

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

На правах рукописи

ШВАБАУЭР ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРОЦЕССА
ЧИЗЕЛЕВАНИЯ ПОЧВЫ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧИХ
ОРГАНОВ ПЛУГА**

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЧИЗЕЛЕВАНИЯ ПОЧВЫ	8
1.1 Технологический процесс чизелевания почвы. Агротехнические требования	8
1.2 Современные конструкции чизельных плугов и их рабочих органов	10
1.3 Проблемные вопросы обоснования формы поверхности рабочих органов чизельных орудий	18
1.4 Математическая модель физико-механического процесса разрушения почвенной среды рабочими органами при почвообработке	28
ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОМУ РАЗДЕЛУ	35
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	36
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА	37
2.1 Дифференциальные уравнения движения частицы почвы по поверхности рабочего органа	37
2.2 Построение поверхности рабочего органа почвообрабатывающего орудия	48
ВЫВОДЫ ПО ВТОРМУ РАЗДЕЛУ	55
3. ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧИЗЕЛЬНОГО АГРЕГАТА, ОБОРУДОВАННОГО РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ С УЛУЧШЕННЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	56
3.1 Изготовление опытной партии экспериментальных долот	56
3.2 Создание экспериментальной установки по определению тягового сопротивления рабочей секции чизельного орудия, оборудованной экспериментальными рабочими органами	59
3.2.1. Устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор	61
3.2.2. Способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины	65
3.2.3 Измерение действительной скорости движения экспериментальной установки	67
3.3 3. Объект исследования и регистрируемые параметры	68

3.3.4. Технические средства регистрации и обработки измеряемых величин	69
ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕМУ РАЗДЕЛУ	72
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	73
4.1 Тяговое сопротивление секции чизельного плуга с рабочими органами различной геометрической формы	73
4.2 Тяговое сопротивление чизельного плуга с рабочими органами различной геометрической формы	84
4.3 Производительность чизельного машинно-тракторного агрегата с экспериментальными рабочими органами	90
ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОМУ РАЗДЕЛУ	92
5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЧИЗЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ С УЛУЧШЕННОЙ ФОРМОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	107
ПРИЛОЖЕНИЯ	126

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Среди эффективных агротехнических приемов разрушения почвы, с точки зрения экологических факторов (развитие ветровой и водной эрозии), можно выделить безотвальное рыхление чизельными плугами. Данный агротехнический прием применяют, как правило, на «тяжелых» почвах: значение коэффициента удельного сопротивления $6,5 - 11 \text{ кг/см}^2$; «содержание гумуса менее 2%»; пониженное значение влажности почвы на момент проведения чизельной обработки (до 12%).

Из основных недостатков чизельной обработки следует выделить: значительная энергоемкость процесса; сложность применения чизельных орудий на засорённых почвах и почвах пониженной влажностью» в виду возникновения процесса глыбообразования и «порозности» пахотного слоя; возникновение эффекта резания почвенного фона без его крошения (на почвах повышенной влажностью) [28].

Стремление ученых уменьшить суммарные затраты на сплошную обработку почвы, заставляет их обращать внимание на физические процессы взаимодействия почвообрабатывающего орудия с почвой, изучение которых позволяет совершенствовать геометрию рабочих органов существующих орудий по критериям энергоэффективности.

Поэтому изучение и разработка методов совершенствования поверхностей рабочих органов орудий для безотвальной обработки почвы, направленных на снижение энергетических затрат на обработку почвы, является актуальной задачей.

Степень разработанности темы

Неоценимый вклад в направление науки, связанное с почвообработкой, математическим описанием физических процессов разрушения почвы рабочими органами почвообрабатывающих машин, внесли следующие отечественные ученые: *Горячкин В.П., Ветохин В.И., Путрин А.С., Бабицкий Л.Ф., Бабков В.Ф., Бахтин П.У., Борисенко И.Б., Васильев С.А., Виноградов В.И., Гапич Д.С., Гольдштейн М.Н., Джабборов Н.И., Зеленин А.Н., Камбулов С.И., Кацыгин В.В., Качинский Н.А., Кузнецова В.Н., Кушнарев А.С., Лебедев А.Т., Лобачевский Я.П., Мударисов С.Г., Новиков Ю.Ф., Осадчий А.П., Панов И.М., Рыков В.Б., Синеоков Г.Н., Старцев С.В., Цепляев А.Н., Эвиев В.А.* и др. В работах перечисленных авторов рассмотрены результаты экспериментальных исследований нагрузок на рабочие органы почвообрабатывающих машин различной геометрической формы; обоснованы параметры их геометрической формы; рассмотрены внутренние деформации почвы, возникающие под

воздействием клина; предложены математические модели, описывающие поверхности рабочих органов, по критериям энергетической эффективности. Тем не менее, в земледельческой механике остаются не решенные вопросы, связанные с переменной деформацией почвенного пласта. Математическому описанию поверхности рабочего органа, её реализации и оценки эффективности применения рабочих органов, обеспечивающих переменную деформацию почвенного пласта, посвящена предлагаемая работа.

