delta^{2fctg\alpha+2}}{2fctg\alpha + 2} \right), \quad (2.32)$$

$$T = \frac{V_0}{g\sin\alpha[\delta^{fctg\alpha-1}(1 + \delta^2)]} \left(\frac{\delta^{fctg\alpha-1}}{fctg\alpha - 1} + \frac{\delta^{fctg\alpha+1}}{fctg\alpha + 1} \right) \quad (2.33)$$

Если

$$fctg\alpha < 1,$$

то скорость V , согласно уравнению (2.26) обращается в 0 при $\delta=0$. Тогда координаты точки будут равны $x=A$ и $y=B$. Данное положение частица почвы достигнет в момент времени $t=T$. Если длина $y=B$ и ширина продольного армирующего валика $x=A$ будет больше указанных размеров, то частицы почвы будут останавливаться на границе валика и произойдет затор.

В случае $fctg\alpha > 1$, скорость частицы не может обратиться в нуль ни при каком значении δ . Поэтому в случае избегания забивания частиц между армирующими валиками следует использовать следующее критериальное условие $ctg\alpha < 1$.

Общее уравнение траектории частицы почвы.

Используя зависимость

$$\delta^{x_1+y_1} = \delta^{x_1} \delta^{y_1}, \quad (2.34)$$

тогда

$$\delta^{2fctg\alpha-1} = \delta^{2fctg\alpha} \delta^{-1}. \quad (2.35)$$

Обозначив

$$\begin{aligned}\delta^{2fctg\alpha} &= w, \\ \delta^{2fctg\alpha-1} &= w\delta^{-1} = \frac{w}{\delta}.\end{aligned}$$

Тогда выражение (2.27) запишется в виде

$$x = -\frac{2C}{g\sin\alpha} \left(\frac{w}{\delta(2fctg\alpha - 1)} + \frac{w}{\delta(2fctg\alpha + 1)} \right) + A, \quad (2.36)$$

или

$$\begin{aligned}\frac{2Cw}{g\sin\alpha\delta} \left(\frac{4fctg\alpha}{(2fctg\alpha)^2 - 1} \right) &= A - x, \\ \frac{8Cfwctg\alpha}{g\sin\alpha\delta (4f^2ctg^2\alpha - 1)} &= A - x.\end{aligned} \quad (2.37)$$

Откуда

$$C = \frac{(A - x)g\sin\alpha\delta (4f^2ctg^2\alpha - 1)}{8fwctg\alpha}. \quad (2.38)$$

Выражение (2.28) представим в виде

$$y = -\frac{C^2}{g\sin\alpha} \left(\frac{w}{\delta^2(2fctg\alpha - 2)} + \frac{w}{\delta^2(2fctg\alpha + 2)} \right) + B, \quad (2.39)$$

или

$$y = -\frac{C^2w}{\delta^2g\sin\alpha} \left(\frac{4fctg\alpha}{4f^2ctg^2\alpha - 4} \right) + B. \quad (2.40)$$

подставим значение C

$$y = -\frac{(A - x)^2}{\delta^2g\sin\alpha} \left(\frac{4fctg\alpha}{4f^2ctg^2\alpha - 4} \right) \left(\frac{g\sin\alpha\delta (4f^2ctg^2\alpha - 1)}{8fwctg\alpha} \right)^2 + B. \quad (2.41)$$

После сокращения, окончательно получим

$$y = -\frac{(A-x)^2}{(4f^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha - 4)} \cdot \frac{g \sin \alpha (4f^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha - 1)^2}{16fw^2 \operatorname{ctg} \alpha} + B. \quad (2.42)$$

Полученное уравнение представляет собой аналитическую зависимость между длиной и диаметром армировочного валика. Принимая длину армировочного валика равной длине наклонной плоскости носовой части рабочего органа $y = 0,07\text{м}$, получено значение радиуса армировочного валика, выполненного в виде полусферы, $x = r = 0,012\text{м}$.

На рисунке 2.6 представлен армировочный валик на поверхности рабочего органа, геометрические размеры которого соответствуют аналитическим расчетам.

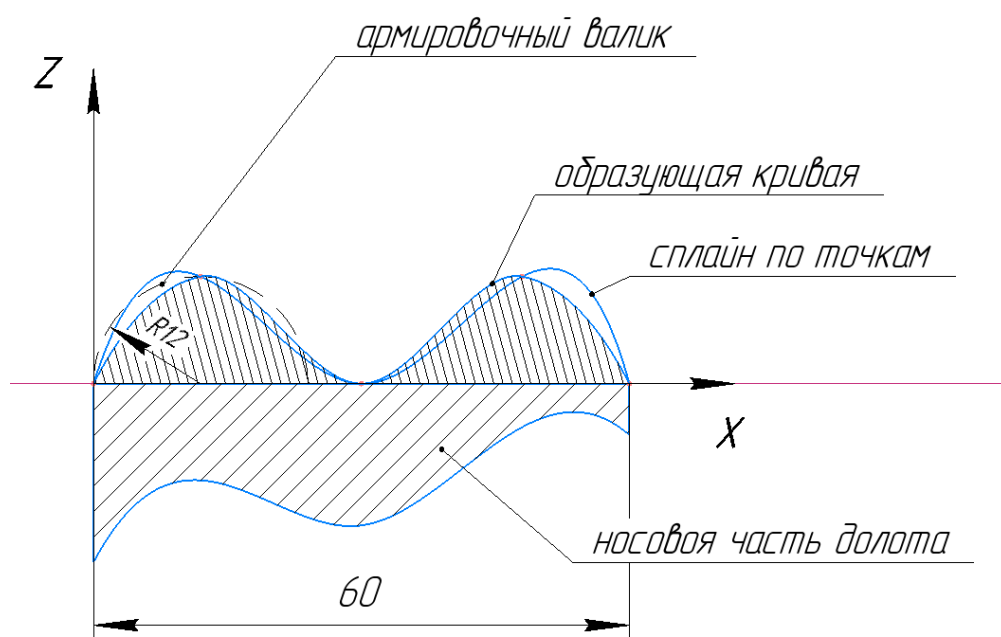
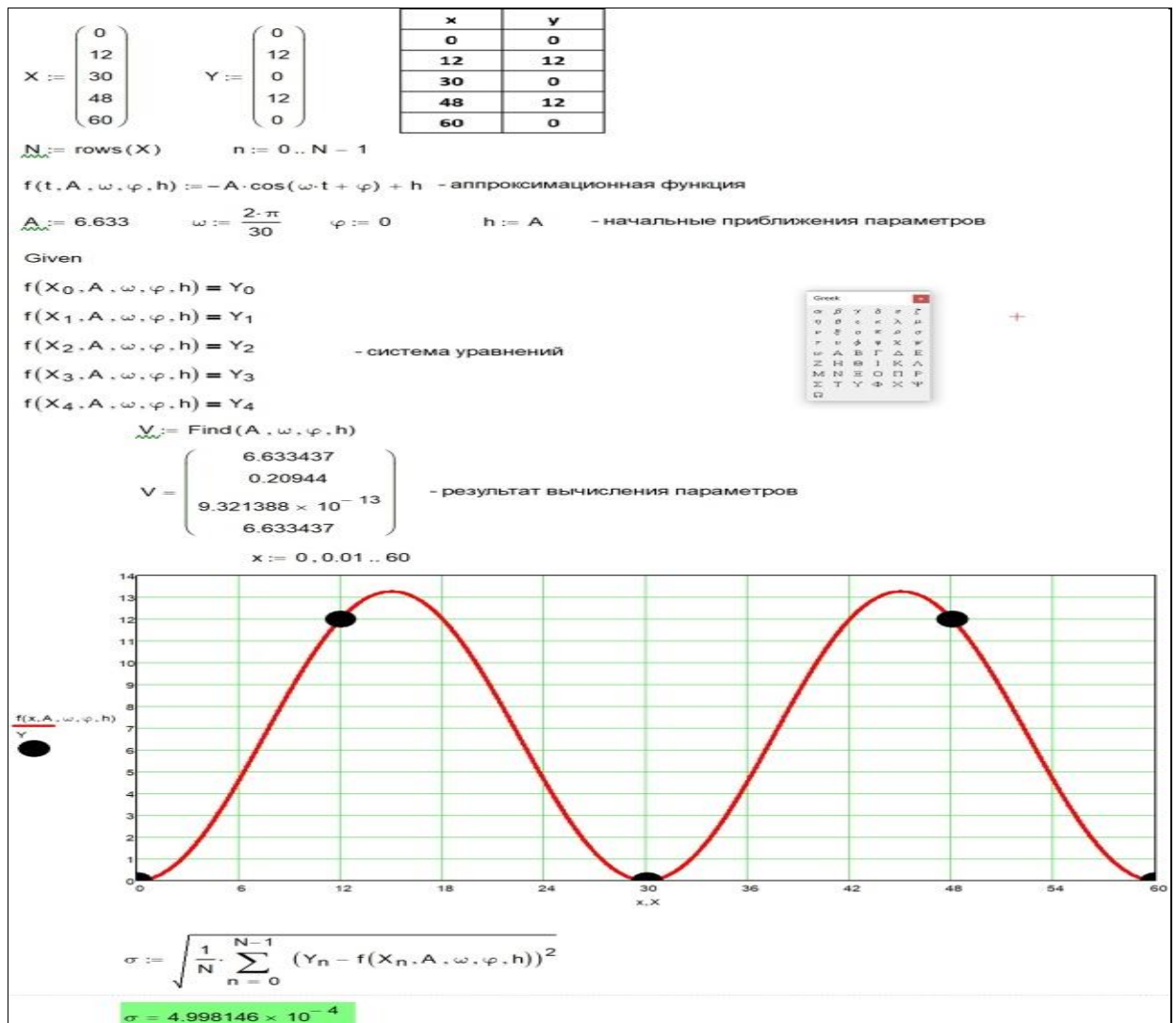


Рисунок 2.6 – Форма армировочных валиков на поверхности рабочего органа

Соответственно на поверхности рабочего органа можно разместить два продольных армировочных валика, выполненных в виде полусферы, радиусом r . Через их геометрическую область существования можно провести образующую кривую линию, являющиеся линией сопряжения. На рисунке 2.6 – образующая кривая построена инструментами программного продукта *Компас 3D*:

в первом случае образующая кривая выполнена с помощью графического инструментария «Кривая Безье» (Кривая Безье является частным случаем многочленов Бернштейна), во втором случае – сплайн по точкам.

Аналитическую функцию образующий кривой можно получить, зная координаты реперных точек, которые определяются размерами фронтальной части рабочего органа. Подбор аппроксимирующей функции выполнен в программном продукте *Mathcad*, рисунок 2.7.



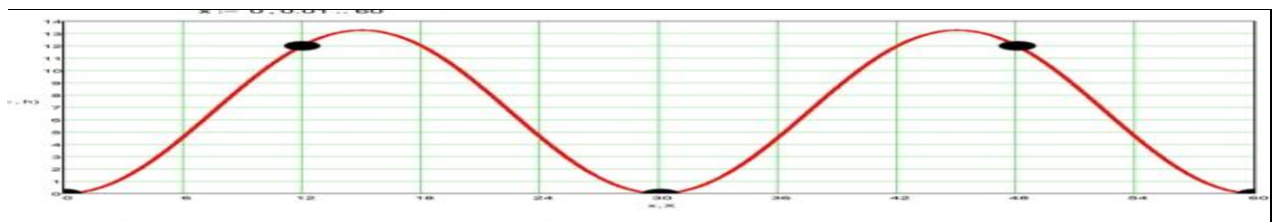
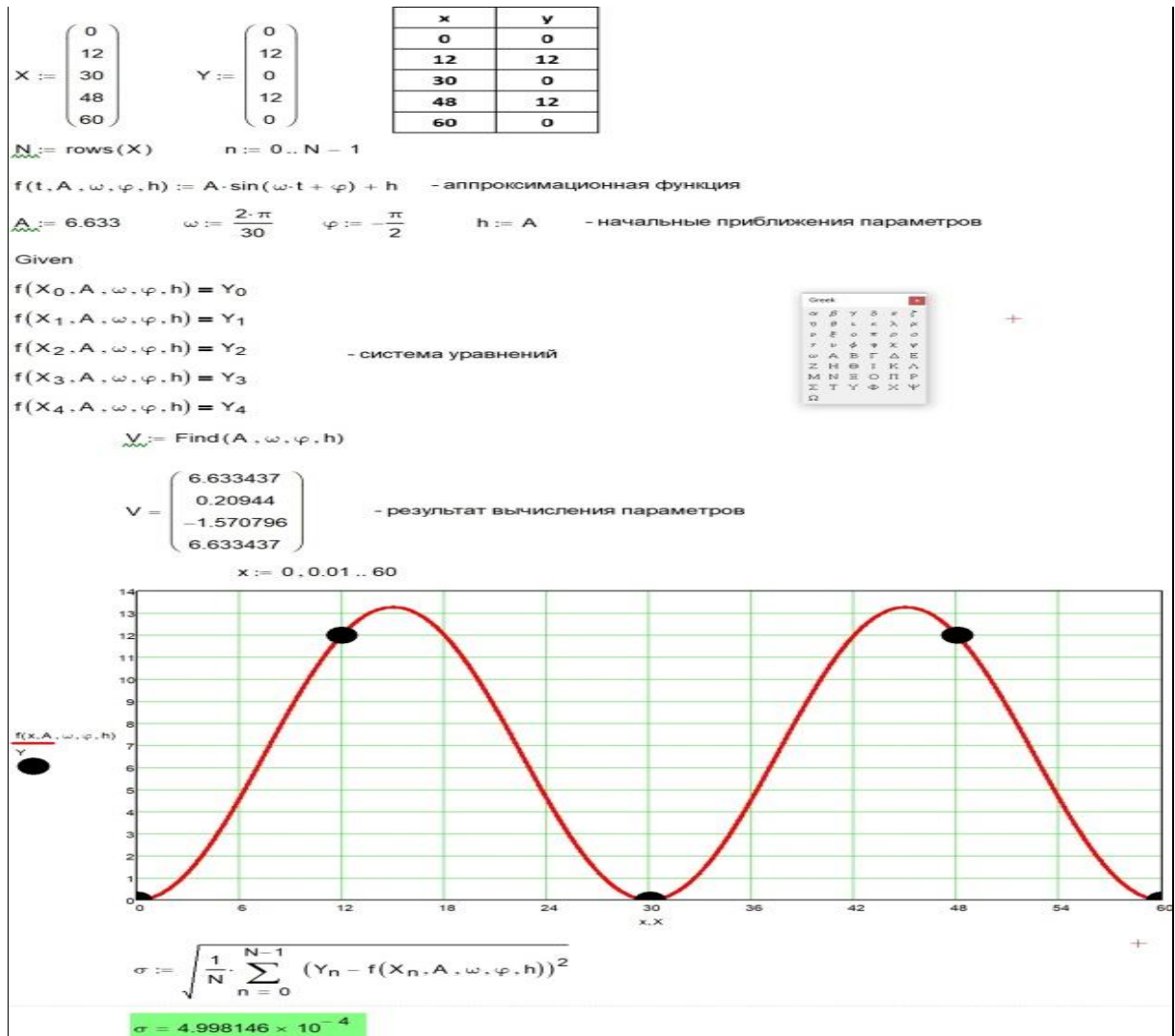


Рисунок 2.7 – Скриншоты рабочего листа *Mathcad* документа.

На основании проведенного анализа найдено следующее аналитическое уравнение образующей кривой линии:

$$z = A \sin(0,2x - 1,57) + A$$

(2.43)

где A – постоянный коэффициент, $A = 6,63$;

область существования аналитической функции $x \in [0; 60]$.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Рассмотрены процессы взаимодействия частиц почвы с поверхностью чизельного рабочего органа, упрочненного поперечными и продольными армировочными валиками.

2. Использование в качестве упрочнения поперечно-армировочных валиков из наплавляемого материала не целесообразно с энергетической точки зрения, т.к. их применение приводит к увеличению силы сопротивления движению рабочего органа. Получены математические зависимости, позволяющие оценить прирост силы сопротивления.

3. Подложено критериальное условие в аналитическом виде, позволяющее избежать забивания частиц почвы между армировочными валиками.

4. На основании предложенного критерия установлена аналитическая зависимость между длиной и диаметром армировочного валика, выполненного в виде полусферы. Приняв длину армировочного валика равной длине наклонной плоскости носовой части рабочего органа $l = 0,07\text{м}$, получено значение радиуса армировочного валика, выполненного в виде полусферы, $r = 0,012\text{м}$. В результате анализа и обработки данных установлена взаимосвязь между параметрами, характеризующими форму и расположение армировочных валиков. На основе этих данных было получено уравнение, описывающее образующую кривую, которая представляет собой линию сопряжения указанных валиков. Это уравнение позволяет точно определить форму и положение линии сопряжения, что имеет важное значение для проектирования и изготовления конструкций с армировочными элементами.

3. ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧИЗЕЛЬНОГО АГРЕГАТА, РАБОЧИЕ ОРГАНЫ КОТОРОГО УПРОЧНЕНЫ ПРОДОЛЬНЫМИ АРМИРОВОЧНЫМИ ВАЛИКАМИ

Программа экспериментальных исследований чизельного агрегата, оборудованного модернизированными рабочими органами, состояла из следующих основных этапов:

- 1) изготовление опытной партии экспериментальных рабочих органов;
- 2) создание экспериментальной установки, позволяющей выполнить тяговые испытания рабочей секции чизельного орудия, оборудованной модернизированными рабочими органами;
- 3) создание натурального объекта исследования, в виде чизельного машинно-тракторного агрегата, позволяющего оценить эффективность применения модернизированных рабочих органов в реальных условиях эксплуатации;
- 4) проведение сравнительных полевых испытаний модернизированных и серийных объектов на износостойкость.

3.1 Изготовление опытной партии модернизированных рабочих органов

Технологический процесс изготовления экспериментальной партии модернизированных рабочих органов включал в себя следующие технологические операции:

- получение отливок рабочего органа с заданными геометрическими характеристиками рабочей поверхности;
- механическая обработка полученных отливок: удаление наплывов, шлифовка поверхности, сверление крепёжных отверстий, нарезание резьбы;

— термическая обработка основных функциональных зон экспериментальных отливок.

Модернизированные долота было принято изготавливать литьем в песчано-глинистые формы. Для этой цели была изготовлена модель рабочего органа посредством *3D*-печати.

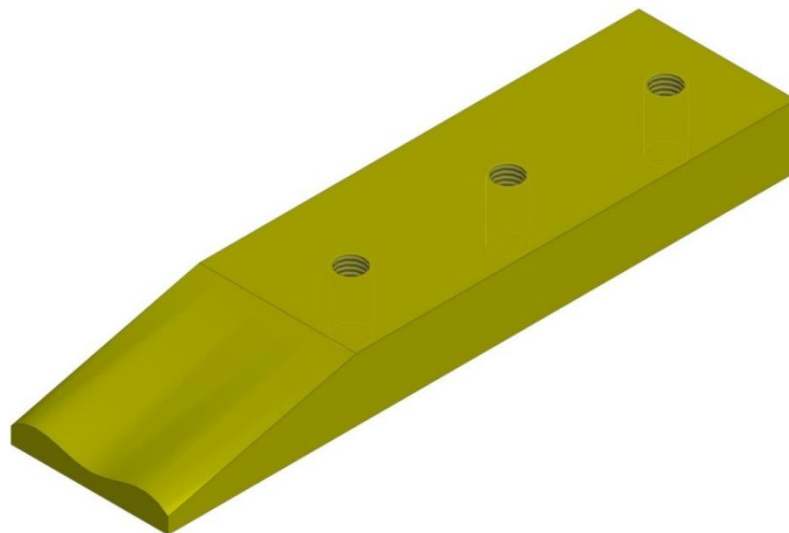


Рисунок 3.1 – Фрагмент модернизированного рабочего органа



Рисунок 3.2 – Модель модернизированного рабочего органа, полученная посредством *3D*-печати

По полученной *3D*-модели рабочего органа в литейной лаборатории ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» была отлита партия экспериментальных рабочих органов. В качестве основ-

ного материала для изготовления экспериментальных долот, согласно рекомендациям [81], был выбран высокоуглеродистый сплав ВЧ-50. Экспериментальные рабочие органы, после операций механической обработки, были подвергнуты термической обработке, состоящей из изотермической закалки, и низкого отпуска [81]. Основные режимы термической обработки представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Режимы термической обработки, применяемые для упрочнения экспериментальных долот

№ партии	Закалка		Отпуск
	Нагрев	Охлаждение	
1	<p>Ступенчатый: до 600° С в печи с шагом 100° С в течение 15 мин. Далее нагрев до 900° С в соляной ванне, время выдержки – 40 мин, затем перенос в соляную ванну $t = 400^{\circ} \text{C}$, время выдержки 2 часа.</p>	воздух	<p>Температура отпуска – 240° С. Время выдержки – 2 часа</p>

3.2 Создание экспериментальной установки по определению тягового сопротивления рабочей секции чизельного орудия, оборудованной экспериментальными рабочими органами

Следующий этап программы экспериментальных исследований включал в себя создание экспериментальной установки способной оценить значение отдельно взятой секции чизельного орудия, оборудованной экспериментальными долотами различной геометрической формы. Основной целью создания такой установки являлось установление взаимосвязи новой геометрической поверхности носовой части долота с энергетическими затратами процесса чизелевания.

В качестве основного элемента экспериментальной установки выступала рама садового культиватора с ходовой системой. На раму при помощи переходных звеньев крепилась рабочая секция чизельного агрегата ОЧО-5.

С целью отслеживания влияния исключительно формы рабочих органов на тяговое сопротивление секции, с секции были демонтированы дополнительные элементы: отвал, крылья, дополнительные деформаторы, элементы крепления, рисунки 3.3, 3.4.



Рисунок 3.3 – Общий вид экспериментальной установки по определению тягового сопротивления рабочей секции чизельного орудия



Рисунок 3.4 – Общий вид экспериментальных рабочих органов чизельного плуга

В процессе выполнения экспериментальных работ непрерывно фиксировались следующие параметры: горизонтальная составляющая тягового сопротивления секции; крюковое усилие трактора; действительная скорость движения. Эксперименты выполнялись на почвенном фоне стерня озимой пшеницы. Влажность почвенного фона в процессе выполнения экспериментальных работ варьировалась от 12 до 19 %.