Объект исследования – чизельный агрегат для глубокого рыхления почвы.

Предмет исследования – геометрические параметры поверхности рабочих органов чизельных орудий, обеспечивающие изгибную деформацию почвенного пласта.

Целью исследования является – снижение энергоемкости процесса чизелевания почвы за счет оптимизации геометрических параметров поверхности рабочего органа чизельного плуга.

Задачи исследования:

- 1) провести анализ теоретических основ процесса разрушения почвенного пласта рабочими органами почвообрабатывающих орудий;
- 2) выполнить теоретическое обоснование геометрических параметров поверхности рабочего органа чизельного плуга;
- 3) провести лабораторно-полевые исследования чизельного плуга с модернизированными рабочими органами;
- 4) провести производственную проверку чизельного плуга с модернизированными рабочими органами в производственных условиях и выполнить экономическую и энергетическую оценку эффективности его применения.

Научная новизна работы заключается:

$\frac{3}{4}$ в теоретическом обосновании поверхности рабочих органов чизельного плуга по критерию минимизации энергетических затрат процесса чизелевания почвы;

$\frac{3}{4}$ разработке способа и устройства для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, агрегируемой с трактором;

$\frac{3}{4}$ результатах теоретических и экспериментальных исследований оценки эффективности применения рабочих органов чизельных орудий с улучшенной геометрической формой рабочей поверхности.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке математической модели, позволяющей моделировать поверхность рабочего органа чизельного плуга по критерию минимизации энергетических затрат процесса чизелевания почвы.

Практическая значимость работы заключается в получении экспериментальных образцов рабочих органов чизельного плуга, обладающих улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности, и позволяющих выполнять процесс чизелевания почвы с меньшими энергетическими затратами.

Методология и методы исследования

Методология и методы исследования базируются на классических законах земледельческой и прикладной механики, теории колебаний и методов статистической обработки экспериментальных данных и их верификации в реальных условиях эксплуатации.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) параметрическое уравнение базовой, образующей кривой линии поверхности рабочего органа чизельного плуга, полученной методом параболической интерполяции расчетных парабол, при условии, что они проходят через реперные точки, принадлежащих поверхности рабочего органа;
- 2) параметрическое уравнение поверхности моделируемого рабочего органа;
- 3) экспериментальная модель рабочего органа чизельного орудия, обеспечивающая снижение энергетических затрат процесса чизелевания почвы;
- 4) результаты экспериментальных исследований оценки эффективности применения рабочих органов чизельных орудий с улучшенной геометрической формой рабочей поверхности.

Степень достоверности и апробация результатов

«Достоверность результатов проведенного исследования подтверждается высокой сходимостью теоретических и экспериментальных данных, полученных с использованием современной регистрирующей и измерительной аппаратуры в процессе проведения натурных испытаний. Основные положения работы были представлены и обсуждены на конференциях различного уровня, среди них:

¾ Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий. Международная научно-практическая конференция, проведенная в рамках Ме-

ждународного научно-практического форума, посвященного 75-летию Победы в Великой отечественной войне 1941-1945 гг., г. Волгоград, 2020.

³/₄ «XXV региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области. Волгоград, 2021.

³/₄ Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях. Международная научно-практическая конференция. Волгоград, 2021.

³/₄ Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации. Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию победы в Сталинградской битве, г. Волгоград, 16-17 февраля 2023 г.

³/₄ Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий. Национальная научно-практическая конференция. Волгоград, 2023» [77].

Структура и объем диссертации.

Представленная диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11. -2011 Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. Текст диссертации включает в себя: введение (введение, раздел 1); основную часть (разделы 2,3,4,5); заключение; список литературы. Текст диссертации представлен на 131 стр., включает в себя 86 иллюстраций, 6 таблиц и 5 приложений.

По теме диссертационного исследования опубликовано 14 научных работ, в том числе 5 статей в изданиях RSCI, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 3 патента на изобретение. Объем опубликованных работ составляет 6,85 п.л., из них 3,08 п.л. принадлежит лично автору.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации. Формулирование цели и задач исследований, теоретическое исследование, экспериментальная верификация принятой научной гипотезы, обработка и анализ полученных результатов, формирование основных положений, выводов и рекомендаций выполнены лично автором.

1. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

ЧИЗЕЛЕВАНИЯ ПОЧВЫ

1.1 Технологический процесс чизелевания почвы. Агротехнические требования

Технологический процесс чизелевания почвы – это разновидность основной обработки почвы, направленный на глубокое рыхление и перемешивание почвенного пласта без оборота его верхней части. Глубина обработки почвы при чизелевании может варьироваться от 20 до 60 см. Данный вид обработки применяют, как правило, на «тяжелых» почвах: значение коэффициента удельного сопротивления $6,5 - 11 \text{ кг/см}^2$; содержание гумуса менее 2%; пониженное значение почвенной влажности в процессе проведения чизельной обработки (до 12%).