3.2.1. Устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор

Устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор, включает промежуточную раму, навешиваемую на нижние и верхнюю тяги трехточечной гидронавесной системы трактора, несущую двухплечие рычаги, шарнирно закрепленные соосно на промежуточной раме, и измерительное средство. Свободные концы двухплечих рычагов, оси поворота которых расположены вертикально, соединены с нижними тягами гидронавесной системы и снабжены сопряженными между собой зубчатыми секторами. На валу вращения одного из соединенных с нижними тягами рычагов установлено зубчатое колесо, сопряженное с шестерней, смонтированной на вертикально расположенной оси вращения кривошипа, соединенного с верхней тягой гидронавесной системы. Один конец упомянутого вала двухплечевого рычага жестко закреплен на основании. Измерительное средство выполнено в виде датчика крутящего момента, размещенного между зубчатым колесом и концом вала, жестко закрепленным на промежуточной раме. Обеспечивается повышение точности измерения горизонтального усилия от навесной сельскохозяйственной машины или орудия, рисунок 3.5, 3.6

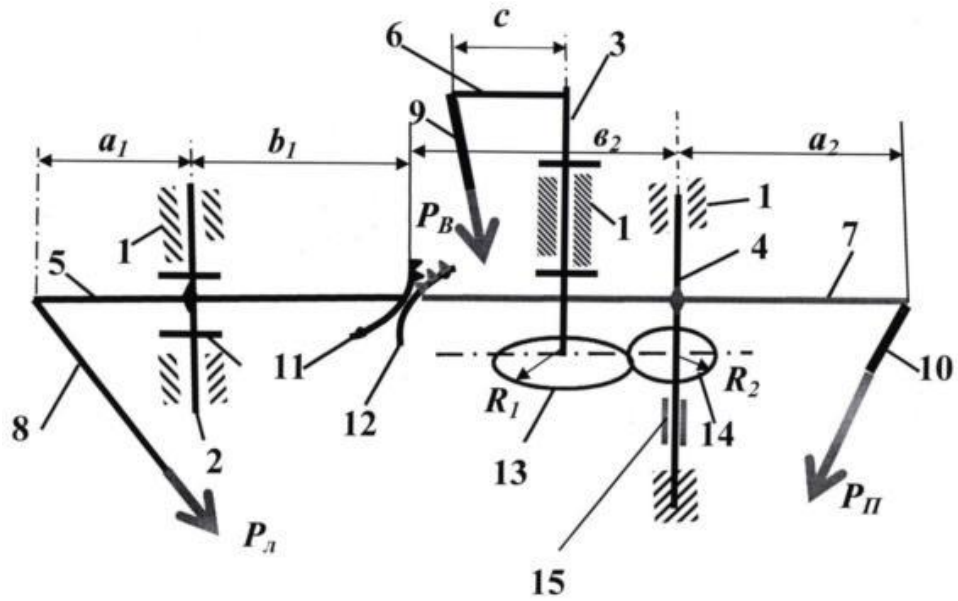


Рисунок 3.5 – Кинематическая схема устройства для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор

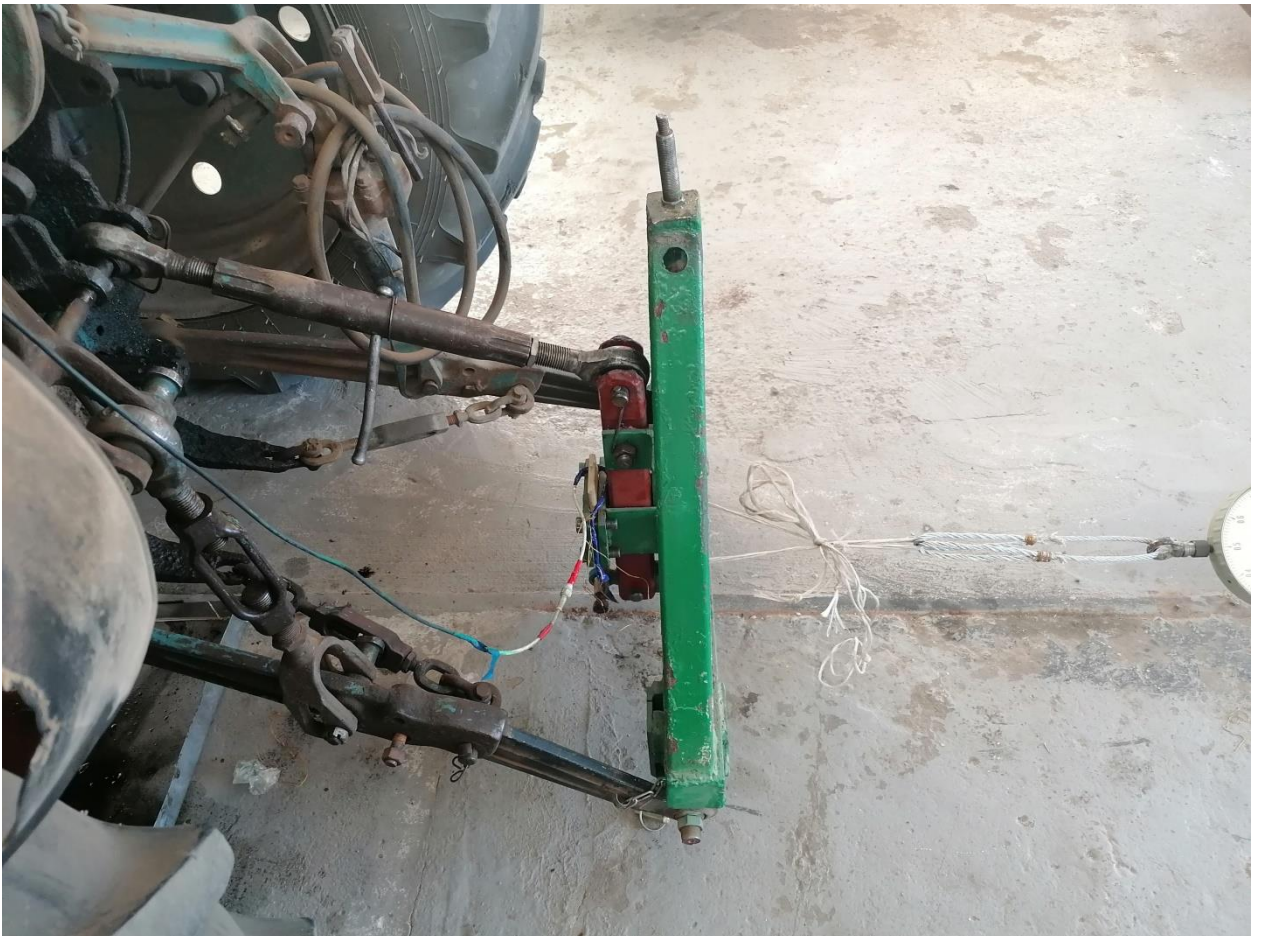


Рисунок 3.6 – Общий вид устройства для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор

Задача, решаемая изобретением - упрощение конструкции за счет использования единого измерительного элемента в виде датчика крутящего момента.

Технический результат - повышение точности измерения горизонтального усилия от навесной сельскохозяйственной машины или орудия.

Указанный технический результат достигается устройством для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор, включающим промежуточную раму, навешиваемую на нижние и верхнюю тяги трехточечной гидронавесной системы трактора, несущую двуплечие рычаги, соосно закрепленные на промежуточной раме, и измерительное средство, отличающимся тем, что оси поворота рычагов расположены вертикально, свободные концы двуплечих рычагов, соединенных с нижними тягами гидронавесной системы, снабжены сопряженными между собой зубчатыми секторами, на валу вращения одного из соединенных с нижними тягами рычагов установлено зубчатое колесо, сопряженное с шестерней, смонтированной на вертикально расположенной оси вращения кривошипа, соединенного с верхней тягой гидронавесной системы, при этом один конец вала упомянутого двуплечего рычага жестко закреплен на основании, а измерительное средство выполнено в виде датчика крутящего момента, размещенного между зубчатым колесом и концом вала, жестко закрепленным на промежуточной раме.

Изобретение поясняется чертежами, где на рисунке 3.5 схематически представлена кинематическая схема заявленного устройства.

На промежуточной плите, несущей опоры с радиально упорными подшипниками 1 вертикально установлены валы 2, 3, 4, к которым жестко прикреплены двуплечие рычаги 5, 6, 7. К одним концам рычагов 5, 6, 7 подсоединяются три тяги гидронавесной системы трактора 8, 9, 10. На вторых концах двуплечих рычагов 5 и 7 закреплены зубчатые секторы 11 и 12. На валу 3 установлено зубчатое колесо 13, а на валу 4 - зубчатая шестерня

14. Вал 4 снизу жестко соединен с переходной плитой. На валу 4 ниже колеса 14 установлен датчик 15 крутящего момента, показания которого зависят от величины крутящего момента в валу под ним. Вертикальное расположение осей 2 и 4 поворота двуплечих рычагов и оси 3 вращения кривошипа, закрепленных в радиально упорных подшипниках 1, обеспечивает передачу на датчик 15 крутящего момента только суммарного горизонтального усилия

При работе устройства усилия от тяг 8, 9, 10 гидронавесной системы трактора приводят к перекачиванию зубчатых секторов 11 и 12, суммируя на валу 4 усилия от нижних тяг, а шестерни 13 и 14 также добавляют усилие от верхней тяги 9.

Крутящий момент от горизонтальной составляющей $P_{л}$ составляет $M_{л}=P_{л}a_1 v_2/v_1$. Крутящий момент от правой горизонтальной $P_{п}$ составляющей - $M_{п}=P_{п}a_2$. Крутящий момент от верхней горизонтальной $P_{в}$ составляющей $M_{в}=P_{в}a_1 R_2/R_1$.

Для того, чтоб при одинаковых значениях усилий $P_{л}$, $P_{п}$, $P_{в}$, например, 10 кН, показания датчика крутящего момента были одинаковыми, необходимо выполнение соотношения:

$$100a_2 = 100a_1 \frac{v_2}{v_1} = 100c \frac{R_2}{R_1},$$

или

$$\frac{a_1 v_2}{a_2 v_1} = \frac{c R_2}{a_2 R_1} = 1$$

где a_1 и a_2 - длины внешних рычагов 5 и 7, мм;

b_1 и b_2 - радиусы делительных окружностей зубчатых секторов 11 и 12, мм;

c - радиус кривошипа 6, мм.

За счет заявленной совокупности признаков, включающей зубчатые секторы, шестерню и колесо, а также вертикальное расположение осей по-

ворота двуплечих рычагов и вращения кривошипа, обеспечивающих передачу на датчик крутящего момента только суммарного горизонтального усилия, достигается описанный технический результат, **патент RU 2 776191 C1**.

Тарирование предложенного устройства осуществлялось в стационарных условиях при помощи динамометра, рисунок 3.7.



Рисунок 3.7 – Тарирование устройства для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор

3.2.2. Способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины

Группа изобретений относится к области сельскохозяйственного машиностроения, к измерительным средствам для изучения тягового сопротивления и нагруженности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий. Способ и устройство определения точки приложения равнодей-

ствующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины, включает закрепление на рабочем органе силоизмерительных элементов и определение величины равнодействующей продольных сил, действующих на рабочий орган, посредством тензодатчиков. Одновременно измеряют величину изгибающего момента от упомянутой равнодействующей относительно фиксированной точки, а мгновенное расстояние от фиксированной точки до точки приложения равнодействующей определяется по зависимости:

$$H = \frac{M}{P}$$

где H - мгновенное расстояние от фиксированной точки до точки приложения равнодействующей продольных сил, м;

M - значение изгибающего момента в фиксированной точке, Н·м;

P - значение равнодействующей продольных сил, Н.

Технический результат - определение точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины, рисунок 3.7.

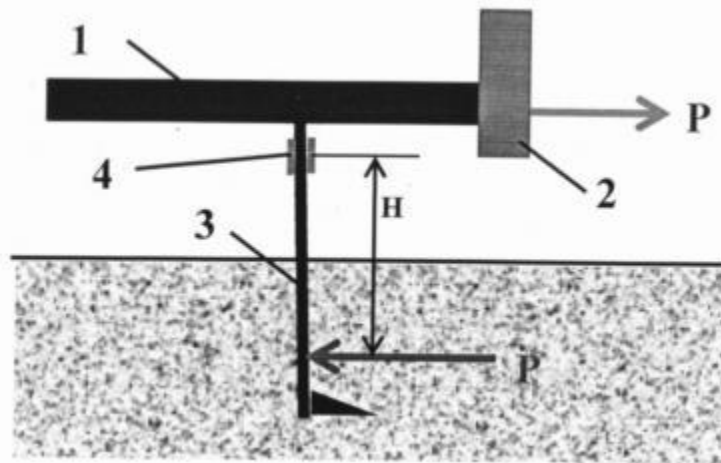


Рисунок 3.8 – Общий вид устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины

Задача, решаемая изобретением - расширение функциональных возможностей известных технических решений для определения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины.

Технический результат - определение дополнительно точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины.

Изобретение поясняется чертежом, где на рисунке 3.8 схематично изображен общий вид заявленного устройства.

Устройство содержит раму 1 с датчиком 2 значения равнодействующей продольных сил, действующих на рабочий орган 3, перемещаемый присоединенным трактором (на чертеже не показан). Устройство снабжено датчиком 4, например, тензометрического типа, измеряющим изгибающий момент от упомянутой равнодействующей относительно фиксированной точки. Датчики 2 и 4 связаны со входами устройства для вычисления (на чертеже не показано).

Заявленный способ реализуют следующим образом.

На рабочем органе 3 предварительно закрепляют силоизмерительные элементы 2 для определения величины равнодействующей продольных сил, действующих на рабочий орган 3, и 4. Выходы силоизмерительных элементов 2 и 4 подключают ко входам вычислительного устройства. В процессе перемещения рабочего органа 3 на него действуют усилия со стороны почвы, при этом одновременно измеряют равнодействующую P горизонтальных усилий и величину изгибающего момента M от упомянутой равнодействующей относительно фиксированной точки. Мгновенное расстояние H от фиксированной точки до точки приложения равнодействующей определяется вычислительным устройством по математической зависимости, приведенной в формуле изобретения.

За счет одновременного измерения равнодействующей продольных усилий, действующих на рабочий орган почвообрабатывающего агрегата,

и момента от этой равнодействующей относительно фиксированной точки, и вычисления мгновенного значения положения равнодействующей продольных усилий, согласно приведенной математической зависимости, реализуемого посредством вычислительного устройства, достигается заявленный технический результат, **патент RU 2801775 C1**.



Рисунок 3.9 – Измерение горизонтальной составляющей тягового сопротивления чизельной стойки

3.2.3 Регистрация действительной скорости движения экспериментального МТА

Регистрацию действительной скорости движения МТА осуществляли при помощи дополнительного устройства, выполненного в виде колесного движителя, монтируемого к продольному лонжерону трактора. В виду не

значительных скоростей движения и ровной поверхности поля масса двигателя обеспечивала постоянный контакт двигателя с опорной поверхностью. В виду отсутствия внешнего крутящего момента колесный движитель перекачивался по полю без скольжения, рисунок 3.10.



Рисунок 3.10 – Общий вид дополнительного колесного движителя

На опорной вилке колесного движителя закреплялось электромеханическое коммутационное устройство в виде геркона. На диске колеса монтировались магниты. В момент прохождения геркона в магнитном поле его контакты

соединялись, что фиксировалось на регистрирующей аппаратуре в виде единичного импульса. Общее количество импульсов, зафиксированных в ходе зачетного участка, позволяло определить число оборотов колесного движителя, а, следовательно, и пройденный путь. Значение которого позволило определить действительную скорость движения.

3.3 Объект исследования и регистрируемые параметры

В качестве объекта исследования был выбран чизельный машинно-тракторный агрегат, состоящий из трактора класса 3 и чизельного плуга ОЧО-5, рисунок 3.11. Использовался новый многофункциональный ресурсо-энергосберегающий рабочий орган модульного типа “РАНЧО” (рис. 3.12), изготовленный по патенту № 2502250 С2, Российская Федерация, авторов: И. Б. Борисенко, А. С. Овчинников, Ю. Н. Плескачев и др. [138] и установленный на ОЧО (орудие чизельно-отвальное, может быть 5-ти, 6-ти, 8-ми, 10-ти корпусные), в данном случае 5-ти корпусной чизельный плуг ОЧО-5.



Рисунок 3.11 – Объект исследования. Работа агрегата в поле

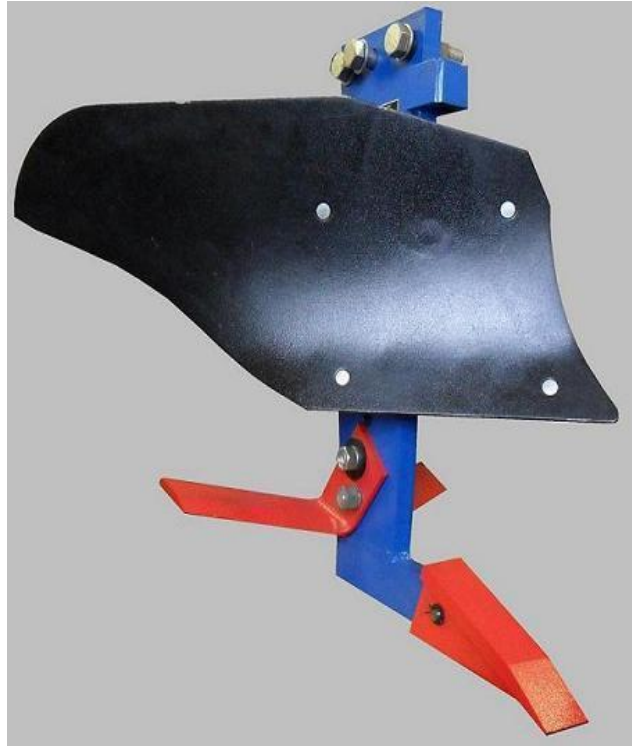


Рисунок 3.12 – Стойка РАНЧО для плугов Российского и импортного производства

В процессе проведения натурных испытаний регистрировались следующие параметры: крюковая нагрузка трактора; действительная скорость движения агрегата.

Крюковая нагрузка трактора замерялась при помощи тензометрических пальцев, установленных в верхней и нижних тягах навесной системы трактора. Действительная скорость движения агрегата методом «пятого колеса»

3.4 Технические средства регистрации и обработки измеряемых величин

Для регистрации и обработки силовых и кинематических величин, в процессе выполнения технологического процесса чизелевания, применялась измерительная система, состоящая из переносного компьютера; аналого-цифрового преобразователя Е 14-440М; многоканального усилителя сигнала ТОПАЗ-3-01.

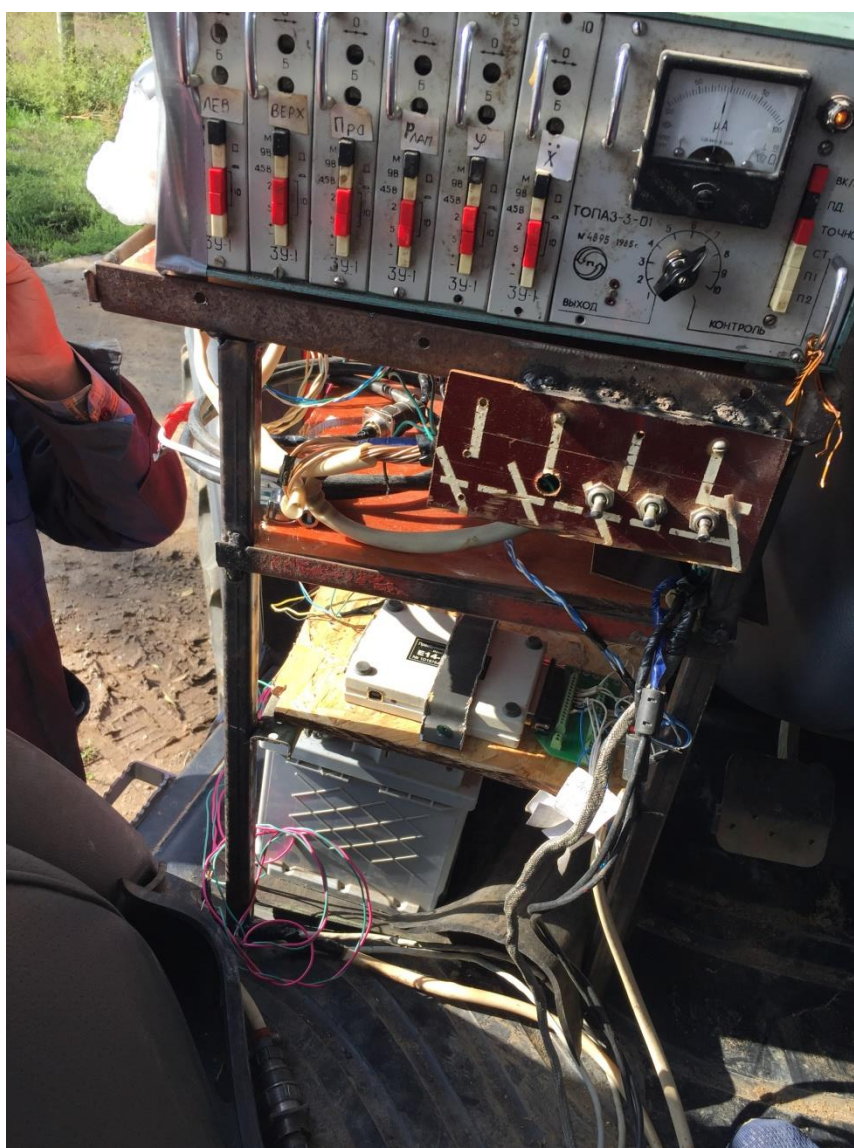


Рисунок 3.12 – Система регистрации измеряемых параметров

Рабочее окно программного продукта «PowerGraph» представлено на рисунке 3.11, там же показаны осциллограммы измеряемых величин.

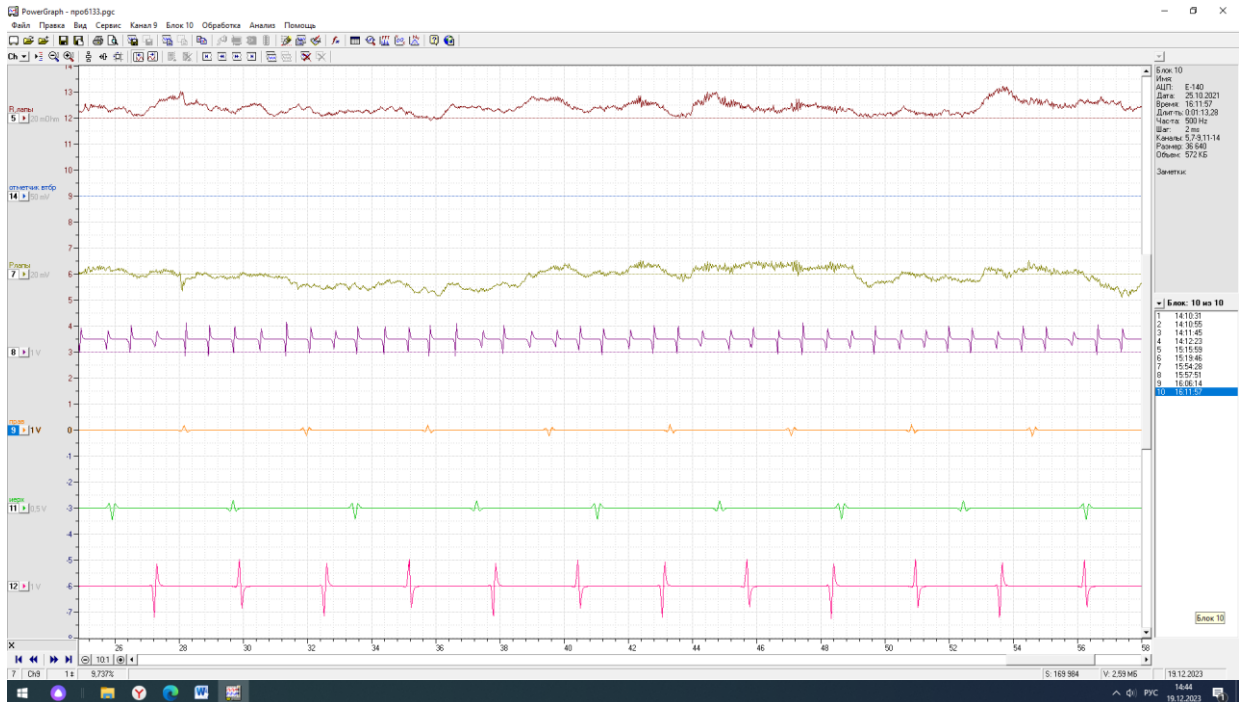


Рисунок 3.13 Фрагмент регистрируемых параметров

3.5 Измерение линейных размеров серийных и экспериментальных рабочих органов

В процессе проведения экспериментальных исследований фиксировались линейные размеры базовых сечений рабочих органов согласно рисунку 3.14.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Разработана программа экспериментальных исследований чизельного агрегата, оборудованного модернизированными рабочими органами, позволяющая оценить эффективность их применения.

2. В качестве основного материала для изготовления экспериментальных рабочих органов, был выбран высокоуглеродистый сплав ВЧ-50.

3. Предложено устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор, а также способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины, что позволяет расширить функциональные возможности известных технических решений для определения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины.

4. В качестве объекта исследования был выбран чизельный машинно-тракторный агрегат, состоящий из трактора класса 3 и чизельного плуга ОЧО-5. В процессе проведения натурных испытаний регистрировались следующие параметры: крюковая нагрузка трактора; действительная скорость движения агрегата.

5. Для регистрации и обработки силовых и кинематических величин, в процессе выполнения технологического процесса чизелевания, применялась измерительная система, состоящая из переносного компьютера; аналого-цифрового преобразователя Е 14-440М; многоканального усилителя сигнала ТО-ПАЗ -3-01.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Тяговое сопротивление секции чизельного плуга с экспериментальным и серийным рабочим органом

Основной целью данного эксперимента являлось установить влияние применения модернизированного рабочего органа на тяговое сопротивление чизельной секции. Так как первоначально было опасение, что измененная форма рабочего органа, а именно увеличенная толщина носовой части, может вызывать прирост тягового сопротивления, что негативно скажется на эффективности применения модернизированных рабочих органов. Кроме этого размещение на носовой части продольных наплавленных валиков может способствовать забиванию пространства между ними почвой, и как следствие, налипанию почвы на всю носовую часть долота, что может резко увеличить тяговое сопротивление.

Результаты сравнительных тяговых испытаний секции чизельного плуга, оборудованной модернизированными и серийными рабочими органами представлены графическими зависимостями рисунков 4.1-4.3. Значение тягового сопротивления чизельной секции показаны в функции скорости движения трактора. Такое представление экспериментальных данных позволяет не только оценить значение тягового сопротивления на различных кинематических режимах работы трактора, но и оценить динамику увеличения тягового сопротивления, вызванную ростом скорости движения.

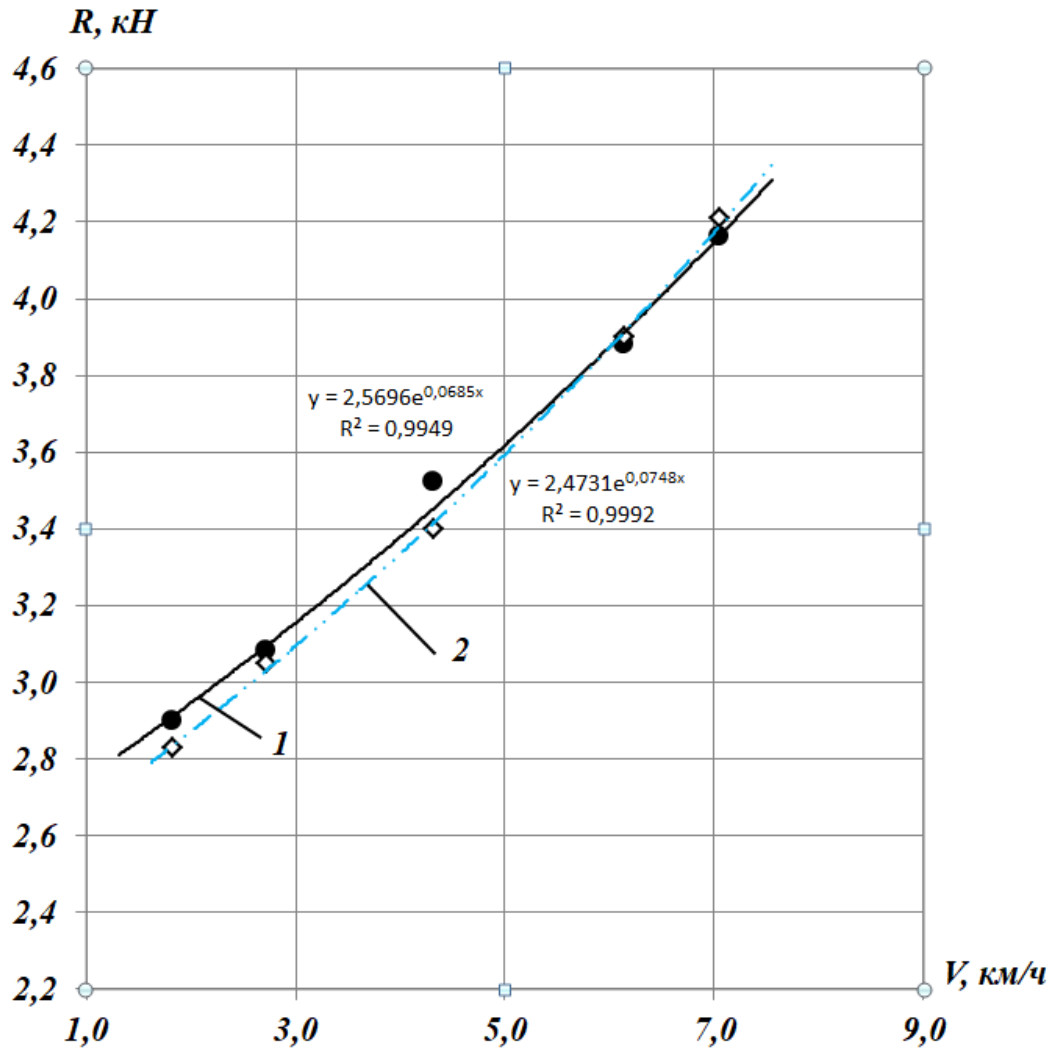


Рисунок 4.1 – Влияние скорости движения на тяговое сопротивление секции: 1 – рабочий орган без армировочных валиков; 2 – рабочий орган с армировочными валиками. Влажность почвы 12%

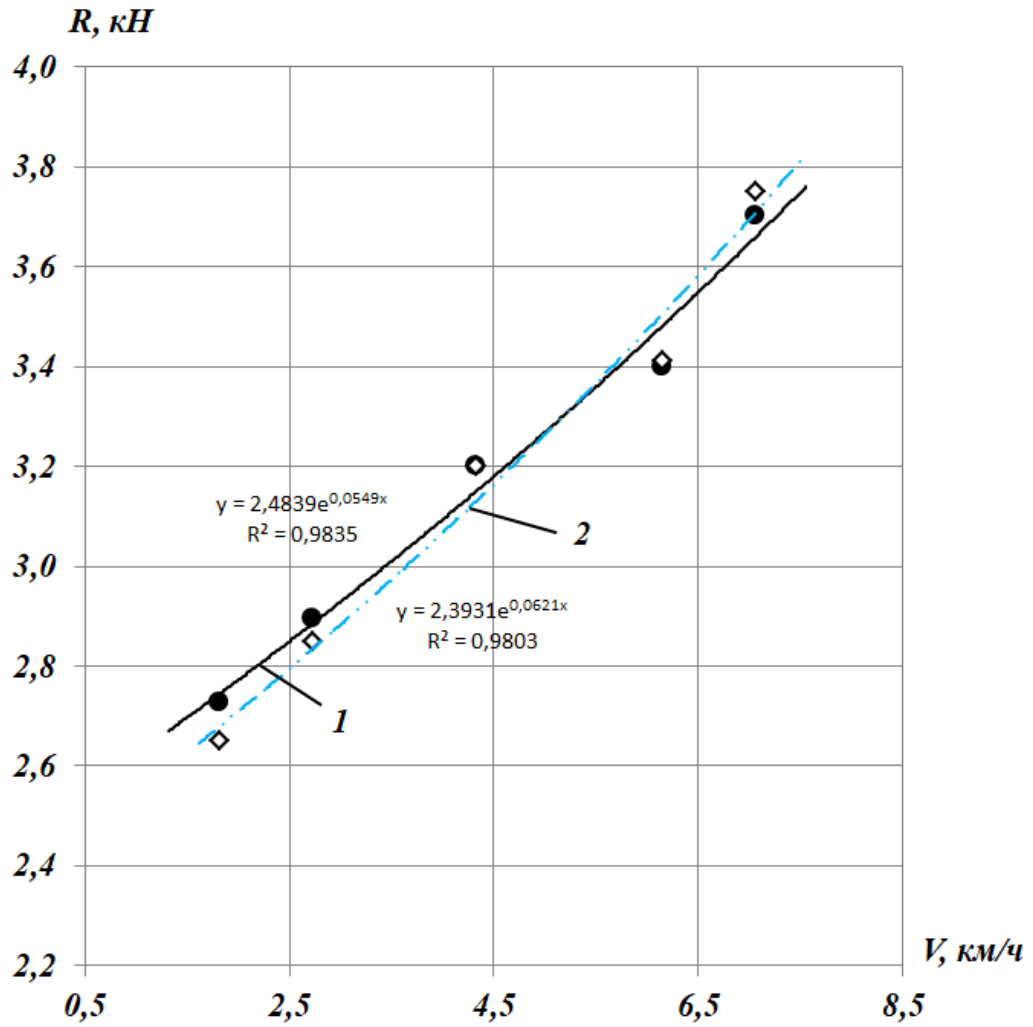


Рисунок 4.2 - Влияние скорости движения на тяговое сопротивление секции: 1 – рабочий орган без армировочных валиков; 2 – рабочий орган с армировочными валиками. Влажность почвы 16%

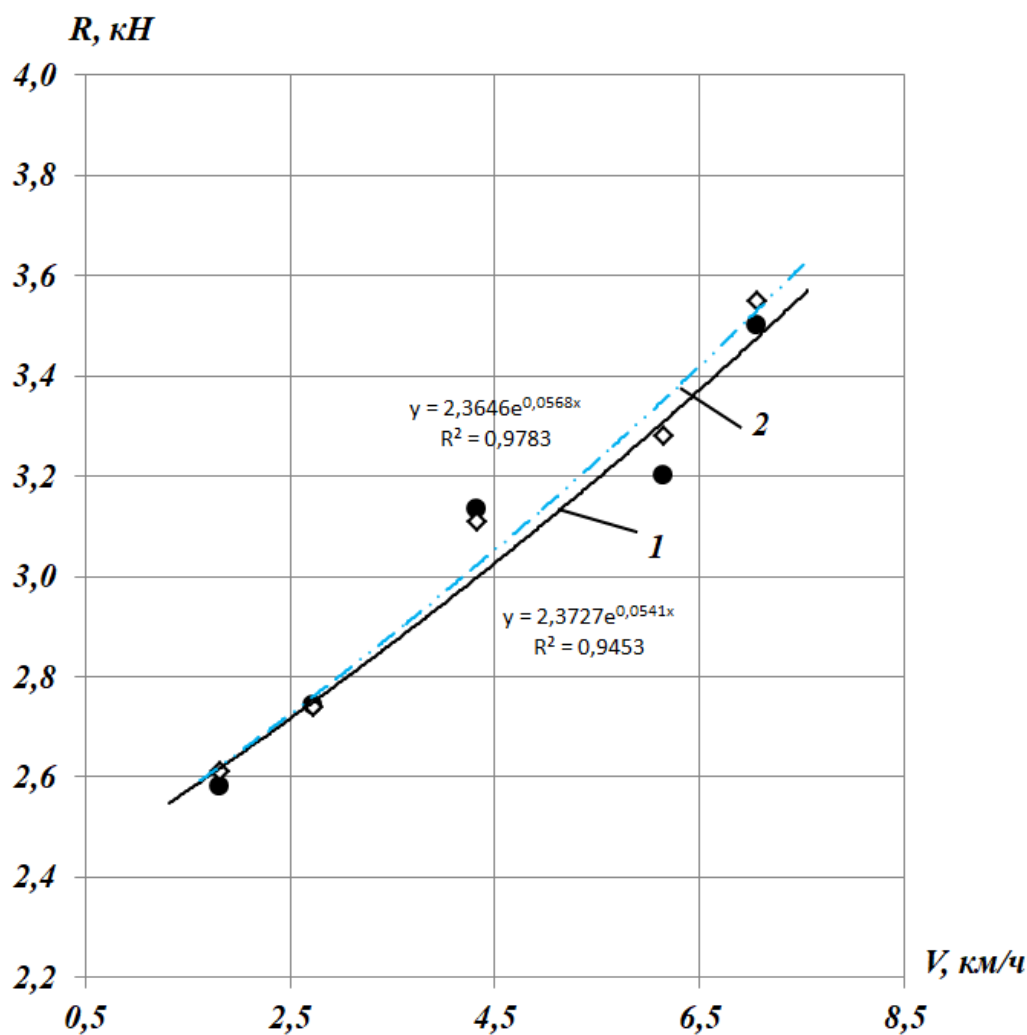


Рисунок 4.3 - Влияние скорости движения на тяговое сопротивление секции: 1 – рабочий орган без армировочных валиков; 2 – рабочий орган с армировочными валиками. Влажность почвы 19%

Анализируя полученные экспериментальные данные (рисунки 4.1 – 4.3) можно выявить, что сопротивление секций, оборудованных рабочими органами с армировочными валиками, практически не отличается от сопротивления секций, оборудованных стандартными рабочими органами.

Отклонение абсолютного значения тягового сопротивления экспериментальной секции составляет $\pm 2\%$, т.е. меньше значения погрешности регистрируемой и измеряемой аппаратуры. Причем на низких скоростных режимах (до

4 км/ч) экспериментальные рабочие органы показывают меньшее значение тягового сопротивления. Такая тенденция наблюдается на выбранном почвенном фоне влажность до 19%. При увеличении влажности почвы выше 19%, вероятно, следует ожидать прирост тягового сопротивления экспериментальной секции, вызванный налипанием почвы на рабочий орган. Влияние влажности почвенного фона на силовую нагруженность экспериментальной и серийной чизельной секции показано на рисунке 4.4.

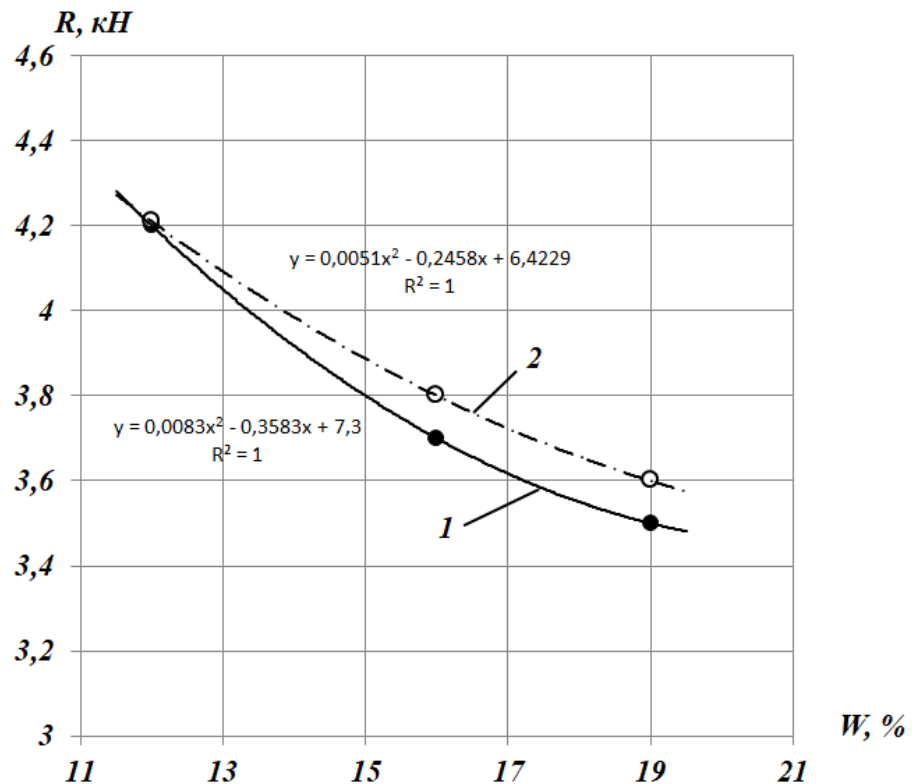


Рисунок 4.4 – Влияние влажности почвы на тяговое сопротивление секции: 1 – рабочий орган без армировочных валиков; 2 – рабочий орган с армировочными валиками

4.2 Результаты исследования тягового сопротивления чизельного плуга

Влияние скорости движения на тяговое сопротивление чизельного плуга представлено на рисунках 4.5 - 4.7.

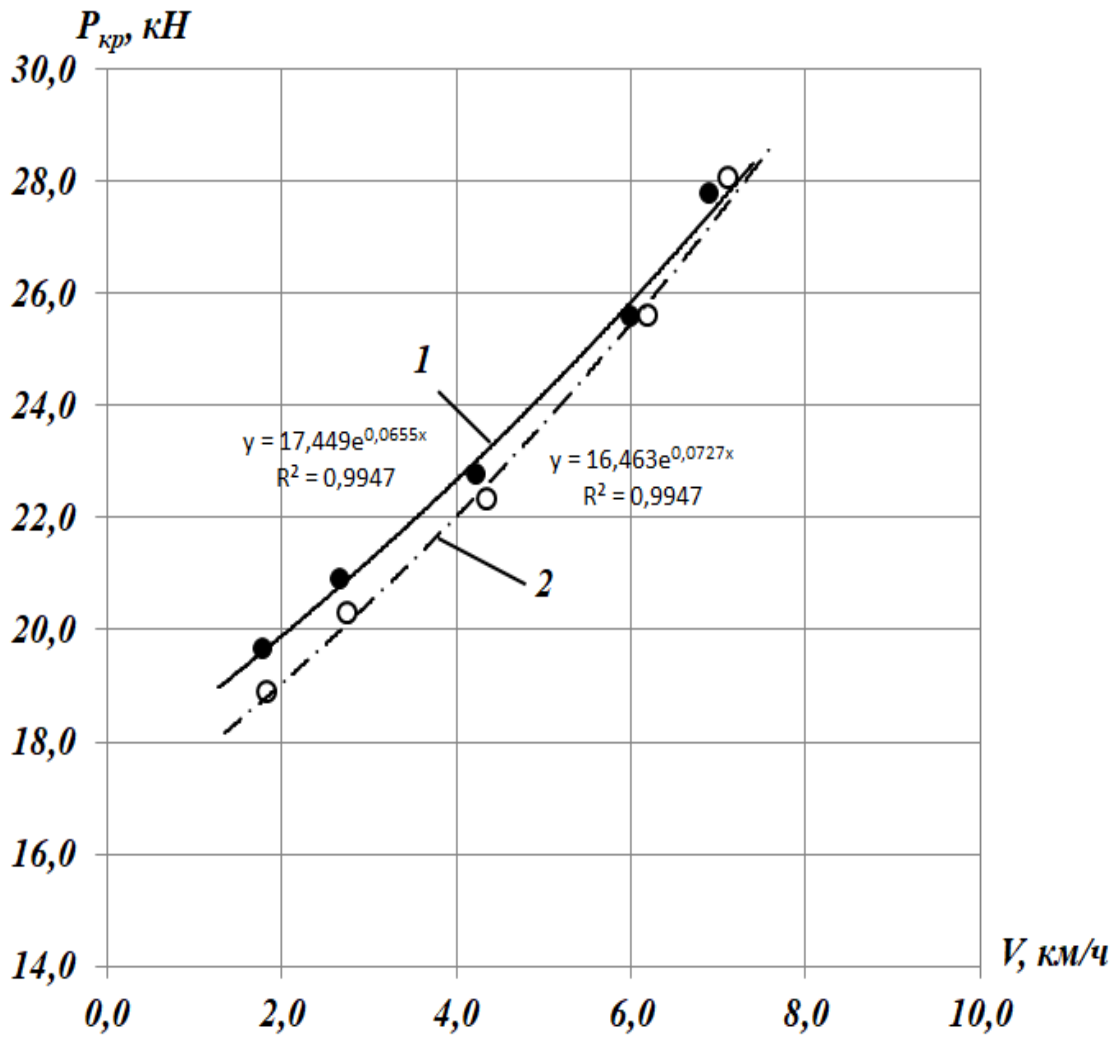


Рисунок 4.5 – Влияние скорости движения на тяговое сопротивление плуга: 1 – рабочие органы без армировочных валиков; 2 – рабочие органы с армировочными валиками. Влажность почвы 12%

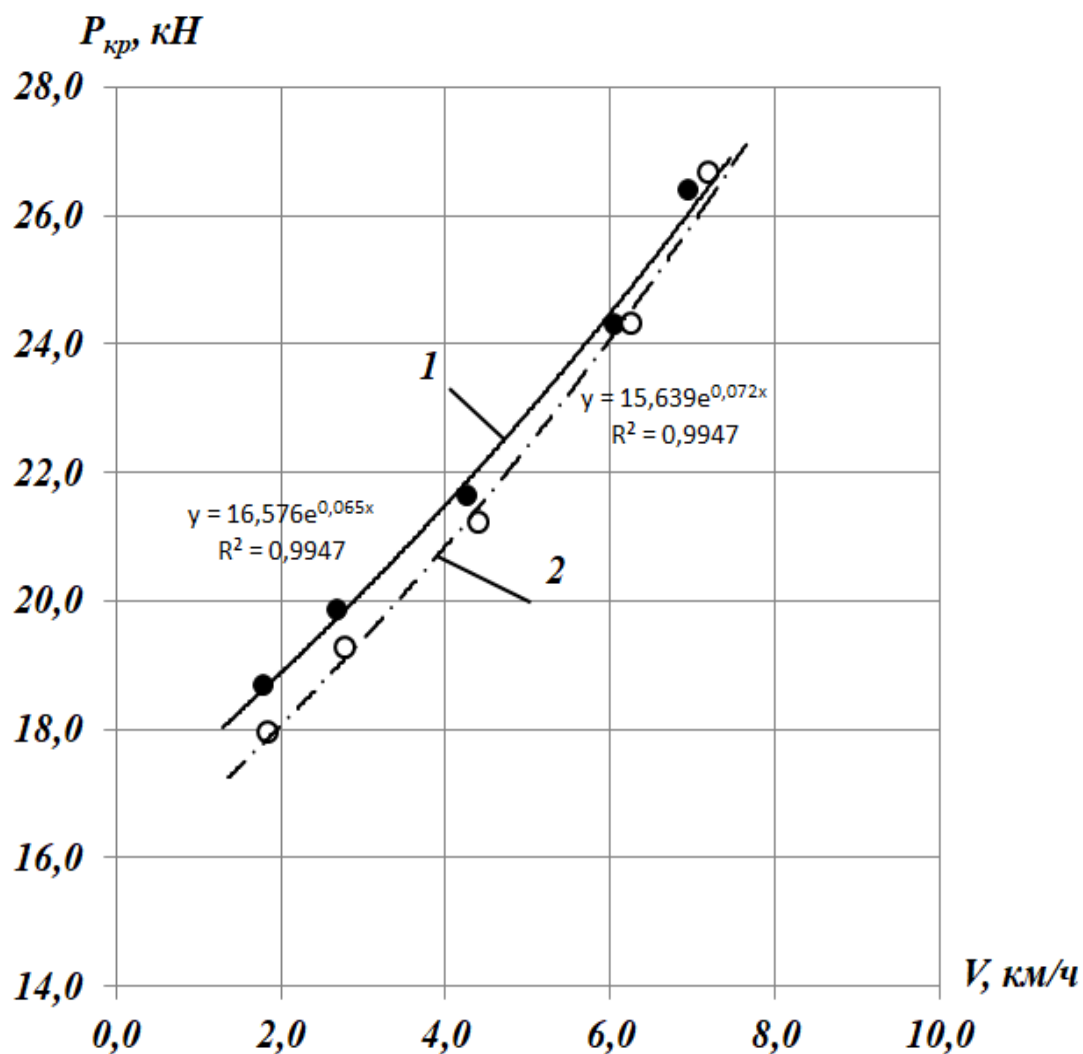


Рисунок 4.6 – Влияние скорости движения на тяговое сопротивление плуга: 1 – рабочие органы без армировочных валиков; 2 – рабочие органы с армировочными валиками. Влажность почвы 16%

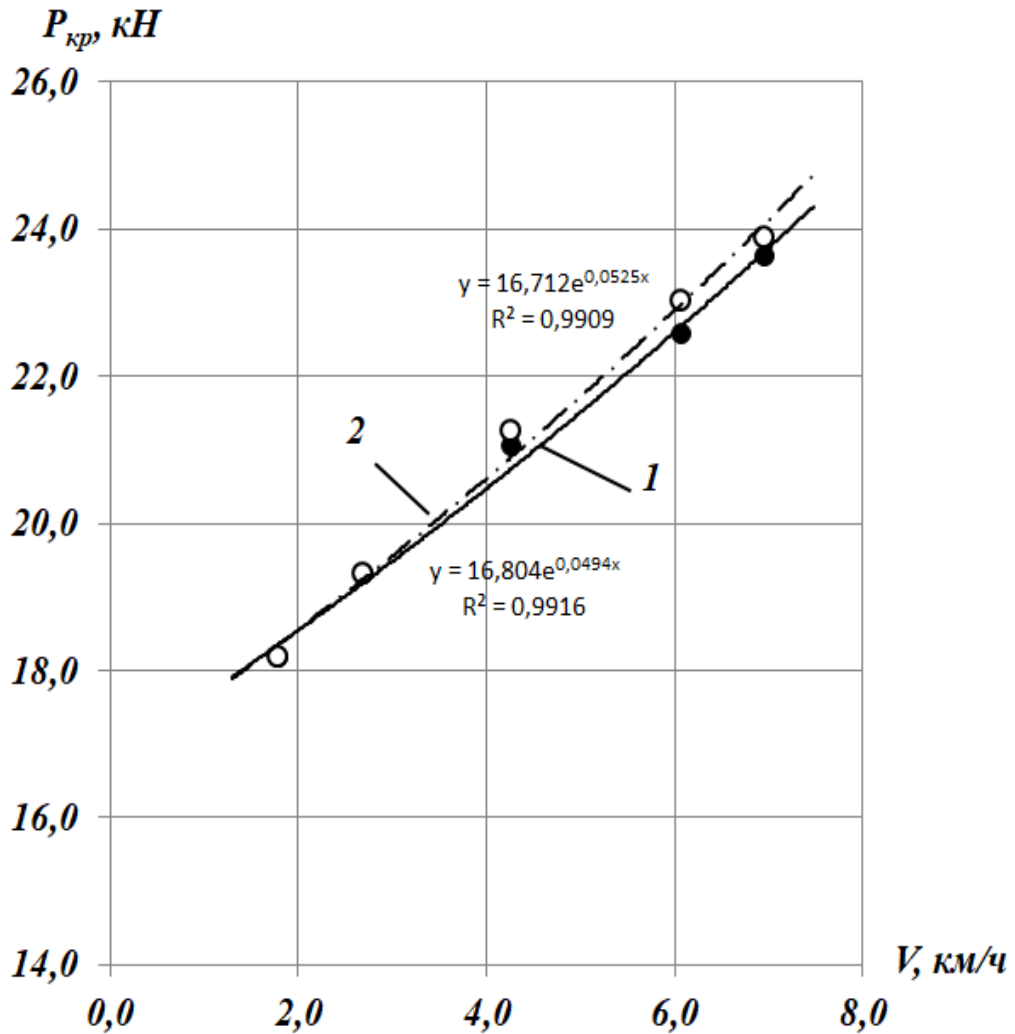


Рисунок 4.7 – Влияние скорости движения на тяговое сопротивление плуга: 1 – рабочие органы без армировочных валиков; 2 – рабочие органы с армировочными валиками. Влажность почвы 19%

В целом, выявленные нами закономерности в предыдущем разделе, можно распространить и на чизельный агрегат. Это относится и к влиянию влажности почвенного фона на тяговое сопротивление агрегата, рисунок 4.8.

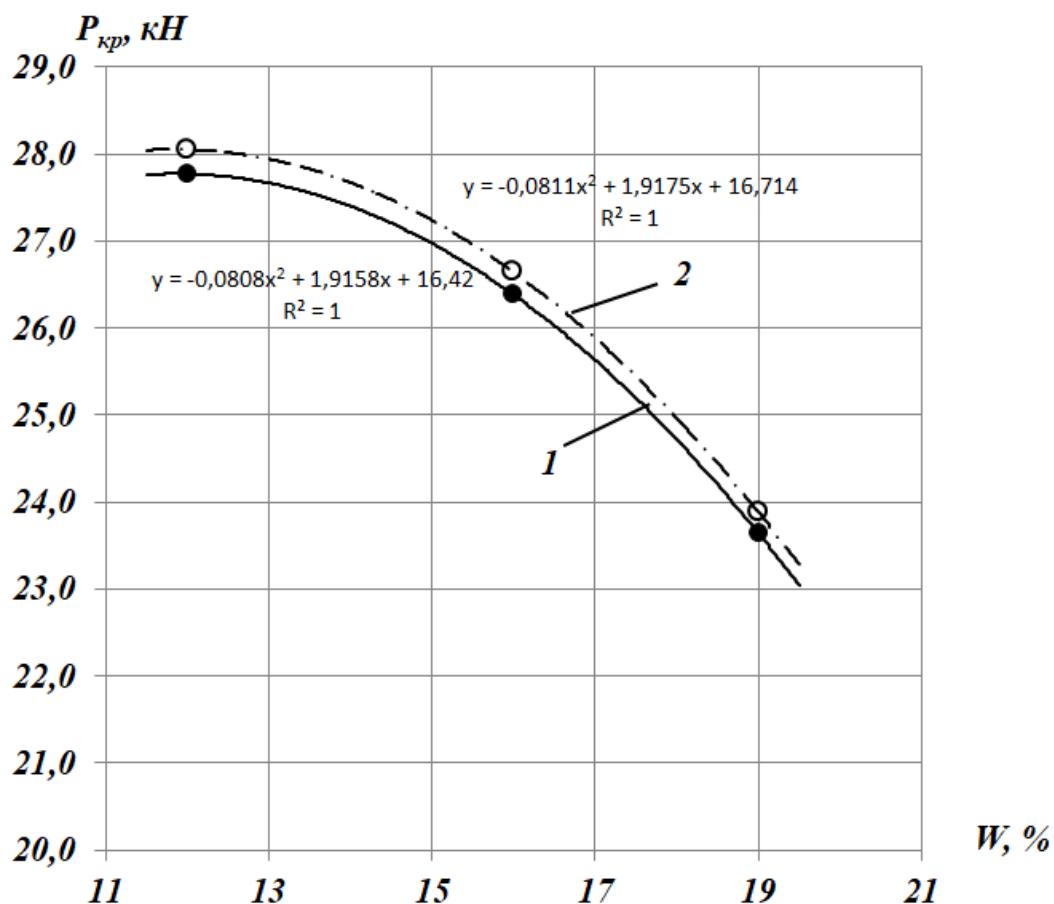


Рисунок 4.8 – Влияние влажности почвы на тяговое сопротивление плуга: 1 – рабочие органы без армировочных валков; 2 – рабочие органы с армировочными валками

Основные выводы анализа зависимостей:

1. Применение рабочих органов с продольно расположенными армировочными валками не вызывает увеличения тягового сопротивления агрегата. Этот эффект стабильно проявляется на почвах влажностью до 19%.

2. На почвах влажностью выше 19%, в зависимости от их фракционного и гранулометрического состава, при использовании экспериментальных рабочих органов может наблюдаться прирост тягового сопротивления чизельного плуга. Это связано с налипанием частиц почвы на носовую часть рабочего органа.

4.3 Определение теоретических законов распределения величины износа экспериментальных рабочих органов

Таблица 4.1 – Сводные экспериментальные данные величины износа носка экспериментальных рабочих органов

№	Линейный износ, мм	№	Линейный износ, мм	№	Линейный износ, мм	№	Линейный износ, мм
1	4,35	9	5,10	17	5,38	25	5,57
2	4,46	10	5,13	18	5,41	26	5,66
3	4,51	11	5,21	19	5,47	27	5,69
4	4,68	12	5,21	20	5,47	28	5,77
5	4,79	13	5,25	21	5,48	29	5,90
6	4,88	14	5,28	22	5,51	30	6,06
7	4,91	15	5,29	23	5,51	31	6,07
8	4,91	16	5,35	24	5,51	32	6,37

Таблица 4.2 – Результаты аппроксимации опытных данных теоретическими законами распределения

Граница интервала, мм		4,18	4,51	4,85	5,19	5,52	5,86	6,19	
		
		4,51	4,85	5,19	5,52	5,86	6,19	6,53	
Середина интервала, мм		4,35	4,68	5,02	5,35	5,69	6,03	6,36	
Дифф. закон распределения	Опытная вероятность		0,06	0,09	0,15	0,43	0,12	0,09	0,03
	Теоретическая вероятность	ЗНР	0,02	0,11	0,23	0,29	0,21	0,09	0,02
		ЗРВ	0,02	0,09	0,22	0,26	0,21	0,09	0,04
Интегр. закон распределения	Накопленная вероятность		0,06	0,15	0,31	0,74	0,85	0,96	1
	Функция распределения	ЗНР	0,04	0,15	0,37	0,66	0,88	0,97	1
		ЗРВ	0,02	0,08	0,324	0,63	0,85	0,99	1
Теоретическая частота	ЗНР		1	4	7	9	7	3	1
	ЗРВ		1	2	5	12	7	4	0

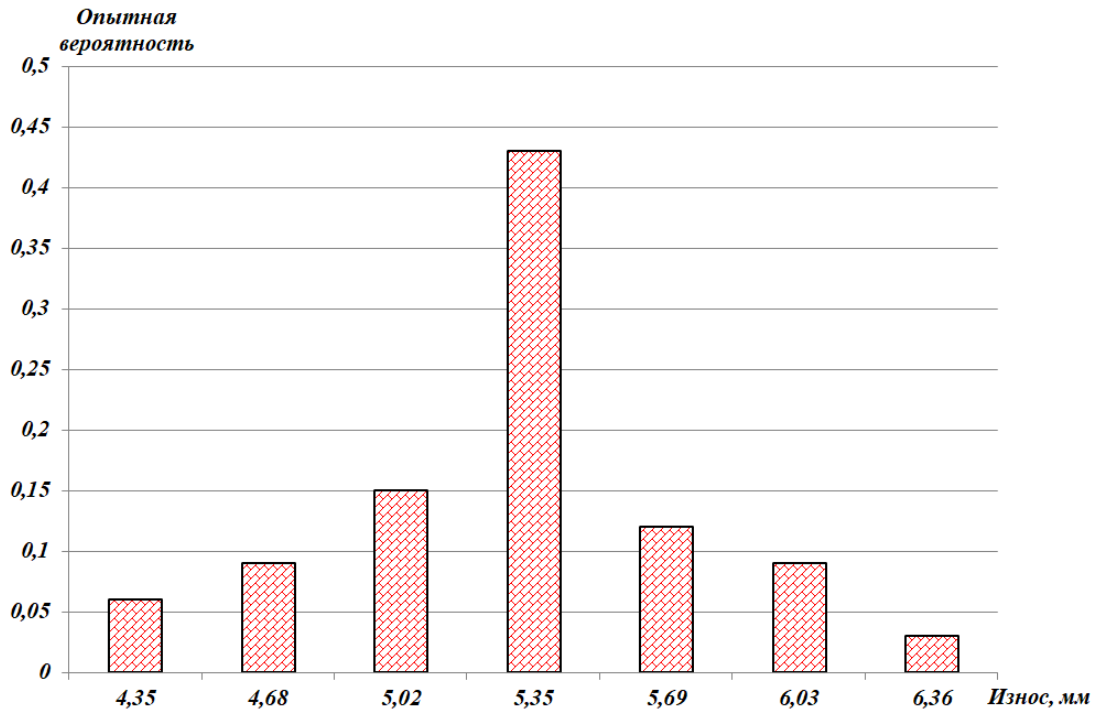


Рисунок 4.9 – Гистограмма накопленных опытных вероятностей износа экспериментальных рабочих органов

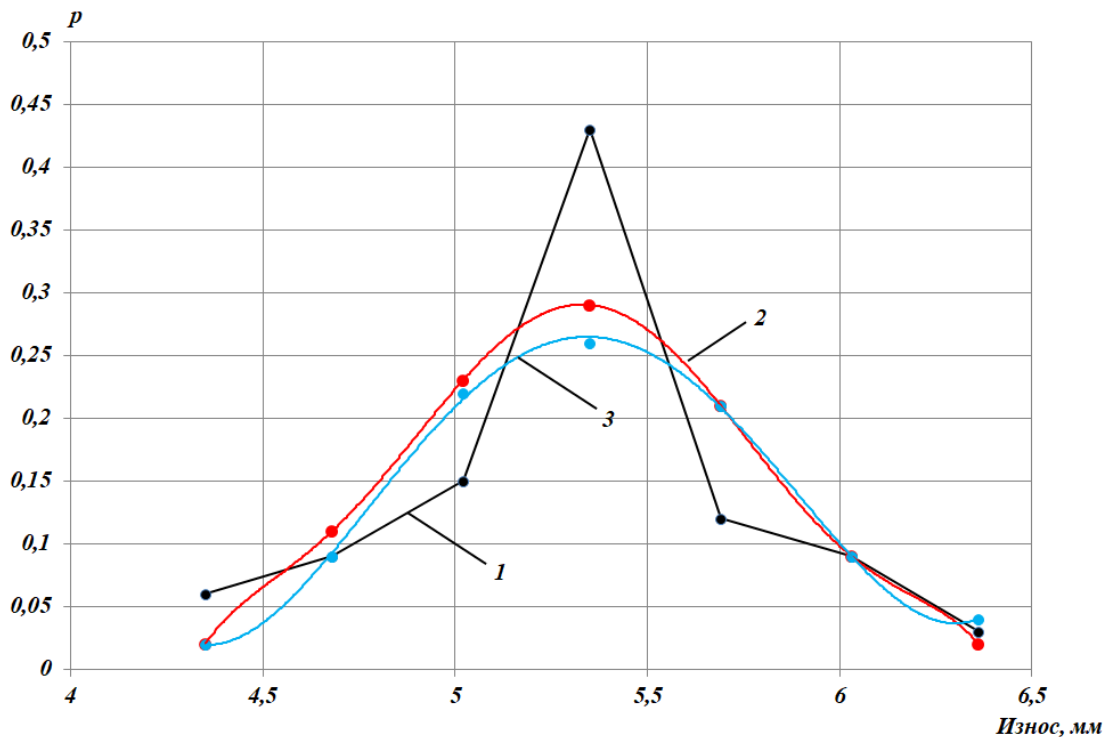


Рисунок 4.10 – Полигон распределения износа экспериментальных рабочих органов: 1 – кривая опытной вероятности; 2 – график ЗНР опытной вероятности; 3 – график ЗРВ опытной вероятности

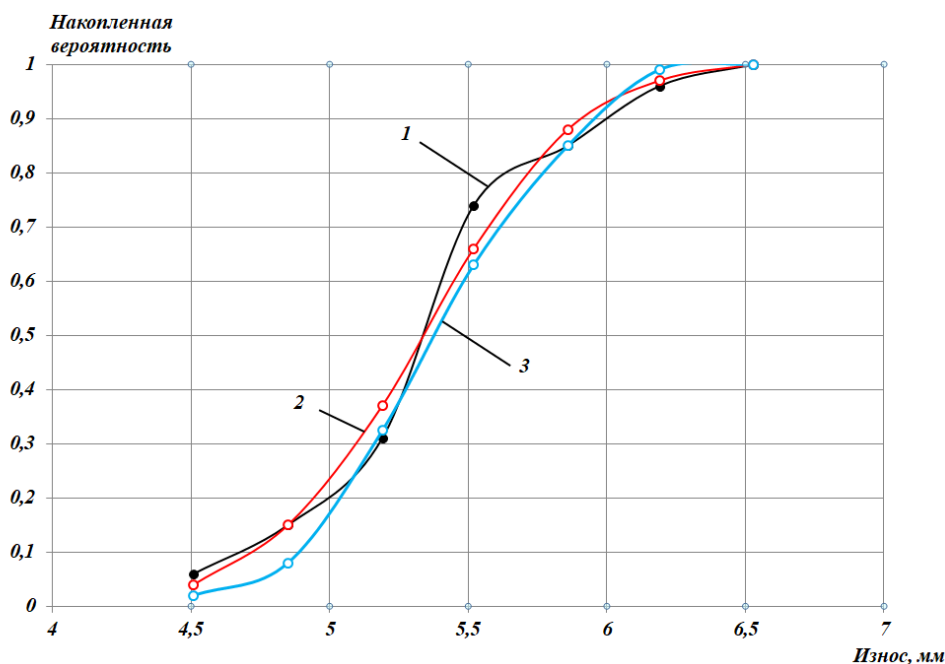


Рисунок 4.11 – Кривая накопленных опытных вероятностей износа экспериментальных рабочих органов: 1 – кривая накопленной опытной вероятности; 2 – интегральная функция ЗНР опытной вероятности; 3 – интегральная функция ЗРВ опытной вероятности

Для выбора и определения точности теоретического закона распределения рассчитаем критерий согласия Пирсона

$$\chi^2 = \sum_i^{n_y} \left[\frac{(m_{\text{оп}} - m_{\text{т}})^2}{m_{\text{т}}} \right]$$

Для закона нормального распределения критерий согласия Пирсона окажется равным

$$\chi^2 = \frac{(2-1)^2}{1} + \frac{(3-4)^2}{4} + \frac{(5-7)^2}{7} + \frac{(14-9)^2}{9} + \frac{(4-7)^2}{7} + \frac{(3-3)^2}{3} = 1,03$$

Для закона распределения Вейбулла критерий согласия Пирсона окажется равным

$$\chi^2 = \frac{(2-1)^2}{1} + \frac{(3-2)^2}{2} + \frac{(5-2)^2}{2} + \frac{(14-12)^2}{12} + \frac{(4-7)^2}{7} + \frac{(3-4)^2}{4} = 2,37$$

Вероятность совпадения теоретических законов распределения с экспериментальными данными составит: для ЗНР – 84,8%; для ЗРВ – 50,2%.

Таким образом, теоретический закон нормального распределения более точно аппроксимирует полученные экспериментальные данные износа рабочих органов.

4.4 Определение теоретических законов распределения величины износа серийных рабочих органов

Таблица 4.3 – Сводные экспериментальные данные величины износа носка серийных рабочих органов

№	Линейный износ, мм	№	Линейный износ, мм	№	Линейный износ, мм	№	Линейный износ, мм
1	5,28	9	6,15	17	6,55	25	6,80
2	5,59	10	6,16	18	6,56	26	6,82
3	5,66	11	6,16	19	6,57	27	7,06
4	5,75	12	6,22	20	6,62	28	7,08
5	5,88	13	6,23	21	6,72	29	7,09
6	5,99	14	6,34	22	6,75	30	7,31
7	6,06	15	6,48	23	6,76	31	7,45
8	6,13	16	6,51	24	6,78	32	8,09

Таблица 4.4 – Результаты аппроксимации опытных данных теоретическими законами распределения

Граница интервала, мм		5,04	5,51	5,98	6,45	6,92	7,39	7,86	
		
		5,51	5,98	6,45	6,92	7,39	7,86	8,33	
Середина интервала, мм		5,28	5,75	6,22	6,69	7,16	7,63	8,10	
Опытная частота		1	4	5	12	4	1	1	
Дифф. закон распределения	Опытная вероятность		0,03	0,12	0,28	0,37	0,12	0,03	0,03
	Теоретическая вероятность	ЗНР	0,03	0,13	0,28	0,31	0,17	0,05	0,01
		ЗРВ	0,02	0,14	0,28	0,29	0,2	0,07	0,01
Интегр. закон распределения	Накопленная вероятность		0,03	0,15	0,43	0,8	0,92	0,95	1
	Функция распределения	ЗНР	0,04	0,18	0,46	0,77	0,94	0,99	1
		ЗРВ	0,01	0,07	0,35	0,76	0,97	1	1

Теоретическая частота	ЗНР	1	4	9	10	5	2	0
	ЗРВ	0	2	9	13	7	1	0

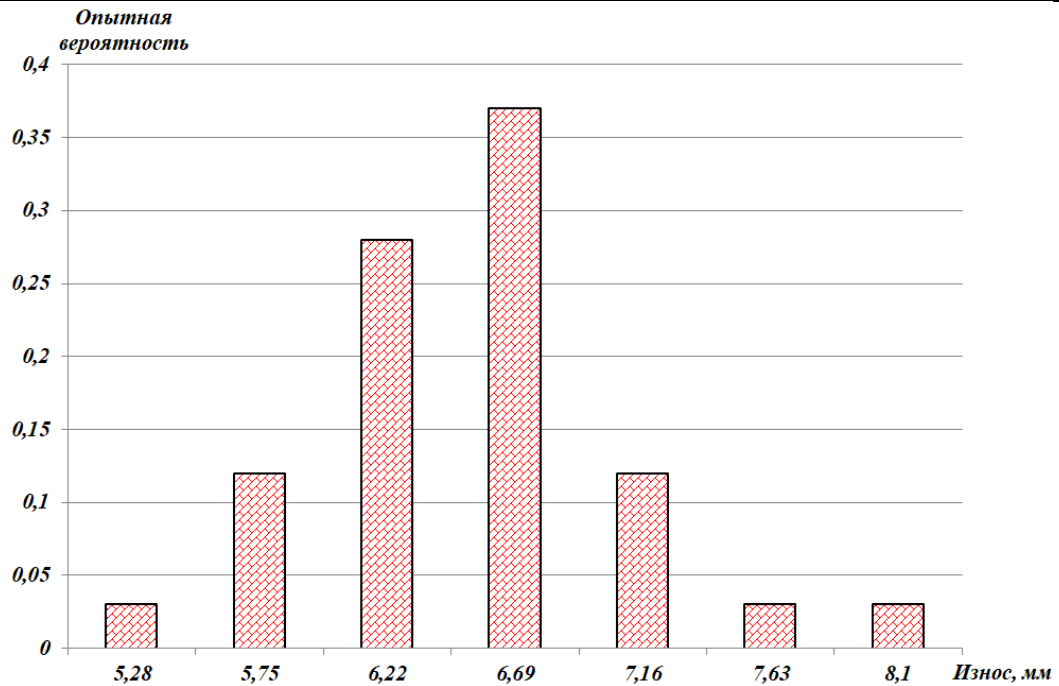


Рисунок 4.12 – Гистограмма накопленных опытных вероятностей износа серийных рабочих органов

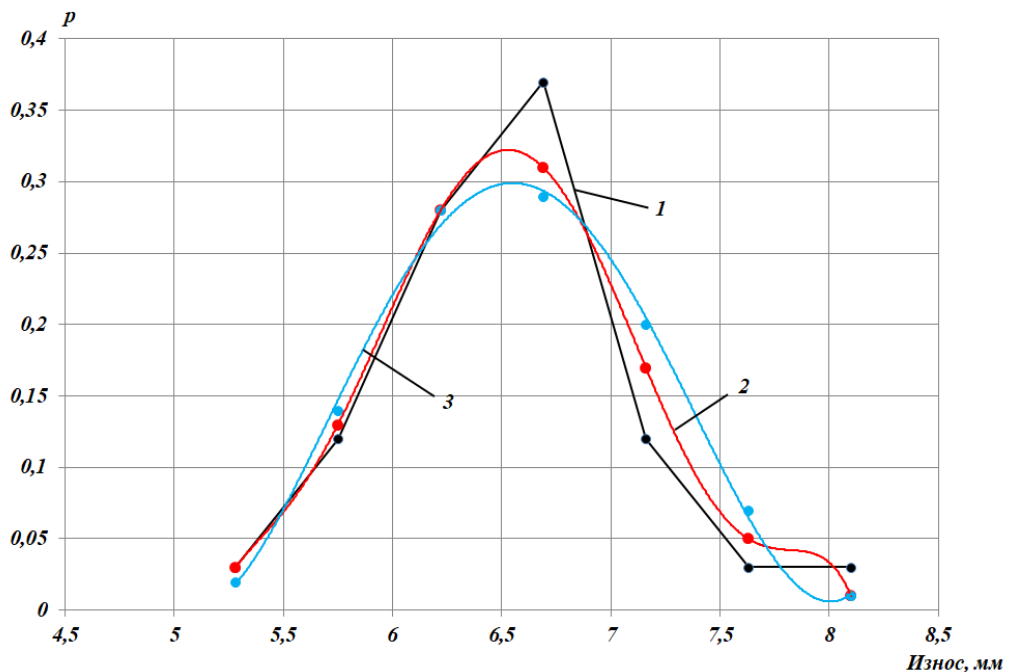


Рисунок 4.13 – Полигон распределения износа серийных рабочих органов: 1 – кривая опытной вероятности; 2 – график ЗНР опытной вероятности; 3 – график ЗРВ опытной вероятности

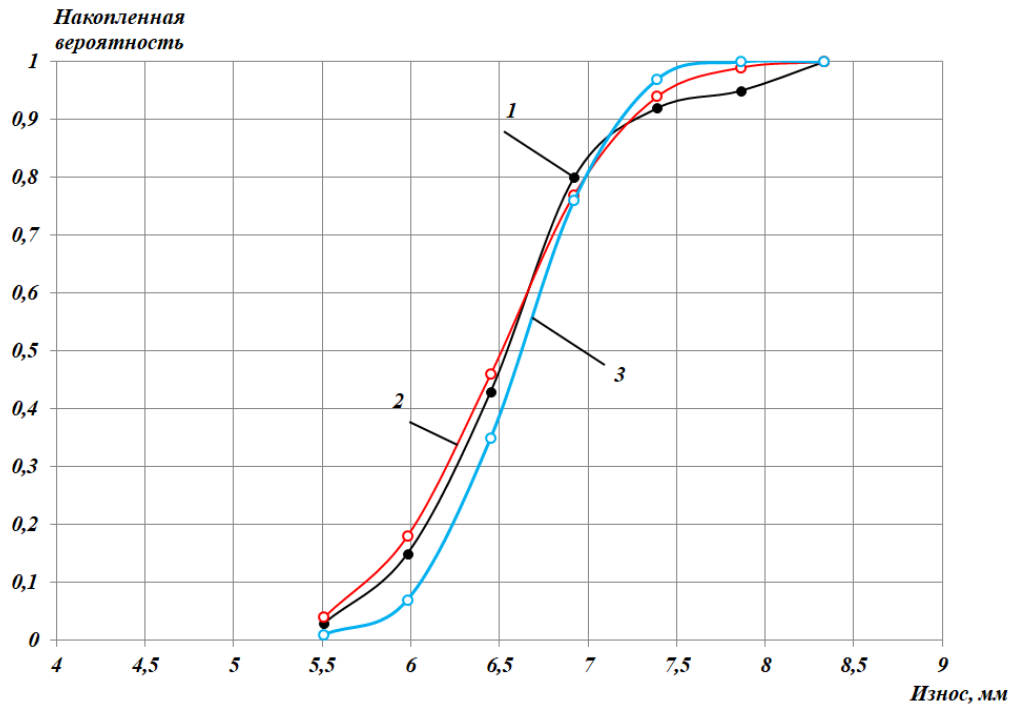


Рисунок 4.14 – Кривая накопленных опытных вероятностей износа серийных рабочих органов: 1 – кривая накопленной опытной вероятности; 2 – интегральная функция ЗНР опытной вероятности; 3 – интегральная функция ЗРВ опытной вероятности

Для выбора и определения точности теоретического закона распределения рассчитаем критерий согласия Пирсона

$$\chi^2 = \sum_i^{n_y} \left[\frac{(m_{\text{оп}} - m_{\text{т}})^2}{m_{\text{т}}} \right]$$

Для закона нормального распределения критерий согласия Пирсона окажется равным

$$\chi^2 = \frac{(1 - 1)^2}{1} + \frac{(4 - 4)^2}{4} + \frac{(9 - 9)^2}{9} + \frac{(12 - 10)^2}{10} + \frac{(4 - 5)^2}{5} + \frac{(1 - 2)^2}{2} = 1,41$$

Для закона распределения Вейбулла критерий согласия Пирсона окажется равным

$$\chi^2 = \frac{(3 - 2)^2}{2} + \frac{(9 - 9)^2}{9} + \frac{(12 - 13)^2}{13} + \frac{(4 - 7)^2}{7} + \frac{(1 - 1)^2}{1} = 1.02$$

Вероятность совпадения теоретических законов распределения с экспериментальными данными составит: для ЗНР – 75%; для ЗРВ – 86,2%.

Таким образом, теоретический закон распределения Вейбулла более точно аппроксимирует полученные экспериментальные данные износа рабочих органов.

4.5 Анализ износа серийных и экспериментальных рабочих органов «весовым» методом

Характер протекания износа экспериментальных и серийных рабочих органов определялся процессом изменения их массы. На рисунке 4.15 представлены экспериментальные кривые, характеризующие потерю массы рабочих органов при выполнении ими определенного объема работ. По оси абсцисс отложен объем выполненной работы (наработка) в гектарах, а по оси ординат зафиксированы значения потерянной массы образцов, рассчитанное по формуле

$$\Delta m = 1 - \frac{m_{\text{ЭКСП}}}{m_{\text{Н}}}, \quad (4.1)$$

где - $m_{\text{ЭКСП}}$ - значения массы рабочего органа, в данный момент наработки, кг; $m_{\text{Н}}$ - масса рабочего органа до проведения эксперимента, кг.

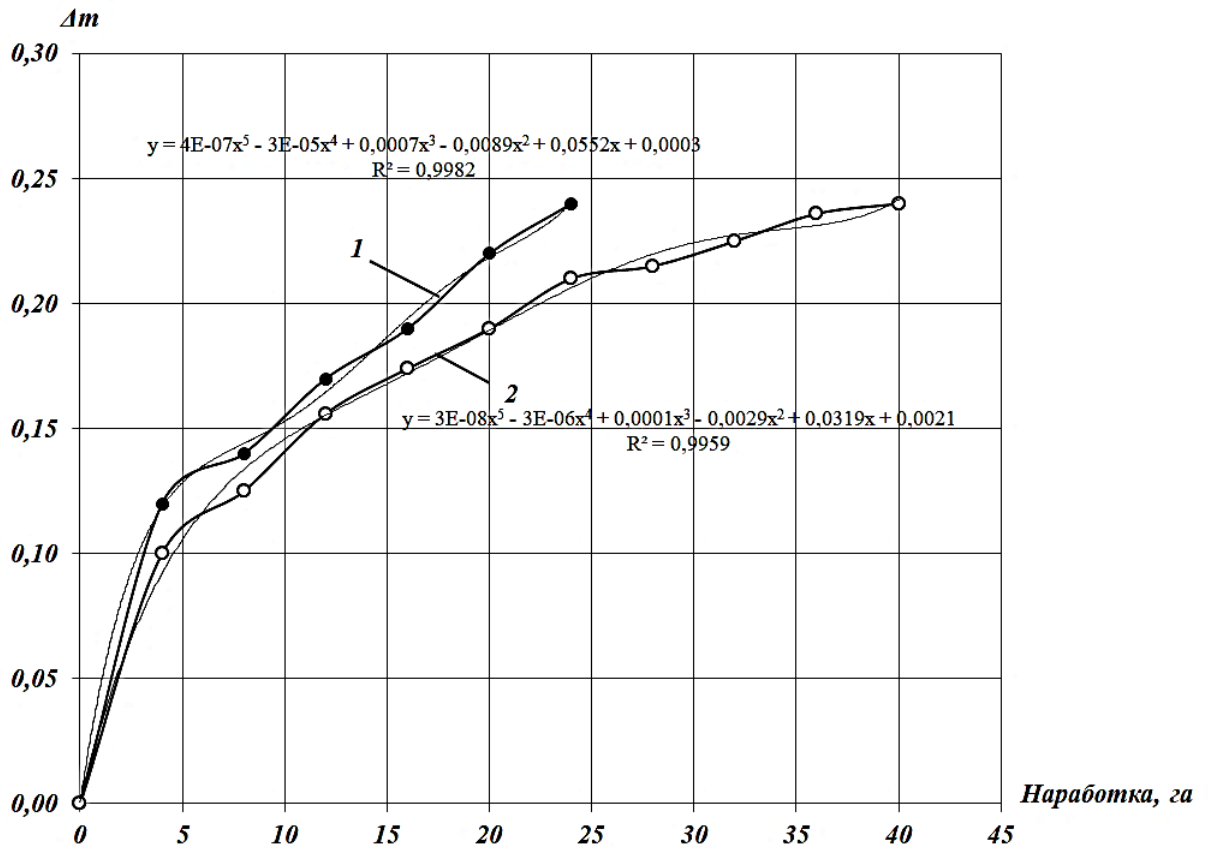


Рисунок 4.15 – Доля снижения массы рабочих органов в зависимости от наработки: 1 – рабочие органы без армировочных валиков; 2 – рабочие органы с армировочными валиками

Представленные аналитические зависимости показывают, что в целом характер протекания изменения массы образцов идентичен, на это указывает угол наклона кривой износа к оси абсцисс. Различие просматривается только в зоне приработки образцов, у экспериментальных образцов участок приработки более короткий. Можно предположить, что процесс износа носовой части серийных долот идет более интенсивно, чем у экспериментальных долот.

4.6 Анализ износа серийных и экспериментальных рабочих органов методом контроля линейных размеров базовых сечений

В качестве базовых сечений, линейный размер которых контролировался в процессе проведения экспериментов, были определены два номинальных сечения А-А, и Б-Б. Сечение А-А получается сечением рабочего органа плоскостью, проходящей через его продольную ось. В получаемом сечении рационально фиксировать изменение линейного размера L .

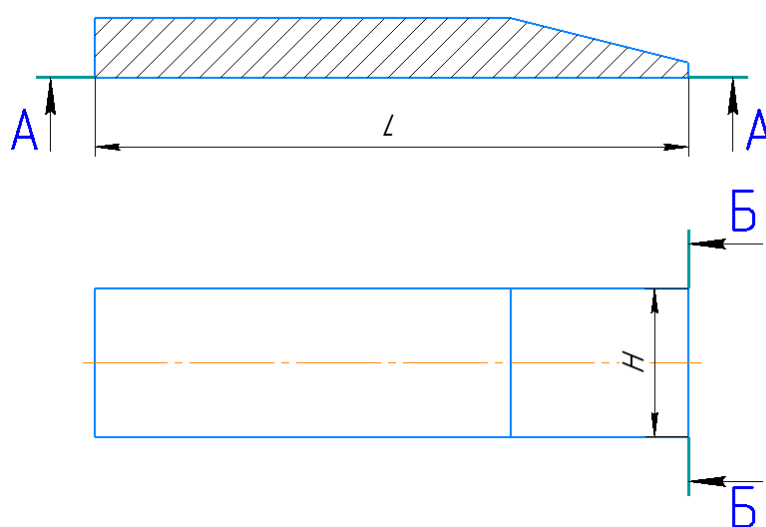


Рисунок 4.16 – Контролируемые линейные размеры рабочего органа в соответствующих сечениях

Сечение Б-Б получается сечением рабочего органа в носовой части плоскостью, проходящей через его поперечную ось. В получаемом сечении рационально фиксировать изменение линейного размера H .

Фиксируемые линейные размеры контролируемых сечений играют ключевую роль в процессе мониторинга состояния образцов и своевременного выявления момента, когда необходимо их отбраковывать. В этом контексте особое значение приобретает относительная величина изменения размера L , которая позволяет объективно оценить степень износа или деформации образца.

Относительная величина изменения размера L определяется по следующей формуле:

$$\Delta = 1 - \frac{L_{\text{эксп}}}{L_{\text{н}}}$$

где:

- $L_{\text{эксп}}$ — значение линейного размера сечения А-А на текущий момент наработки, измеряемое в миллиметрах;
- $L_{\text{н}}$ — исходное значение линейного размера сечения А-А до начала эксперимента, также измеряемое в миллиметрах.

Эта формула позволяет точно рассчитать, насколько изменились линейные размеры образца в процессе эксплуатации или испытания. Полученные данные служат основой для принятия решения о дальнейшей судьбе образца: его отбраковке или продолжении использования.

Таким образом, регулярный контроль и фиксация линейных размеров контролируемых сечений являются необходимыми условиями для обеспечения надежности и безопасности эксплуатации изделий, а также для оптимизации процессов их производства и испытаний.

В процессе эксперимента было установлено предельное значение расчетной величины Δ , оно составило $\Delta = 0,20 \dots 0,22$. При достижении этого значения наблюдается износ самой стойки чизельной секции, что является недопустимым.

Графические зависимости изменения линейных размеров в выбранных сечениях в зависимости от объема выполненных работ, представлены на рисунке 4.17.

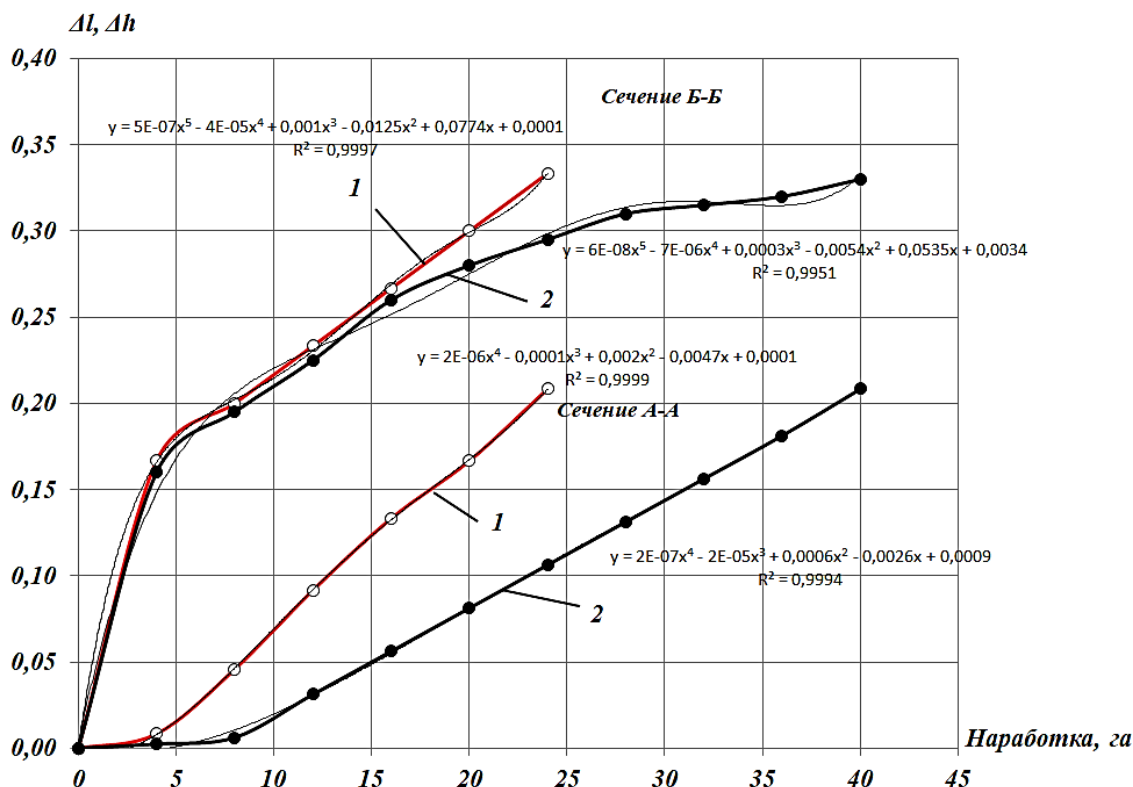


Рисунок 4.16 – Величина износа долот в сечениях А-А, Б-Б: 1 – рабочие органы без армировочных валиков; 2 – рабочие органы с армировочными валиками

Полученные графические зависимости позволяют сделать следующие выводы:

- изменение линейных размеров контролируемого сечения А-А происходит менее интенсивно у модернизированных рабочих органов;
- до наработки 20 га изменение линейного размера сечения В-В серийных и модернизированных рабочих органов происходит практически одинаково;
- после наработки 20 га у экспериментального образца наблюдается снижение скорости изнашивания в горизонтальной плоскости, связано это с увеличением толщины носовой части, по мере износа боковых граней;
- ресурс модернизированных рабочих органов до предельного состояния составляет 40 га, что в 1,6 раза выше значения ресурса серийных рабочих органов.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Модернизированные рабочие органы показали высокую эффективность на почвах влажностью до 19%. В ходе испытаний было установлено, что использование таких рабочих органов не приводит к увеличению силовой нагруженности агрегата по сравнению с серийными рабочими органами. Это позволяет сохранять энергетические затраты на чизельную обработку почвы на прежнем уровне, что является важным фактором для повышения общей эффективности сельскохозяйственного производства.

2. Установлено, что ресурс серийных рабочих органов подчиняется закону Вейбулла с параметрами распределения $a = 16,1$, $b = 2,8$; ресурс модернизированных рабочих органов подчиняется нормальному закону распределения.

3. Характер протекания изменения массы образцов идентичен, на это указывает угол наклона кривой износа к оси абсцисс. Различие просматривается только в зоне приработки образцов, у модернизированных образцов участок приработки более короткий. Можно предположить, что процесс износа носовой части серийных рабочих органов идет более интенсивно.

4. Анализ износа рабочих органов по базовым сечениям показал, что

- изменение линейных размеров контролируемого сечения $A-A$ происходит менее интенсивно у модернизированных рабочих органов;

- до наработки 20 га изменение линейного размера сечения $B-B$ серийные и модернизированные рабочие органы происходит практически одинаково;

- после наработки 20 га у модернизированного образца наблюдается снижение скорости изнашивания в горизонтальной плоскости, связано это с увеличением толщины носовой части, по мере износа боковых граней;

- ресурс модернизированных рабочих органов до предельного состояния составляет 40 га, что в 1,6 раза выше значения ресурса серийных рабочих органов.

5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

5.1. Определение затрат на производство модернизированных и серийных рабочих органов чизельного плуга

Расчеты по оценке экономической эффективности конструкторской разработки начинаются с определения затрат на изготовление (или модернизацию) предлагаемого образца Z_k , руб.:

$$Z_k = C_{си} + C_m + \Phi_t, \quad (5.1)$$

где $C_{си}$ — затраты на приобретение стандартных составляющих модернизированного объекта, руб.; C_m — затраты на приобретение материалов на изготовления объекта, руб.; Φ_t — фонд заработной платы персонала, задействованных при изготовлении объекта, руб.

Исходные данные формируются на основе проведенного литературного обзора, выполненных конструкторских расчетов по предлагаемой конструкции рабочего органа, нормативно-справочных материалов, ценовой информации, полученной по прайс-листам и коммерческим предложениям заводов изготовителей [206].

Рабочие органы модернизированной и серийной геометрической формы предлагается изготовить методом литья, при этом армировочные валики на рабочей поверхности получают непосредственно в процессе изготовления литейной заготовки. Более подробно технологический процесс изготовления литых деталей с заданными триботехническими свойствами рабочих зон описан в работе [114].

5.1.1. Получение заготовок методом литья

Данный этап является первым этапом производственного процесса изготовления рабочих органов. На этом этапе происходит создание заготовок, которые в дальнейшем будут подвергаться механической обработке и другим технологическим операциям. От качества отливочных полуфабрикатов зависит конечное качество готовых изделий. В качестве исходного материала, в рамках рассматриваемой технологии, был выбран высокоуглеродистый сплав ВЧ-50.

Перечень исходных материалов и технологических затрат, для изготовления опытной партии рабочих органов, представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Технологические затраты на изготовление опытной партии модернизированных долот, руб./т литейного проката.

№	Наименование	Стоимость 1 тонны, руб.	Требуемое количество, кг.	Цена, руб.	
				серийный	модернизи- рованный
1	Чугун литейный	112508	515	57941,6	57941,6
2	Чугун	122280	21	2567,9	2567,9
3	Чугун хромникеле- вый	1347850	14	18869,9	18869,9
4	Лом стальной (покуп- ной)	67368	52	3503,1	3503,1
5	Лом чугунный (по- купной)	64912	236	15319,2	15319,2
7	Ферросилиций	386840	18	6963,1	6963,1
8	Ферромарганец	336840	3	1010,5	1010,5
9	ПГ-С27	367000	62	0,0	22754,0
10	Электроэнергия, кВт/ч	13,068	135	1764,2	1764,2
11	Природный газ, м ³	25,138	24	603,3	603,3
Итого:				108542,9	131296,9

Учитывая, что масса одного рабочего органа составляет 2,8, общее количество рабочих органов, получаемых из одной тонны литейного проката, с

учетом угара материала, составит 260 штук. Следовательно, затраты на материал и энергию, приходящихся на один рабочий орган, составят 417,5 рублей для образца с серийной геометрией и 505,02 для модернизированного образца.

5.1.2. Механическая обработка литейных образцов

После отливки заготовок следует этап механической обработки. На этом этапе заготовки подвергаются очистке и сверлению крепежных отверстий. Целью механической обработки является достижение требуемой точности размеров и формы деталей.

Стоимость слесарной обработки можно определить из выражения

$$Z_c = Z_z \left(\gamma \varepsilon \mu + \frac{H}{100} \right), \quad (5.2)$$

где Z_z – затраты на заработную плату, руб; ε – коэффициент учитывающий дополнительную оплату труда, согласно [206] $\varepsilon = 1,4$; γ – коэффициент учитывающий оплату труда наладчика используемого оборудования, согласно [206] $\gamma = 1,2$; μ – коэффициент учитывающий оплату труда слесаря при многосменной работе $\mu = 1$; H – накладные расходы, %.

Подставив значения в формулу 5.2, получим

$$Z_c = 19,4 \left(1,4 \cdot 1,2 \cdot 1 + \frac{400}{100} \right) = 110,19 \text{ руб.}$$

5.1.3 Оплата труда на изготовление литейных заготовок

Полная оплата труда представляет собой сумму основных и дополнительных затрат на выплату заработной платы.

Основные выплаты определяются зависимостью:

$$Z_o = 1,2 \cdot 1,1 \cdot C_c \cdot T_p, \quad (5.3)$$

где 1,2 и 1,1 соответственно коэффициенты премирования и доплаты за работу в сверхурочное время; Сч – часовая тарифная ставка рабочего персонала, на основании [206] Сч = 180 руб.; Тр – общая трудоемкость плавки 1 тонны стали, согласно [206] Тр = 18 чел/час .

Тогда основные выплаты составят:

$$З_0 = 1,2 \cdot 1,1 \cdot 180 \cdot 18 = 4276,8 \text{ руб.}$$

Дополнительная часть затрат на заработную плату определяется выражением

$$З_д = 0,12 \cdot З_0 = 513,21 \text{ руб.}$$

(5.4)

Соответственно общие расходы на заработную плату персонала составят 4790 рублей.

Дополнительно к этой сумме необходимо добавить затраты на отчисление в фонд заработной платы в размере 36 %. Тогда расходы на заработную плату составят 6514 рублей, или 25,05 рубля в расчете на один рабочий орган.

5.1.4. Затраты, связанные с термической обработкой

Затраты на термическую обработку заготовок определяются заработной платой оператора и накладными расходами [206], выражение

$$З_у = З_{оп} + З_{нр},$$

(5.5)

Зарботная плата оператора определяется согласно выражению 5.6

$$З_{оп} = З_{по} + З_{пд} + ЕСН$$

(5.6)

где З_{по} - основная оплата, руб.; З_{пд} – дополнительная оплата, руб; ЕСН - единый налоговый вычет, принимается равным 26 % от суммы оплат З_{по} и З_{пд}.

Основная оплата оператора определяется выражением:

$$З_{по} = T_y \cdot Cч \cdot K \quad (5.7)$$

где T_y – трудоемкость наплавочных работ, $T_y = 0,2$ чел/час;

$Cч$ – часовая тарифная ставка рабочего персонала, на основании [206]

$Cч = 180$ руб.;

K - коэффициент, учитывающий дополнительную нагрузку оператора,
 $K = 1,1$.

Соответственно $З_{по} = 39,6$ рубля, из расчета на один рабочий орган.

Дополнительная оплата, определяется выражением

$$З_{пд} = З_{по} \cdot K_d \quad (5.8)$$

где $K_d = 0,3$ – коэффициент дополнительной оплаты.

Соответственно $З_{пд} = 11,8$ рубля, из расчета на один рабочий орган.

Накладные расходы определяются в размере 200% от суммы оплат $З_{по}$ и $З_{пд}$

Тогда стоимость термической обработки одного рабочего органа составит

$$З_u = 39,6 + 11,8 + 0,26(51,4) + 2 \cdot 51,4 = 167,5 \text{ руб.}$$

Окончательно, используя формулу 5.1, получаем конечную стоимость изготовления рабочих органов:

с серийной геометрией

$$З_k = 417,5 + 110,19 + 25,05 + 167,5 = 720,2 \text{ руб.}$$

с армировочными валиками

$$З_k = 505,02 + 110,19 + 25,05 + 167,5 = 807,7 \text{ руб.}$$

Стоимость рабочих органов с учетом коммерческих расходов и наценки дилерской службы можно определить из выражения:

$$З_{зак} = З_k \cdot k$$

(5.9)

где k – коэффициент, учитывающий накладные расходы, налоги, дилерскую наценку, на основании [206] $k = 2.2$.

Окончательно имеем:

Отпускная стоимость рабочего органа с серийной геометрией

$$Z_{\text{зак}} = 720,2 \cdot 2,2 = 1584,44 \text{ руб.};$$

с армировочными валиками

$$Z_{\text{зак}} = 807,7 \cdot 2,2 = 1776,94 \text{ руб.}$$

5.2 Технико-экономической оценка эффективности применения экспериментальных долот

Экономическая эффективность применения модернизированных рабочих органов определяется с учетом закупочной стоимости и значения их ресурса, выражение 5.10.

$$\mathcal{E} = \left(\frac{Z_{\text{зак}}^{\text{сер}} \cdot H_{\text{сез}}}{R_{\text{сер}}} - \frac{Z_{\text{зак}}^{\text{мод}} \cdot H_{\text{сез}}}{R_{\text{мод}}} \right) N \quad (5.10)$$

где $Z_{\text{зак}}^{\text{мод}}, Z_{\text{зак}}^{\text{сер}}$ – закупочная стоимость серийных и модернизированных рабочих органов, руб.;

$H_{\text{сез}}$ – сезонная наработка на один рабочий орган, $H_{\text{сез}} = 50$ га;

$R_{\text{мод}}, R_{\text{сер}}$ – ресурс модернизированного и серийного рабочего органа, га;

N – количество рабочих органов в агрегате.

Данное выражение с учетом внеплановых ремонтов вызванных заменой рабочих органов по причине их износа до нормативной наработки можно переписать в виде:

$$\mathcal{E} = \left(\left(\frac{Z_{\text{зак}}^{\text{сер}} \cdot H_{\text{сез}}}{R_{\text{сер}}} + T_3 \cdot C_ч \cdot k \right) n_{\text{сер}} - \left(\frac{Z_{\text{зак}}^{\text{мод}} \cdot H_{\text{сез}}}{R_{\text{мод}}} + T_3 \cdot C_ч \cdot k \right) n_{\text{мод}} \right) N$$

где T_z – трудоемкость ремонтных работ, чел/ч;

$Cч$ – часовая тарифная ставка, руб.;

$n_{сер}, n_{мод}$ – количество замен рабочих органов в период нормативной наработки;

k – коэффициент учитывающий производственные затраты на работу в полевых условиях.

Принимая, что трудоемкость замены серийных и модернизированных рабочих органов величина постоянная. Согласно [206] примем $T_z = 0,5$, $Cч = 290$, для агрегата ДТ-75М+ОЧО-5, получим:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \left(\left(\frac{1584,44 \cdot 50}{24} + 290 \cdot 0,5 \cdot 2,8 \right) 2 - \left(\frac{1776,94 \cdot 50}{40} + 290 \cdot 0,5 \cdot 1 \right) \right) 5 \\ &= 25238,27 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Вывод по разделу. Экономическая оценка эффективности использования чизельного плуга ОЧО-5, оснащенного модернизированными рабочими органами, показала, что их применение позволяет получить экономический эффект в размере 25238,27 рублей в расчете на 250 га обработанной агрегатом площади.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Эффективность почвообрабатывающих орудий напрямую зависит от технического состояния их рабочих органов. Одним из ключевых факторов, определяющих ресурс этих деталей, является износостойкость их рабочих поверхностей и условия эксплуатации. В ходе проведенного анализа был выявлен перспективный способ повышения долговечности рабочих органов чизельного плуга. Этот метод заключается в наплавлении армировочных валиков, изготовленных из высокоуглеродистых сплавов, на рабочую поверхность долота. Данный подход позволяет значительно увеличить срок службы инструмента, обеспечивая его надежную работу в сложных условиях эксплуатации.

2. Теоретически обоснованы геометрические размеры продольных армировочных валиков, располагаемых на носовой поверхности рабочего органа чизельного плуга. Предложено критериальное условие в аналитическом виде, позволяющее избежать забивания частиц почвы между армировочными валиками. На основании предложенного критерия получена аналитическая зависимость, позволяющая определить значения основных геометрических параметров армировочного валика: длина армировочного валика $l = 0,07\text{м}$; радиус армировочного валика, выполненного в виде полусферы, $r = 0,012\text{м}$. В результате применения параметрических кривых Безье получено уравнение образующей кривой, которая служит линией сопряжения армировочных валиков. Этот подход позволяет точно описать форму и положение кривой, обеспечивая плавный переход между элементами конструкции. Использование кривых Безье обеспечивает высокую точность и гибкость в проектировании, что особенно важно при создании сложных геометрических форм.

3. Разработана программа экспериментов для изучения эффективности чизельного агрегата с усовершенствованными рабочими органами. Используются современные методы анализа и мониторинга для обеспечения точности результатов. Предложено устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор, а также способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины.

4. Модернизированные рабочие органы показали высокую эффективность на почвах влажностью до 19%. В ходе испытаний было установлено, что использование таких рабочих органов не приводит к увеличению силовой нагруженности агрегата по сравнению с серийными рабочими органами. Это позволило сохранить энергетические затраты на чизельную обработку почвы на прежнем уровне, что является важным фактором для повышения общей эффективности сельскохозяйственного производства.

5. Анализ износа рабочих органов по базовым сечениям выявил, что ресурс модернизированных рабочих органов до предельного состояния составляет 40 га. Это значение в 1,6 раза превышает ресурс серийных рабочих органов. Таким образом, применение модернизированных рабочих органов позволяет не только сохранить энергетические затраты, но и значительно увеличить срок службы рабочих органов, что в конечном итоге способствует повышению производительности и снижению затрат на техническое обслуживание и ремонт почвообрабатывающей техники.

6. Экономическая оценка эффективности использования чизельного плуга ОЧО-5, оснащенного модернизированными рабочими органами, показала, что их применение позволяет получить экономический эффект в размере 25238,27 рублей в расчете на 250 га обработанной агрегатом площади.

Рекомендации производству

Для предприятий агропромышленного комплекса, расположенных в засушливых регионах и обрабатывающих тяжелые, глинистые почвы низкой влажности, склонные к образованию плотной корки и плужной подошвы, препятствующей нормальному развитию корневых систем растений, рекомендуется применение чизельных орудий, оснащенных модернизированными рабочими органами повышенной долговечности, что позволит снизить эксплуатационные затраты и повысить эффективность обработки почвы. Применение модернизированных рабочих органов позволяет увеличить срок службы орудия и снизить затраты на их обслуживание и ремонт.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Целесообразно продолжить углубленные исследования механизма адгезии почвенных частиц на поверхностях сельхозоборудования при влажности

почвы выше 19%. Экспериментальные испытания и моделирование помогут точнее определить влияние увлажнения на эффективность работы техники, повысить её эксплуатационные характеристики, производительность и качество обработки почвы, снизить износ и расходы на обслуживание. Полученные результаты будут полезны для разработки новых конструкций почвообрабатывающей техники, устойчивых к налипанию грунта и обеспечивающих стабильную высокую производительность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев, М. В. Технология ремонта машин и оборудования / М. В. Авдеев, Е. И. Воловик, И. Е. Ульман. – М. : Агропромиздат, 1986. – 248 с.
2. Аминов Р.И. Обоснование параметров и разработка культиватора для полосовой обработки почвы и послойного внесения удобрений / Мударисов С.Г., Аминов Р.И., // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 3 (32). С. 33-42.
3. Аминов Р.И. Рабочий орган для полосовой обработки почвы под технические культуры / С.Г. Мударисов, В.В. Тихонов // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники. - Уфа, 2016. - С. 25-31.
4. Анализ износов правого и вертикального ножей скоростного плуга ПСКУ и методы по увеличению их долговечности / Н. Д. Ульянова, И. А. Михальченко, Д. Ю. Обыденников, А. В. Шаев // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1. – С. 54-65. – EDN AZEWQG.
5. Анализ исполнительных органов глубокорыхлителей по их стойкости к абразивному изнашиванию / А.М. Михальченков, А.А. Мелешенко, Е.С. Таранов, С.С. Емельянов // Вестник Брянской ГСХА. 2018. № 1 (65). С. 50-57. EDN: [YOATZP](#)
6. Анализ тягового сопротивления элементов цилиндрического плужного корпуса / Я. П. Лобачевский, В. Ф. Комогорцев, С. И. Старовойтов, К. А. Храмовских // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – № 2. – С. 11-15. – EDN KWUXTF.
7. Архипов, В. Е. Лазерная наплавка изношенных деталей / В. Е. Архипов, Е. М. Биргнер, Е. М. Воловик // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – № 11. – С. 47.
8. Ахметшин, Т. Ф. Повышение износостойкости и долговечности почвообрабатывающих рабочих органов / Т. Ф. Ахметшин // Известия Оренбургского гос. агр. ун-та. – 2013. – № 3 (41). – Ч. 1. – С. 81–84.

9. Ахметшин, Т. Ф. Прогнозирование долговечности лезвий стрелчатых лап культиваторов / Т. Ф. Ахметшин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 5 (49). – Ч. 1. – С. 70–74.
10. Бабицкий, Л. Ф. Обоснование оптимальных режимов работы культиваторных лап на виброударной подвеске / Л. Ф. Бабицкий, И. В. Соболевский, В. А. Куклин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 3(58). – С. 69-73. – EDN YOQXAN.
11. Бабицкий, Л. Ф. Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов стерневого культиватора / Л. Ф. Бабицкий, И. В. Соболевский, В. А. Куклин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20, № 2. – С. 183-191. – DOI 10.30766/2072-9081.2019.20.2.183-191. – EDN QWZEAL.
12. Багринцев, О. О. Повышение износостойкости долот лемехов плугов металлокерамическими покрытиями / О. О. Багринцев // Агропромышленный комплекс: контуры будущего: Материалы IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 06–08 декабря 2017 года. Том Часть 2. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова, 2018. – С. 101-104. – EDN UZOSHU
13. Бартенев, И. М. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин / И. М. Бартенев, Е. В. Поздняков // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 3. – С. 114–122.
14. Беляев, Д.В. Восстановление рабочих органов почвообрабатывающих машин плазменной наплавкой / Д. В. Беляев, А. С. Гончаренко, М. В. Харин // Фундаментальные и прикладные исследования в сфере естествознания и технических наук: гипотезы, идеи, результаты : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Белгород, 26 июня 2020 года / Под общей редакцией Е.П. Ткачевой. – Белгород: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство перспективных научных исследований", 2020. – С. 33-36. – EDN MIYOKZ

15. Бердышев В. Е. Теория и расчет технологических параметров сельскохозяйственных машин / Бердышев В.Е., Цепляев А.Н., Шапоров М.Н., Харлашин А.В., Седов А.В., Цепляев В.А., Борисенко И.Б. // Волгоград, 2018.

16. Бойков, В.М. Влияние технологий основной обработки почвы на накопление и содержание влаги / В.М. Бойков, С.В. Старцев, Е.В. Бойкова, А.В. Павлов // Вавиловские чтения - 2009: материалы Межд. науч.- практ. конф., Саратов, 2009 г. // ООО Изд-во «КУБиК». - 2009. - С.221-222.

17. Борисенко И. Б. Развитие чизельных почвообрабатывающих орудий и их теоретическое обоснование /Борисенко И.Б., Пындак В.И., Новиков А.Е. // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2021. № 2. С. 12-19.

18. Борисенко И. Б. Технологический процесс основной обработки как фактор ресурсосбережения при возделывании сельскохозяйственных культур / Борисенко И.Б., Сидоров А.Н., Мезникова М.В., Сытилин М.Н. // В сборнике: оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий. материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию Победы в Великой отечественной войне 1941-1945 гг.. Волгоград, 2020. С. 112-118.

19. Борисенко И. Б., Е. А. Иванцова, Ю. Н. Плескачев, А. Н. Сидоров Новые технологии обработки почвы, известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2012. - № 1(25). - С. 14-16.

20. Борисенко И. Б., Сидоров А. Н., Мезникова М. В., Сытилин М. Н. Технологический процесс основной обработки как фактор ресурсосбережения при возделывании сельскохозяйственных культур. Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2020. С. 112-118.

21. Борисенко, И. Б. Повышение долговечности лезвия стрелчатых лап культиватора за счет нанесения порошковой износостойкой смеси / И. Б. Борисенко, Л. В. Костылева, Д. С. Гапич // Научное обозрение. – 2015. – № 15. – С. 215-218. – EDN UXSHTR

22. Борисенко, И. Б. Технические и технологические особенности комбинированного рабочего органа / И. Б. Борисенко, А. Е. Доценко // Нива Поволжья. – 2015. – № 3(36). – С. 89-96. – EDN VBBNSZ.

23. Борисенко, И. Б. Технологическая схема рабочего органа для полосной глубокой обработки почвы / И. Б. Борисенко, М. В. Соколова // Нива Поволжья. – 2014. – № 3(32). – С. 44-48. – EDN SNJFZ.

24. Борисенко, И.Б. Агротехнические подходы при проектировании рабочего органа минимальной обработки почвы с полосным углублением / И.Б. Борисенко, М.Н. Шапуров, П.И. Борисенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2013. - № 4 (32). - С.193-197.

25. Борисенко, И.Б. Модернизация и адаптация почвообрабатывающих орудий на основе чизеля / И.Б. Борисенко, В.И. Пындак, А.Е. Новиков // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2011. - № 4. - С. 8 -10.

26. Борисенко, И.Б. Применение ресурсосберегающей технологии Strip-till при выращивании сорго / И.Б. Борисенко, М.В. Мезникова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2015. -№6(56). - С.82-84.

27. Борисенко, И.Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы в острозасушливых условиях Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Борисенко Иван Борисович. - Чебоксары, 2006. - 42 с.

28. Буйлов, В. Н. Анализ газотермических методов напыления при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники / В. Н. Буйлов, И. В.

Люляков, Д. С. Чернышев // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в АПК : матер. Межгос. науч.-техн. семинара. – Саратов, 2009. – С. 32–34.

29. Буйлов, В. Н. Возможности применения электроискрового легирования для восстановления деталей машин / В. Н. Буйлов, И. В. Люляков, В. С. Еременко // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в АПК : матер. Межгос. науч.-техн. семинара. – Саратов, 2009. – С. 37–39.

30. Буйлов, В. Н. К вопросу о причинах износа рабочих органов культиваторов / В. Н. Буйлов, И. В. Люляков, С. В. Чумакова // Научная мысль. – 2017. – № 3. – С. 134-136. – EDN YRVOIV

31. Буйлов, В. Н. Повышение долговечности почвообрабатывающей сельскохозяйственной техники путем восстановления и упрочнения рабочих органов наплавкой и борированием : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Буйлов Валерий Николаевич, 2024. – 456 с. – EDN LBHUIP

32. Буйлов, В. Н. Повышение эффективности технологического процесса упрочнения лезвий рабочих органов культиваторов / В. Н. Буйлов, И. В. Люляков,

33. Буйлов, В. Н. Причины нарушения работоспособности рабочих органов культиваторов / В. Н. Буйлов, И. В. Люляков, А. В. Русинов // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 3. – С. 61–64.

34. Буйлов, В. Н. Результаты исследований твердосплавных электроискровых покрытий / В. Н. Буйлов, И. В. Люляков, В. С. Еременко, С. А. Пронин // Аграрный научный журнал. – 2013. – № 12. – С. 38–42.

35. Васильев А. А., Васильев С. А., Максимов И. И. [и др.] Распределение гранулированных удобрений рабочим органом плоскореза-удобрителя // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 2(153). – С. 16-26. – DOI 10.24412/2227-9407-2024-2-16-26. – EDN NGXQFL.

36. Васильев С. А., Васильев А. А., Таркинский В. Е., Максимов И. И. Интеллектуальная технология контурного глубокого рыхления с вертикальным мульчированием почвы склоновых земель в системе точного земледелия, / Техника и оборудование для села. – 2024. – № 4(322). – С. 10-13. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-4-10-13. – EDN TNSCOP.

37. Ветохин В. И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы. Автореф. дис. канд. тех.: - Москва, 1991. - 330 с.

38. Ветохин В.И. Проектирование рыхлителей почвы на основе метода отображения рациональной деформации пласта / В.И. Ветохин // Тракторы и с.х. машины. – 1994. - № 1. - С. 21-24

39. Ветохин, В. И. О динамике формы поверхности рабочих органов почворыхлителей / В. И. Ветохин // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 6. – С. 30-35. – EDN OODFRL.

40. Ветохин, В.И. Системные и физико - механические основы проектирования рыхлителей почвы: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Ветохин Владимир Иванович. - Киев - Москва, 2010. - 306 с.

41. Виноградов, В.И. Сопротивление рабочих органов плуга и методы снижения энергоемкости пахоты: автореф. дис. ... д.т.н.: 05.20.01 / В.И Виноградов. - Челябинск: 1969. - 45 с.

42. Винокуров, В. Н. Исследование, разработка и внедрение в производство самозатачивающихся рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий / В. Н. Винокуров. – М., 2009. – 311 с.

43. Винокуров, В. Н. Определение выбраковочных параметров режущих элементов рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий / В. Н. Винокуров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1976. – № 10. – С. 23–25.

44. Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики / С. А. Сидоров, Я. П. Лобачевский, Д. А. Миронов, А. С. Золотарев // Сельскохозяйственные

машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 10-16. – DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-10-16. – EDN YYRYZT.

45. Влияние конструкции лемеха и наплавочного армирования на твердость его носовой части / В.А. Денисов, Н.Ю. Кожухова, Г.В. Орехова, М.А. Михальченкова // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 7. С. 36-40. EDN: WDJQBD

46. Гапич, Д. С. Повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин / Д. С. Гапич, Л. В. Костылева // Стратегическое развитие АПК сельских территорий РФ в современных международных условиях : матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. – Волгоград, 2015. – С. 64-67.

47. Гапич, Д. С. Проектирование профиля долота чизельного орудия / Д. С. Гапич, Ю. А. Швабауэр, **С. И. Субботин** // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию со дня основания ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Волгоград, 08–09 февраля 2024 года. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2024. – С. 24-28. – EDN NVKSUP.

48. Гапич, Д.С. Тяговые полевые испытания чизельного рабочего органа со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием / Гапич Д.С., Борисенко И.Б., Галанский К.В., **Субботин С.И.** // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее проф. образование. – 2026. – № 1(85). – С. 457- 470. – DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-49.

49. Геометрическая форма износа отвалов скоростных плугов ПСКУ, методы его устранения и торможения / Н. Ю. Кожухова, Н. В. Федорова, А. С. Ковалев, А. М. Астапеченко // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1. – С. 65-74. – EDN GZCEVS.

50. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в 3 т. / В. П. Горячкин. - М.: Колос, 1965. - т.1 - 720 с.

51. Горячкин, В.П. Собрание сочинений. М: Колос, 1965 - т.2 - 480 с.
52. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 –2020 годы. Утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 14.07.2012 г. № 717. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 204 с.
53. Джабборов Н. И., Эвиев В. А., Сергеев А. В., Семенова Г. А. Оценка вероятностно-статистических характеристик тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата с динамичными рабочими органами / // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 2(54). – С. 275-284. – DOI 10.32786/2071-9485-2019-02-33. – EDN VSYJRG.
54. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. № 120 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://old.mcx.ru/documents/document/v7_show/14857.133.htm
55. Долото глубокорыхлителя повышенной износостойкости для работы на связных почвах: пат. 2648713 Рос. Федерация: МПК А01В15/02, А01В35/20, А01В13/08 / Михальченков А.М., Белоус Н.М., Ториков В.Е., Мелешенко А.А., Михальченкова М.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный аграрный университет". - № 2016149692; заявл. 16.12.2016; опубл. 28.03.2018, Бюл. № 5. EDN: [UKAROM](#)
56. Дринча, В.М. Технологические особенности эксплуатации МТА с чизельными плугами / В.М. Дринча, А.Х. Бекев, И.Б. Борисенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2004. - № 2. - С. 16-19.
57. Ерохин М.Н., Новиков В.С. Повышение прочности и износостойкости лемеха плуга // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2008. - № 3. - С. 100-107.

58. Ерохин, М. Н. К вопросу об импортозамещении рабочих органов зарубежных почвообрабатывающих машин / М. Н. Ерохин, В. С. Новиков, Д. И. Петровский // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 206–212.

59. Ерохин, М. Н. Прогнозирование ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин / М. Н. Ерохин, В. С. Новиков, Д. И. Петровский // Сельский механизатор. – 2015. – № 11. – С. 6–9.

60. Завражнова, А. И. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии / А. И. Завражнова. – СПб. : Лань, 2013. – 496 с.

61. Закономерности изменения амплитуды колебаний и вероятностных оценок тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов Джабборов Н. И., Сергеев А. В., Эвиев В. А., Очиров Н. Г. // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 4(48). – С. 42-49. – EDN RDXWCT.

62. Изменение микроструктуры и микротвердости стали 65Г после термоупрочнения и наплавки малоуглеродистым электродом / А. М. Михальченков, С. А. Феськов, И. В. Козарез, Е. И. Слезко // Технический сервис машин. – 2021. – № 1(142). – С. 107-114. – DOI 10.22314/2618-8287-2021-59-1-107-114. – EDN TTZBVJ.

63. Изнашивание восстановленных отвальных поверхностей трения при воздействии на них среды с высоким содержанием диоксида кремния/Михальченков А.М., Бирюлин А.А., Дрикоз А.А., Косачев С.В., Купреенко О.А.//Вестник Брянской ГСХА. 2019. № 6 (76). С. 65-69.

64. Инаекян, С. А. Повышение ресурса культиваторных стрельчатых лап / С. А. Инаекян, П. А. Рогозников, В. А. Цепулин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 10. – С. 44–45.

65. Инновационные направления развития ремонтно-эксплуатационной базы для сельскохозяйственной техники / С. А. Соловьев [и др.]. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 160 с.

66. Ишков, А. В. Влияние технологических факторов на износ поверхностно упрочненных стрельчатых лап / А. В. Ишков, Н. Т. Кривочуров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 10. – С. 92–96.
67. Камбулов С.И. Механико-технологическое обоснование повышения эффективности функционирования сельскохозяйственных агрегатов: дис. ... д-ра техн. наук/ФГОУВПО "Кубанский государственный аграрный университет". Краснодар, 2008. EDN: NQLKOF
68. Камбулов С.И. Снижение энергоемкости процесса почвообработки/С.И. Камбулов//Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 1. С. 32-34. EDN: IJONEB
69. Кащеев, А. А. Повышение износостойкости деталей почвообрабатывающих машин / А. А. Кащеев, Г. В. Гуднов // Техника в сельском хозяйстве. – 1986. – № 6. – С. 57–58.
70. Кащеев, В. Н. Абразивное разрушение твердых тел / В. Н. Кащеев. – М. : Наука, 1970. – 248 с.
71. Кисель, Ю. Е. Повышение износостойкости деталей машин композиционными покрытиями с включением полиэпоксидов / Г. В. Гурьянов, Ю. Е. Кисель // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 3. – С. 13–16.
72. Кожухова Н. Ю. Наплавочное армирование рабочих органов почвообрабатывающих машин, эксплуатирующихся на тяжелых почвах (на примере плужных лемехов): дис. ... канд. тех. наук. – М., 2011. – С. 94 – 145.
73. Кожухова Н.Ю., Синяя Н.В./ Влияние армирования поверхности лемехов на их изнашивание по толщине// Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 9. С. 31-34.
74. Кожухова Н.Ю./ Влияние армирования рабочей поверхности плужного лемеха на расход топлива// Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2013. № 1 (12). С. 163-168.

75. Кожухова, Н. Ю. Изменение ширины лучевидного износа армированных малоуглеродистым углеродом лемехов при эксплуатации на суглинках / Н. Ю. Кожухова, С. С. Емельянов, Н. В. Ищенко // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 1(65). – С. 45-50. – EDN YOATZG.

76. Козаровец, Н. В. Инновационные технологии упрочнения деталей сельскохозяйственной техники / Н. В. Козаровец, Г. Ф. Бетенья, Г. И. Анискович // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем : сб. докл. 12 Междунар. науч.-техн. конф., 10–12 сентября 2012 г. – Углич, 2012. – С. 219–228.

77. Коломейченко, А. В. Испытания на изнашивание рабочих поверхностей лап культиваторов, упрочненных газопламенным напылением порошкового материала / А. В. Коломейченко, С. А. Зайцев // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 117. – С. 204–207.

78. Комогорцев В.Ф., Кожухова Н.Ю., Михальченкова М.А./ Обоснование использования наплавочного армирования для повышения износостойкости деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий применительно к тяжелым почвам// В сборнике: Труды инженерно-технологического факультета. Сборник научных трудов. Под ред. Михальченкова А.М., Брянск, 2015. С. 45-79.

79. Комогорцев В.Ф., Тюрева А.А./ Теоретико-аналитическое рассмотрение движения частиц легкой почвы по армированной поверхности// Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. 2015. № 1. С. 9-43.

80. Концептуальная модель секции почвообрабатывающего орудия адаптивного принципа действия / Д. С. Гапич, Д. С. Гуйбадулин, Ю. А. Швабауэр, С. И. Субботин // Перспективные тенденции развития научных исследований по приоритетным направлениям модернизации АПК и сельских территорий в современных социально-экономических условиях : Материалы

Национальной научно-практической конференции, Волгоград, 15 декабря 2021 года. Том I. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. – С. 404-409. – EDN MVZUVB.

81. Костылева Л.В., Гапич Д.С., Борисенко И.Б. Проблемные вопросы эксплуатации рабочих органов чизельных орудий и пути их решения // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3(39). С. 176-179. EDN: [UMEIJL](#)

82. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ — М.: Машиностроение, 1968. — 481 с

83. Курбанов Д.Б. Повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий. Дисс. ... канд. техн. наук. Волгоград –2019.

84. Лачуга, Ю. Ф. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года / Ю. Ф. Лачуга. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 80 с.

85. Лебедев, К. А. Повышение ресурса культиваторных лап / К. А. Лебедев, А. Л. Лебедев // Научное обозрение. – 2015. – № 3. – С. 50–55.

86. Легун, В. А. Восстановленные детали – как новые / В. А. Легун // Техника в сельском хозяйстве. – 1983. – № 4. – С. 53–55.

87. Лобачевский, Я. П. Обоснование параметров почворезущих рабочих органов для условий эксплуатации на суглинистых почвах / Я. П. Лобачевский, С. И. Старовойтов, В. Ф. Комогорцев. – Москва: Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2018. – 304 с. – ISBN 978-5-94600-026-0. – EDN YOHIOE.

88. Лобачевский, Я. П. Оптимальный профиль передней поверхности чизельного рабочего органа / Я. П. Лобачевский, С. И. Старовойтов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 2. – С. 26-30. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-26-30. – EDN YXPIEL.

89. Лобачевский, Я. П. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа / Я. П. Лобачевский, С. И. Старовойтов

// Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – № 5. – С. 17-23. – DOI 10.22314/207375992016.5.1723. – EDN WYKCKL.

90. Лобачевский, Я. П. Физические аспекты суглинистой почвы / Я. П. Лобачевский, С. И. Старовойтов. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2015. – 92 с. – ISBN 978-5-88517-221-9. – EDN TVLPLR.

91. Лялякин, В. П. Концепция развития ремонта техники на базе восстановления и упрочнения деталей / В. П. Лялякин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. – № 6. – С. 2–7.

92. Лялякин, В. П. Перспективы восстановления деталей сельскохозяйственной техники / В. П. Лялякин // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : матер. IX междунар. конф. «ИнформАгро – 2017», 7–9 июня 2017 г. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – С. 473–477.

93. Лялякин, В. П. Состояние и перспективы упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами / В. П. Лялякин, С. А. Соловьев, А. В. Аулов // Сварочное производство – 2014. – № 7. – С. 96–104.

94. Методические особенности проведения экспериментов по повышению ресурса долот глубокорыхлителей / С. А. Феськов, Н. С. Паседько, К. О. Киреевский, А. С. Шевченко // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1. – С. 35-47. – EDN QHLVUX.

95. Методологические подходы к формированию абразивной характеристики почвы и износу почвообрабатывающей техники / А. Т. Лебедев, В. В. Очинский, Ю. И. Жевора [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 2(43). – С. 78-83. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-2-78-83. – EDN JCFRRQ..

96. Методы повышения долговечности деталей машин / В. Н. Ткачев [и др.] // – М., Машиностроение, 1971. – 272 с.

97. Механические свойства термоупрочненной стали 65Г, поверхностно-армированной наплавкой твердым сплавом / А. М. Михальченков, Н. Д. Ульянова, С. А. Феськов, А. А. Гуцан // *Агроинженерия*. – 2021. – № 3(103). – С. 63-68. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-3-63-68. – EDN HNPZZG.

98. Миронов, Д. А. Оценка эффективности почвообрабатывающих рабочих органов по критерию износостойкости / Д. А. Миронов, А. К. Ламм, Р. К. Расулов // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. – 2023. – № 1(65). – С. 145-150. – DOI 10.31563/1684-7628-2023-65-1-145-150. – EDN LNANSL

99. Михайлин, В. Н. Диффузионное упрочнение деталей сельскохозяйственной техники / В. Н. Михайлин, В. И. Носов // *Защитные покрытия на металлах*. – 1985. – Вып. 19. – С. 93–94.

100. Михальченков А.М., Козарез И.В., Горбачев Р.В. Влияние наплавочного армирования на изнашивание восстановленных лемехов компании Фогель и Ноот // *Тр. ГОСНИТИ*. 2013. Т. 111, № 1. С. 50-55.

101. Михальченков А.М., Козарез И.В., Тюрева А.А./Способы упрочнения и упрочняющего восстановления лемехов плугов с сопутствующей термообработкой (аналитическое рассмотрение)// *Вестник Брянской ГСХА*. 2017. № 2 (60). С. 24-27.

102. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Тюрева А.А./ Факторы, влияющие на повышение долговечности плужных лемехов при наплавочном армировании// *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2010. № 3 (63). С. 39-43.

103. Михальченков А.М., Прудников С.Н., Ковалев А.П./ Износостойкость отвалов плугов после восстановления и упрочнения наплавочным армированием// *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2011. № 11. С. 41-45.

104. Михальченков А.М., Тюрева А.А. Оптимизация технологии наплавочного армирования носка плужного лемеха // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. - 2009. - № 1. - С. 23-27.

105. Михальченков А.М., Феськов С.А., Тюрева А.А. Методы снижения интенсивности изнашивания стрельчатых лап культиваторов на стадии изготовления // Вестник АПК Верхневолжья. - 2015. - № 3 (31). - С. 79-82.

106. Михальченков А.М./ Использование способа термоупрочненных компенсирующих элементов для восстановления лемехов импортного производства// Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. 2017. № 1. С. 28-71.

107. Михальченков, А. М. Восстановление деталей двухслойной наплавкой / А. М. Михальченков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1995. – № 1. – С. 22–23.

108. Михальченков, А. М. Влияние сопутствующей термообработки на упрочнение лемехов при их восстановлении (критический анализ) / А. М. Михальченков, С. А. Феськов, М. А. Карпов // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2023. – № 1(22). – С. 52-57. – EDN VIUHDE.

109. Михальченков, А. М. Восстановление стрельчатых лап / А. М. Михальченков, С. А. Феськов, Н. А. Якушенко // Сельский механизатор. – 2014. – № 3. С. 24–25.

110. Михальченков, А. М. Критический анализ технологий упрочняющей реновации плужных лемехов / А. М. Михальченков, С. А. Феськов // Современные тенденции развития аграрной науки : Сборник научных трудов II международной научно-практической конференции, Брянск, 07–08 декабря 2023 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2023. – С. 39-43. – EDN NNQHLP.

111. Михальченков, А. М. Обоснование технологий упрочнения и восстановления деталей рабочих органов скоростного плуга ПСКУ / А. М. Михальченков, Ю. И. Филин, Н. В. Петракова // Наука в центральной России. – 2023. – № 2(62). – С. 46-53. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-2-46-53. – EDN KZKCPY.

112. Михальченков, А. М. Эффективность импортозамещающих технологий изготовления, восстановления и упрочнения деталей почвообрабатывающих орудий / А. М. Михальченков, С. А. Соловьев, М. А. Михальченкова // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – № 11. – С. 17–22.)

113. Модернизированная технология и техника для обработки почвы и посева в экстремальных условиях / Н. К. Мазитов, Я. П. Лобачевский, С. Ю. Дмитриев [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2014. – № 6. – С. 63-67. – EDN SXGEKD.

114. Моторин, В. А. Концептуальные основы использования высокоуглеродистых сплавов в технологиях упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.20.03 / Моторин Вадим Андреевич; - Волгоград, 2021. - 39 с.]

115. Мударисов С.Г. Результаты агротехнической и энергетической оценки культиватора для полосовой обработки почвы под технические культуры / Мударисов С.Г., Аминов Р.И., Мухаметдинов А.М., Фархутдинов И.М., Реймер В.В. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (82). С. 141-144.

116. Мударисов С.Г. Чизельные плуги и глубокорыхлители (монография) / Мударисов С.Г., Давлетшин М.М., Тихонов В.В., Фархутдинов И.М. - Уфа: 2014. - 152 с.

117. Мударисов, С.Г. Совершенствование конструкции и управление качеством работы почвообрабатывающих дисковых орудий в целях повышения их эффективности: дис. ... канд. техн. наук. - Уфа, 2006. - 211 с.

118. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства / Я. П. Лобачевский, Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Ю. Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 3(309). – С. 2-12. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-3-2-11. – EDN HBDDQI.

119. Несмиян, А.Ю. Анализ рынка культиваторов / А.Ю. Несмиян, В.В. Должников // Совершенствование технических средств производства продукции растениеводства // Азово - Черноморская ГАА. - зерноград, 2013. - С. 97 - 104.
120. Новиков А.Е. Волновое разрушение закрытых почвогрунтов /Новиков А.Е., Борисенко И.Б., Чамурлиев О.Г., Чамурлиев Г.О., Плющиков В.Г. // В сборнике: Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. 2018. С. 422-427.
121. Новиков, А.Е. Совершенствование способов и технологий комплексной агротехнической мелиорации земель на юге России: автореф... дис. д-ра техн. наук: 06.01.02 / Новиков Андрей Евгеньевич. - Волгоград, 2015. - 313 с.
122. Новиков, В. С. Повышение долговечности стрельчатых лап культиваторов / В. С. Новиков, Д. И. Петровский // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В. П. Горячкина. – 2017. – № 4. – С. 49–55.
123. Новиков, В. С. Повышение ресурса рабочих органов машин для основной обработки почвы / В. С. Новиков, Д. И. Петровский // Основные направления развития техники и технологий в АПК : 7-я Всерос. науч.-практ. конф. – М., 2016. – С. 288–293.
124. Новиков, В. С. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин / В. С. Новиков. – М., 2013. – 112 с.
125. Новосельцов, В. А. Электроконтактная наплавка деталей порошковымизаготовками / В. А. Новосельцов // Автомобильная промышленность. – 1990. – № 8. – С. 21–23.
126. Новые материалы и технологии нанесения твердосплавных покрытий для деталей почвообрабатывающих машин / А. Ю. Измайлов, С. А. Сидоров, Я. П. Лобачевский [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 2. – С. 66-69. – EDN WZBNMB.

127. Обоснование влияния тягового сопротивления на параметры износа стрелчатых рабочих органов / В. И. Беляев [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 10 (60). – С. 92–95

128. Обоснование оптимальных параметров функционирования рабочего органа парового культиватора по тяговому сопротивлению / И. В. Божко, С. И. Камбулов, Г. Г. Пархоменко, В.Б. Рыков, Д.С. Подлесный // Инженерные технологии и системы. – 2024. – Т. 34, № 2. – С. 213-228. – DOI 10.15507/2658-4123.034.202402.213-228. – EDN LLSOPR..

129. Огрызков, Е. П. Агротехнические основы абразивного изнашивания лезвий лемехов / Е. П. Огрызков, В. Е. Огрызков, П. В. Огрызков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 11. – С. 44–45.

130. Ожегов, Н. М. Методы снижения изнашивающей способности почв при трении деталей почвообрабатывающих машин / Н. М. Ожегов, Д. А. Капошко, С. И. Будко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 13. – С. 132–133.

131. Оптимизация геометрии рабочего органа почвообрабатывающего орудия / Д. С. Гапич, Д. С. Гуйбадулин, Ю. А. Швабауэр, С. И. Субботин // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 09–11 февраля 2022 года / Волгоградский государственный аграрный университет. Том V. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2023. – С. 164-170. – EDN QJOBTO.

132. Патент № 2776191 С1 Российская Федерация, МПК G01L 5/13. Устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор: № 2022106285 : заявл. 09.03.2022: опубл. 14.07.2022 / А. Ф. Рогачев, А. А. Карсаков, Д. С. Гапич [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет". – EDN WZXXWT.

133. Патент № 2792117 С1 Российская Федерация, МПК А01В 13/08, А01В 15/02, Е02F 9/28. Рабочий орган чизельного плуга: № 2022118897: заявл. 11.07.2022: опубл. 16.03.2023 / Д. С. Гапич, В. А. Моторин, Ю. А. Швабауэр, С. И. Субботин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет". – EDN YUSYQB.

134. Патент № 2801775 С1 Российская Федерация, МПК G01L 5/13, А01В 35/20. Способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины: № 2022129130: заявл. 08.11.2022: опубл. 15.08.2023 / А. Ф. Рогачев, А. А. Карсаков, Д. С. Гапич [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет". – EDN VPDSKK.

135. Патент № 2680705 С1 Российская Федерация, МПК А01В 13/14, А01В 35/20. Корпус безотвального плуга : № 2018112125 : заявл. 03.04.2018 : опубл. 25.02.2019 / Л. Ф. Бабицкий, В. Ю. Москалевич. – EDN TRIDCC]

136. Патент № 2758861 С1 Российская Федерация, МПК В23Р 6/00, В22D 19/06, В23К 9/04. Способ восстановления изношенного долота почвообрабатывающей машины : № 2020135834 : заявл. 30.10.2020 : опубл. 02.11.2021 / В. А. Моторин, А. А. Поддубский, Г. О. Чамурлиев ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов". – EDN PRJESF

137. Патент № 2809534 С1 Российская Федерация, МПК А01В 15/02, А01В 35/20, Е02F 5/32. Долото глубокорыхлителя повышенной износостойкости : № 2023102698 : заявл. 06.02.2023 : опубл. 12.12.2023 / Н. В. Титов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина". – EDN THMSNG

138. Патент № 2502250 С2 Российская Федерация, МПК А01В 13/14, А01В 15/00, А01В 49/02. Плуг-рыхлитель: № 2012104258/13 : заявл. 07.02.2012

: опубл. 27.12.2013 / И. Б. Борисенко, А. С. Овчинников, Ю. Н. Плескачев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия, Общество с ограниченной ответственностью "ЮГЖЕЛДОРМАШ". – EDN KXANUM.

139. Петровский, Д. И. К вопросу о повышении долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин / Д. И. Петровский, В. С. Новиков // Инновационные направления развития технологии и технических средств механизации сельского хозяйства: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета имени императора Петра I. – Воронеж, 2015. – Ч. 2. – С. 125–129.

140. Повышение технических характеристик рабочих органов сельскохозяйственных машин / А. Ю. Измайлов, С. А. Сидоров, Я. П. Лобачевский [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 4. – С. 58–60. – EDN WEZWLZ

141. Полухин, А. А. Организационно-экономические основы технического переоснащения сельского хозяйства / А. А. Полухин. – Орел: Картуш, 2014. – 330 с.

142. Применение лазерной наплавки для повышения ресурса сельскохозяйственной техники / В. А. Шахов, П. Г. Учкин, И. В. Попов [и др.] // Современное состояние и перспективы производства и переработки сельскохозяйственной продукции и продуктов питания: Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 15 марта 2024 года. – Оренбург: Изд-во PROофис, 2024. – С. 92–96. – EDN EUFXMJ

143. Процесс износа лемехов компании «Лемкен», восстановленных приваркой термоупрочненной режущо-лезвийной области / А. М. Михальченков, Н. А. Бардадын, М. О. Лещев [и др.] // Вестник Брянской ГСХА. – 2023. – № 5(99). – С. 63–67. – DOI 10.52691/2500-2651-2023-99-5-63-67. – EDN IHAUWR

144. Пупавцев, И. Е. Рекомендации производству по восстановлению рабочих органов почвообрабатывающих машин плазменной наплавкой / И. Е. Пупавцев // Наука и образование: новое время. – 2018. – № 6(29). – С. 160-165. – EDN YVQWDZ

145. Разработка и технология изготовления почвообрабатывающих рабочих органов / Я. П. Лобачевский, И. В. Лискин, С. А. Сидоров [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – № 4. – С. 3-8. – EDN WLZXPД.

146. Разработка инновационных комплексных органических технологий, средств механизации и рабочих органов с повышенным уровнем долговечности для комбинированной ресурсосберегающей обработки почвы/Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Сидоров С.А., и др. // Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 109428, пр. Институтский 1-й, д. 5, отчет о НИР/НИОКР (итоговый). С. 325, 2020 Номер государственной регистрации: АААА-А19-119041090069-0

147. Раймер У.Т. Обоснование полосовой обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / У.Т. Раймер. - г. Барнаул, 2017 - 158 с.

148. Рассказов, М. Я. Восстановлению детали – индустриальную основу / М. Я. Рассказов // Техника в сельском хозяйстве. – 1978. – № 11. – С. 42–45.

149. Рахматулин Х.А. Газовая и волновая динамика. М.: Изд-во МГУ, 1983. 196 с.

150. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчёта режущих аппаратов / Н. Е. Резник. - М.: Машиностроение, 1975. - 311 с.

151. Результаты лабораторных испытаний покрытий, нанесенных плазменной наплавкой / В. А. Шахов, П. Г. Учкин, И. Н. Глушков, И. И. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – № 40. – С. 30-33. – EDN XZCLJR

152. Результаты лабораторных исследований почворезущих рабочих органов / И. В. Лискин, Я. П. Лобачевский, Д. А. Миронов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 4. – С. 41-47. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47. – EDN UZLCMO.

153. Результаты экспериментальных исследований силовой нагруженности чизельного агрегата / Д. С. Губайдулин, Ю. А. Швабауэр, Д. С. Гапич, С. Д. Фомин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 1(73). – С. 357-365. – DOI 10.32786/2071-9485-2024-01-40. – EDN FCXRFO.

154. Российская технология обработки почвы и посева на основе собственных конкурентоспособных инновационных машин / Н. К. Мазитов, Я. П. Лобачевский, Р. С. Рахимов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 7. – С. 68-70. – EDN SJZXV.

155. Самозатачивающееся долото глубокорыхлителя повышенной абразивной износостойкости: пат. 2648721 Рос. Федерация: МПК А01В 15/02, А01В 35/20, А01В 13/08 / Михальченков А.М., Козарез И.В., Мелешенко А.А., Михальченкова М.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный аграрный университет"; заявл. 16.12.2016; 28.03.2018, Бюл. № 10. EDN: [EBDAJC](#)

156. Санжаровская М.И./ Повышение долговечности плужных лемехов наплавающим армированием в условиях песчаных и супесчаных почв// Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2009. № 2. С. 601.

157. Секция культиватора адаптивного принципа действия / Д. С. Гапич, С. М. Головчанский, Ю. А. Швабауэр, С. И. Субботин // Научное обоснование стратегии развития АПК и сельских территорий в XXI веке: материалы Национальной научно-практической конференции, Волгоград, 10 ноября 2020 года. Том 2. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. – С. 9-12. – EDN EODUOE.

158. Сенчишин, В. С. Современные методы наплавки рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных сельскохозяйственных машин (обзор) / В. С. Сенчишин, Ч. В. Пулька // Автоматическая сварка. – 2012. – № 9. – С. 43–54.
159. Серов Н.В., Серов А.В., Бурак П.И. Технология упрочнения лемехов плуга электроконтактной приваркой // Труды ГОСНИТИ. - 2015. - Т. 121. - С. 287-290.
160. Сидоров, А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой/ А. И. Сидоров. – М. : Машиностроение, 1987. – 289 с.
161. Сидоров, С. А. Повышение ресурса почвообрабатывающих органов наплавочными сплавами / С. А. Сидоров, А. И. Сидоров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 9. – С. 20–22.
162. Сидоров, С. А. Технический уровень и ресурс рабочих органов сельхозмашин / С. А. Сидоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 3. – С. 29–33.
163. Синеоков, Г.И. Теория и расчет почвообрабатывающих машин /Г.И. Синеоков, И.М. Панов. М.: Машиностроение, 1977. -326 с.
164. Снижение тягового сопротивления чизельных орудий / Д. С. Гапич, Ю. А. Швабауэр, С. И. **Субботин**, Д. С. Губайдулин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 4(72). – С. 398-409. – DOI 10.32786/2071-9485-2023-04-40. – EDN PQJHND.
165. Совершенствование конструкции плужных лемехов с накладным долотом / И. В. Лискин, Н. В. Алдошин, И. В. Горбачев, А. И. Панов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2018. – № 1(83). – С. 15-19. – DOI 10.26897/1728-7936-2018-1-15-19. – EDN YPMTRA
166. Современные технологии и техника для сельского хозяйства - тенденции выставки AGRITECHNIKA 2019 / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский,

А. С. Дорохов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 6. – С. 28-40. – DOI 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40. – EDN OPALJD.

167. Соловьев, С. А. Влияние расположения стрелчатых лап культиваторов посевных комплексов на их износ / С. А. Соловьев, И. В. Козарез, С. А. Феськов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 11. – С. 40–42.

168. Способ упрочняющего восстановления деталей почвообрабатывающих машин/ Михальченков А.М., Тюрева А.А., Ковалев А.П., Малык А.Н. //Патент на изобретение RU 2484937 С2, 20.06.2013. Заявка № 2010150217/02 от 07.12.2010.

169. СТО АИСТ 4.1-2010 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей: СТО АИСТ 4.1-2010. - М.: ФГБНУ "Росинформагротех». - 2011. - 42с.

170. СТО АИСТ 4.2–2010. Стандарт организации. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы Методы оценки функциональных показателей, 2011 – 43с.

171. СТО АИСТ 4.6-2010 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения. Общие требования: СТО АИСТ 4.6-2010. - М.: ФГБНУ "Росинформагротех", 2011. -24с.

172. СТО АИСТ 4.8–2010 Стандарт организации. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы надежность. Классификация отказов по группам сложности, 2011 – 22с.

173. **Субботин, С. И.** Моделирование процесса взаимодействия частиц почвы с поверхностью рабочего органа, упрочненного продольным армировочным валиком / С. И. **Субботин**, С. Д. Фомин, Д. С. Гапич // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 4(76). – С. 348-355. – DOI 10.32786/2071-9485-2024-04-38. – EDN HBYAGU.

174. **Субботин, С. И.** Экспериментальные исследования чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими

характеристиками / С. И. **Субботин**, Д. С. Гапич, С. Д. Фомин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 4(76). – С. 355-364. – DOI 10.32786/2071-9485-2024-04-39. – EDN ХОВВWV.

175. **Субботин С. И.** Повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий за счет упрочнения продольными армировочными валиками поверхности долота / **Субботин С. И.**, Гапич Д. С., Фомин С.Д. Галанский К.В. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее проф. образование. – 2026. – № 1(85). – С. 665-678. – DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-69.

176. Тененбаум, М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию. – М. : Машиностроение, 1976. – 271 с.

177. Техничко-экономическое обоснование использования установок воздушно-плазменной резки [Электронный ресурс]. URL:<http://cncplasma.ru/article2.php> (Дата обращения 05.05.2019)

178. Титов, Н. В. Восстановление и упрочнение стрелчатых лап почвообрабатывающих машин металлокерамическими материалами / Н. В. Титов, А. В. Коломейченко // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 1. – С. 42–43.

179. Титов, Н. В. Исследование твердости и износостойкости рабочих органов машин, упрочнённых вибродуговой наплавкой с применением металлокерамических материалов / Н. В. Титов, А. В. Коломейченко, В. Н. Логачев // Сварочное производство. – 2014. – № 9. – С. 33–36.

180. Титов, Н. В. Повышение долговечности рабочих органов плугов карбовибродуговым упрочнением их режущих поверхностей / Н. В. Титов // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 125. – С. 256-261. – EDN ХНGAZN

181. Титов, Н. В. Исследование износостойкости рабочих органов скоростных плугов модели ПСКУ / Н. В. Титов, А. В. Коломейченко, О. О. Багринцев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 4(32). – С. 52-60. – EDN PWGLEM.]

182. Ткачев, В. Н. Повышение долговечности почвообрабатывающих рабочих органов / В. Н. Ткачев, Н. В. Казинцев, А. В. Загребин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 12. – С. 46.

183. Тяговое сопротивление секции чизельного плуга с рабочими органами различной геометрической формы / С. Д. Фомин, Д. С. Гапич, С. И. **Субботин**, Ю. А. Швабауэр // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 2(74). – С. 358-367. – DOI 10.32786/2071-9485-2024-02-42. – EDN MLETDJ.

184. Тяговое сопротивление глубокорыхлителя Ecolo-tiger 870 на различных кинематических режимах / Д. С. Гапич, Д. С. Гуйбадулин, Ю. А. Швабауэр, **С. И. Субботин** // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию победы в Сталинградской битве, Волгоград, 16–17 февраля 2023 года. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2024. – С. 115-119. – EDN YBEZIZ.

185. Учкин, П. Г. Обоснование технологии восстановления долот глубокорыхлителей плазменной наплавкой: специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Учкин Павел Григорьевич, 2019. – 162 с.

186. Федотов, А. В. Перспективы применения керамических материалов для потребностей АПК / А. В. Федотов, А. С. Дорохов, Д. А. Ковалев // Технический сервис машин. – 2021. – № 2(143). – С. 91-102. – DOI 10.22314/2618-8287-2021-59-2-91-102. – EDN EVBRZM

187. Феськов, С. А. Компьютерные технологии при оценке линейных износов / С. А. Феськов, О. В. Федуква // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. – 2012. – № 2. – С. 34–37.

188. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Исследования изнашивания металлов — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 315 с.

189. Цепляев, А. Н. Разработка и применение универсального рабочего органа для проведения глубокого рыхления и щелевания почвы / А. Н. Цепляев, Е. В. Беляков // Приоритетные научные исследования и инновационные технологии в АПК: наука - производству: материалы Национальной научно-практической конференции, Волгоград, 29 октября 2019 года. Том 3. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2019. – С. 43-48. – EDN VEUBCX.

190. Чеботарев, М. И. Проблемы и перспективы развития технического сервиса АПК / М. И. Чеботарев, И. Г. Савин // Научный журнал Куб ГАУ. – 2014. – № 97 (03). – С. 564–592.

191. Черепанов, С. С. Технические и экономические основы восстановления деталей / С. С. Черепанов, В. П. Андреев // Техника в сельском хозяйстве. – 1979. – № 7. – С. 15–20.

192. Черноиванов, В. И. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов. – М. : Агропромиздат, 1989. – 336 с.

193. Черноусов П. С., Гуйбадулин Д. С., Швабауэр Ю. А., **Субботин С. И.** / Технологическая адаптация почвообрабатывающего орудия к зональным условиям эксплуатации// Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий: материалы Национальной научно-практической конференции, г. Волгоград, 9 ноября 2022 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2023. – Том III. – с.416-421

194. Шахов, В. А. Эффективность процесса восстановления рабочих органов глубокорыхлителей плазменной наплавкой / В. А. Шахов, П. Г. Учкин, Р. Р. Шаркаев // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы международной научно-технической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика М. Е. Мацепуро, Минск, 17–

18 октября 2018 года. – Минск: Беларуская навука, 2018. – С. 250-254. – EDN GCXESU UPFOYB

195. Швабауэр Ю. А., **Субботин С. И.**, Гапич Д. С., Фомин С. Д. Моделирование поверхности рабочего органа чизельного плуга. Известия НВ АУК. 2024. 1(73). 365-373. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-41.

196. Швабауэр Ю. А., **Субботин С. И.**, Гапич Д. С., Фомин С. Д. Экспериментальная установка для исследования чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками. Известия НВ АУК. 2024. 2(74). 394-406. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-46

197. Шевлягин, А.И. Реакция сельскохозяйственных культур на различную плотность сложения почвы / А.И. Шевлягин // Теоретические вопросы обработки почв. - Л., 1968. - С.32-39.

198. Шепелев, Ю. С. Наплавка рабочих органов почвообрабатывающих машин / Ю. С. Шепелев, А. И. Любич, А. А. Аникин // Техника в сельском хозяйстве. – 1983. – № 7. – С. 51–52.

199. Шитов, А. Н. Влияние различных факторов на изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих машин / А. Н. Шитов, А. А. Веденеев // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – № 7. – С. 29–33.

200. Эвиев В.А., Мучкаева Г.М. Техническое обеспечение почвозащитных энергосберегающих технологий. Элиста: Издательство Калмыцкого университета, 2010. - 167 с.

201. АгроСпецМаш. Производство и поставка сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]: официальный сайт. – Режим доступа: URL: <https://agrospecsmash.ru/> (Дата обращения 05.05.2024).

202. КАМА Техника-Агро [Электронный ресурс]: официальный сайт. – Режим доступа: URL: <https://kammz.ru/> (Дата обращения 05.05.2024).

203. Холдинг ВЭМЗ — Югжелдормаш [Электронный ресурс]: официальный сайт – Режим доступа: URL: <https://prom-dt75.ru/> (Дата обращения 05.05.2024).

204. Компания QUIVOGNE [Электронный ресурс]: официальный сайт – Режим доступа: [URL:https://quivogne.ru/](https://quivogne.ru/) (Дата обращения 05.05.2024).

205. ТЕХНО-СНАБ [Электронный ресурс]: официальный сайт – Режим доступа: URL: <https://t-snab.com/> (Дата обращения 05.05.2024).

206. Экспериментальная установка для исследования чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками / Ю. А. Швабауэр, С. И. **Субботин**, Д. С. Гапич, С. Д. Фомин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 2(74). – С. 394-406. – DOI 10.32786/2071-9485-2024-02-46. – EDN GGRJOS.

207. Ямалетдинов М.М. Оценка технологического процесса взаимодействия дискового рабочего органа с почвой / Ямалетдинов М.М., Мударисов С.Г., Фархутдинов И.М. // Вестник Башкирского ГАУ. - 2015. -№ 2 (34). - С.84-87.

208. Ayadi Ibrahim, Hatem Bentaher, Aref Maalej Soil-blade orientation effect on tillage forces determined by 3D finite element models Spanish. Journal of Agricultural Research. 2014. Pp. 941-951.

209. Ayadi Ibrahim¹, HatemBentaher¹, Elyes Hamza, Aref Maalej, Abdul M. Mouazen (2017), 3D finite element simulation of the effect of mouldboard plough's design on both the energy consumption and the tillage quality, Int J Adv Manuf Technol (2017) 90: pp. 473-487.

210. Barr J. B., Ucgul M., Desbiolles J. M. A., Fielke J. M. Simulating the effect of rake angle on narrow opener performance with the discrete element method. Biosystems Engineering. 2018. No 171. Pp. 1-15.

211. Barr. et al. 2018 J. B. Barr. M. Ucgul. J.M.A. Desbiolles. John M. Fielke / Simulating the effect of rake angle on narrow opener performance with the discrete element method // Agricultural Machinery Research and Design Centre. School of Engineering. University of South Australia. Mawson Lakes. SA 5095. Australia.. 1-14. (2018)

212. Buylov, V. N. Identifying Reasons for Failure of Soil Processing Units of Working Bodies / V. N. Buylov [et al.] // 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming : IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science 422 (2020) 012116 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/422/1/012116.

213. Da Costa Mattos H.S., Teixeira L.P., Martins-Costa M.L.. Analysis of small temperature oscillation in a deformable solid matrix containing a spherical cavity filled with a compressible liquid – Analytical solution for damage initiation induced by pore pressure variation // International Journal of Engineering Science. 2018. V. 129. P. 1–20. DOI: 10.1016/j.ijengsci. 2018.02.014.

214. Dzyuba O., Dzyuba A., Polyakov A., Volokh V., Antoshchenkov R., Mykhailov A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 3 (1-99). Pp. 55-65.

215. Gabitov I., Mudarisov S., Gafurov I., Ableeva A., Negovora A., Davletshin M., Rakhimov Z., Khamaletdinov R., Martynov V., Yukhin G. Evaluation of the efficiency of mechanized technological processes of agricultural production. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. No 13 (Specialissue10). Pp. 8338-8345.

216. Grazion, S., Spiryagin, V., Erofeev, M., Kravchenko, I., Kuznetsov, Y., Mukomela, M., Velichko, S., Ašonja, A., & Kalashnikova, L. (2022). Diagnostics of Defect Detection in the Initial Stages of Structural Failure Using the Acoustic Emission Method of Control. Applied Engineering Letters, 7(2), 45-53. <https://doi.org/10.18485/aeletters.2022.7.2.1>

217. Guerra A. J. T., Fullen M. A., Jorge M. D. C. O., Bezerra J. F. R., Shokr M. S. Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. Pedosphere. 2018. No 27. P. 2741.

218. Izmailov A., Liskin I., Lobachevskii Ya., Sidorov S., Khoroshenkov V., Mironova A., Luzhnova E. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. Russian Agricultural Sciences. 2017. Vol. 43. N1. 71-74.

219. Kravchenko, I., Kartsev, I., Kartsev, S., Velichko, S., Kuznetsov, Y., Prokhorov, D., Ašonja, A., & Kalashnikova, L. (2022). The Study of Characteristics of Elasticity and Residual Stresses in Coatings Applied by Plasma Methods. *Applied Engineering Letters*, 7(1), 25-31. <https://doi.org/10.18485/aeletters.2022.7.1.4>
220. Kurz, W. *Fundamentals of Solidification* / W. Kurz, D. J. Fisher. Aedermannsdorf : Trans Tech Publication, 1992. – 305 p.
221. Papaiordanidis S. Soil erosion prediction using the Revised Universal soil loss equation (rusle) in Google Earth Engine (Gee) cloud-based platform / S. Papaiordanidis, I.Z. Gitas, T. Katagis // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. -2019. - Вып. 100. - С. 36-52.
222. Pulle Duco W. J. *Applied Control of Electrical Drives: Real Time Embedded and Sensorless Control using VisSim™ and PLECS™* / Duco W. J. Pulle, Pete Darnell, André Veltman. - 2015. - 438 p.
223. Rayo J. D. Simulation of block caving operation using a discrete element method (DEM) / J. D. Rayo, J. M. Mercado, V. Encina // Minin 2016. 6th International Conference on Innovation in Mine Operations. - Santiago, Chile, 2016. - P. 21-23.
224. Safin. H.M. Prospects of introduction of no-till and strip-till saving technologies in the Republic of Bashkortostan (2019) *Rural Patterns*. 2. pp. 26-27. (in Russian).
225. Shahgholi. G.. Kanyawi. N.. Kalantari. D. Modeling the effects of narrow blade geometry on soil failure draught and vertical forces using discrete element method (Открытый доступ) (2019) *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 29 (1). pp. 24-33.
226. Tekeste. M.Z.. Balvanz. L.R.. Hatfield. J.L.. Ghorbani. S. Discrete element modeling of cultivator sweep-to-soil interaction: Worn and hardened edges effects on soil-tool forces and soil flow (2019) *Journal of Terramechanics*. 82. pp. 1-11.

227. Tesliuk, H., Volik, B., Sokol, S., Ponomarenko, N. Design of working bodies for tillage tools using the methods of bionics (Открытый доступ) (2019) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (1-99), pp. 49-54.

228. Ucgul, M., Saunders, C., Fielke, J.M. Comparison of the discrete element and finite element methods to model the interaction of soil and tool cutting edge (2018) Biosystems Engineering, 169, pp. 199-208.

229. Walton, K., 1987. The effective elastic moduli of random packing of spheres. J. Mech. Phys. Solids 35 (3), 213-226.

230. Wellinger, K. Heitverschleiss, Spülveزشleiss, Stahlverschleiss unter der Wirkung von körnigen Stoffen / K. Wellinger, H. Vetz. VDI – Forschungsheft 449, 1995, Ausgabe B, Bd. 21, 40 S.

231. Wischmeier, W. H. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning / W. H. Wischmeier, D. D. Smith // DC: Science and Educational Administration, US department of Agriculture. - Washington, 1978. -400 p.

232. Yuan Y. Annualized Agricultural Non-Point Source model application for Mississippi Delta Beasley Lake watershed assessment / Y. Yuan, M.A. Locke, R.L. Bingner. // Journal of soil and water conservation. - 2008. - Vol. 63(6). - P. 542-551

233. Zadeh, L. A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Information Sciences, Vol. 8, pp. 199—249, 301—357; Vol. 9, pp. 43—80. (1975).

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ

ФЕДЕРАЦИЯ(19)

**RU**

(11)

2 801 775

(13)

C1

(51) МПК

[G01L 5/13 \(2006.01\)](#)[A01B 35/20 \(2006.01\)](#)

(52) СПК

[G01L 5/136 \(2023.02\)](#)[A01B 35/20 \(2023.02\)](#)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ

СЛУЖБА

ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: [2022129130](#), 08.11.2022(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.11.2022Дата регистрации:
15.08.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.11.2022

(45) Опубликовано: [15.08.2023](#) Бюл. № [23](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 974163 A1, 15.11.1982. RU 2722872 C1, 04.06.2020. RU 2684441 C1, 09.04.2019. SU 308318 A1, 01.07.1971. RU 62701 U1, 27.04.2007. ES 2339315 A1, 18.05.2010.

Адрес для переписки:
400002, г. Волгоград, пр. Университетский,
26, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Долго-
вой А.И.(72) Автор(ы):
Рогачев Алексей Фруминович (RU),
Карсаков Анатолий Андреевич (RU),
Гапич Дмитрий Сергеевич (RU),
Швабауэр Юрий Александрович (RU),
Субботин Станислав Игоревич (RU)(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего об-
разования "Волгоградский государствен-
ный аграрный университет" (ФГБОУ ВО
Волгоградский ГАУ) (RU)

(54) Способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины

(19)

РОССИЙСКАЯ

ФЕДЕРАЦИЯ

RU

(11)

2 776 191

(13)

C1

(51) МПК

G01L 5/13 (2006.01)

(52) СПК

G01L 5/13 (2022.05)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: [2022106285](#), 09.03.2022(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.03.2022Дата регистрации:
14.07.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.03.2022

(45) Опубликовано: [14.07.2022](#) Бюл. № [20](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2749578 C1, 15.06.2021. SU
1425484 A1, 23.09.1988. DE 2449648 C3,
08.06.1978. EP 1688727 A1, 09.08.2006.Адрес для переписки:
400002, г. Волгоград, пр. Университетский,
26, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Долго-
вой А.И.

(72)

Автор(ы):

Рогачев Алексей Фруминович (RU),
Карсаков Анатолий Андреевич (RU),
Гапич Дмитрий Сергеевич (RU),
Швабауэр Юрий Александрович (RU),
Субботин Станислав Игоревич (RU)

(73)

Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего об-
разования "Волгоградский государствен-
ный аграрный университет" (ФГБОУ ВО
Волгоградский ГАУ) (RU)

(54) Устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор

РОССИЙСКАЯ

ФЕДЕРАЦИЯ(19)

**RU**

(11)

2 792 117

(13)

C1

(51) МПК

[A01B 13/08 \(2006.01\)](#)[A01B 15/02 \(2006.01\)](#)[E02F 9/28 \(2006.01\)](#)

(52) СПК

[A01B 13/08 \(2022.08\)](#)[A01B 15/025 \(2022.08\)](#)[E02F 9/28 \(2022.08\)](#)ФЕДЕРАЛЬНАЯ
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИСЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: [2022118897](#), 11.07.2022(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.07.2022Дата регистрации:
16.03.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.07.2022

(45) Опубликовано: [16.03.2023](#) Бюл. № [8](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1303051 A1, 15.04.1987. RU
2258339 C2, 20.08.2005. RU 76538 U1,
27.09.2008. US 1807998 A, 02.06.1931. US
3305029 A, 21.02.1967.Адрес для переписки:
400002, г. Волгоград, пр. Университетский,
26, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Долго-
вой А.И.(72) Автор(ы):
Гапич Дмитрий Сергеевич (RU),
Моторин Вадим Андреевич (RU),
Швабауэр Юрий Александрович (RU),
Субботин Станислав Игоревич (RU)(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего об-
разования "Волгоградский государствен-
ный аграрный университет" (ФГБОУ ВО
Волгоградский ГАУ) (RU)**(54) Рабочий орган чизельного плуга**

УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель: «Директор ЗАО «Семена»»
И.И. Рогоза
(подпись) М.П.

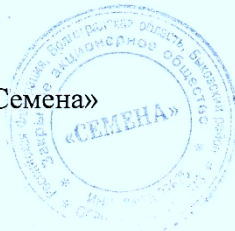
АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательской работы

Настоящий акт составлен в том, что в ЗАО «Семена» внедрены результаты диссертационной работы Субботина Станислава Игоревича на тему «Повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий за счет оптимизации их геометрических показателей», в виде экспериментальных образцов рабочих органов чизельного орудия.

В сравнительных испытаниях на износостойкость экспериментальные рабочие органы превосходят серийные более чем в три раза.

Директор ЗАО «Семена»



(подпись)

Рогоза И.И.

Руководитель: «Глава КФХ «Ким Егор Олегович»


(подпись)



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательской работы

Настоящий акт составлен в том, что в КФХ «Ким Егор Олегович» при проведении почвообрабатывающих работ были использованы экспериментальные рабочие органы чизельного орудия ОЧО-5, показавшие высокую износостойкость к абразивному износу в течение всего периода эксплуатации. Предоставленные экспериментальные образцы рабочих органов являются результатом диссертационной работы Субботина Станислава Игоревича на тему «Повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий за счет оптимизации их геометрических показателей».

Глава КФХ Ким Егор Олегович


(подпись)

Ким Е.О.