К достоинствам чизельной обработки следует отнести: предотвращение почвенной эрозии; улучшение их биомеханических и физико-механических показателей; сохранение влаги в почвенных горизонтах; повышение плодородия почвы.

«Из основных недостатков чизельной обработки следует выделить: значительная энергоемкость процесса; сложность применения чизельных орудий на засорённых почвах и почвах с пониженной влажностью» [28] в виду возникновения процесса глыбообразования и «порозности» пахотного слоя; возникновение эффекта резания почвенного фона без его крошения (на почвах повышенной влажностью).

Агротехнические требования, предъявляемые к процессу чизельной обработки почвы, а также способы их определения, регламентируются следующими нормативными документами:

- 1) «СТО АИСТ 4.6–2018. Стандарт организации: Испытания сельскохозяйственной техники. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения. Общие требования» [127].
- 2) СТО АИСТ 4.2–2010. Стандарт организации. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы Методы оценки функциональных показателей [127].
- 3) СТО АИСТ 4.1–2010 Стандарт организации. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей [125].
- 4) СТО АИСТ 4.8–2010 Стандарт организации. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы надежность. Классификация отказов по группам сложности [129].

В качестве основных агротехнических требований следует выделить следующее:

- 1) рабочая скорость движения до 10 км/ч;
- 2) рабочая ширина захвата $2,3 \pm 0,2$; $3,1 \pm 0,1$; $4,3 \pm 0,2$; $6,5-7,5$;
- 3) глубина обработки (до 45 см);
- 4) отклонение глубины обработки 1,5-2,0 см
- 5) удельный расход топлива, не более 15 кг/га;
- 6) крошение почвы в %, размер комков, до 50мм – 40 на вспаханных почвенных фонах, 25 на не вспаханных;
- 7) сохранение стерни до 60%.

Анализ данных показателей показывает, что единственный из них, характеризующий энергоемкость процесса чизельной обработки является удельный расход топлива чизельного агрегата. Данный показатель является интегральным показателем всей нагруженности со стороны почвы на чизельный агрегат.

С точки зрения классической теории эксплуатации машинно-тракторного парка под значением данного показателя следует понимать отношение общего расхода топлива за смену к сменной производительности агрегата [76]. Определяется данный показатель уровнем загрузки двигателя трактора в течение смены, который в свою очередь определяется значением номинальной эффективной мощности двигателя трактора, выраженной в кВт (рисунок 1.1.)



Рисунок 1.1 – Структурная схема формирования показателя удельного расхода топлива.

Таким образом, согласно рамкам данного исследования, значение показателя удельного расхода топлива будет определяться показателями, находящимися в нижней части приведенной структурной схемы. Суммарное значение этих показателей будет определять общее тяговое сопротивление чизельного орудия.

1.2 Современные конструкции чизельных плугов и их рабочих органов

К определению чизельный плуг следует отнести конструкции всех глубокорыхлителей, имеющих рабочий орган в виде вынесенного вперед долота.

Компания «АгроСпецМаш» (Группа компаний «РИСАГРОМАШ») специализируется на производстве и поставке сельскохозяйственной техники и запасных частей. На сегодняшний день выпускают глубокорыхлители серии РАМ, обрабатывающие почву на глубину до 65 см [147], рисунок 1.2.



Рисунок 1.2 – Глубококорыхлитель серии РАМ группы компаний «РИ-САГРОМАШ».

ООО «Кивонь РУС» реализует модели двухрядных глубококорыхлителей компании QUIVOGNE Франция [150], общий вид которых показан на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Двухрядный глубокорыхлитель компании QUIVOGNE Франция.

Данное почвообрабатывающее орудие способно проводить глубокое рыхление до 60 см. Агрегатируется с тракторами мощностью от 150 до 270 л.с.

Компания Техника-Агро, являющаяся крупнейшим производителем сельскохозяйственной техники в Российской Федерации, предлагает серию глубокорыхлителей TIGER [148], рисунок 1.4.

Глубокорыхлитель КАМА TIGER применяют для глубокого рыхления непромокаемого уплотненного слоя почвы для разуплотнения плужной подошвы без повреждения стерни и «без оборота пласта. Глубокорыхлители КАМА TIGER улучшают водно-воздушный режим корневого слоя почвы, предотвращают развитие эрозии почвы, что способствует накоплению влаги и повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Объемное рыхление на глубину до 45 см» [148].



Рисунок 1.4 – Глубокорыхлители серии «TIGER» от компании «Техника-Агро».

«Плуг–рыхлитель блочно-модульный ПРБ – 3, компания Югжелдор-маш, представляет собой навесную машину и предназначен для рыхления почвы по отвальным и безотвальным фонам с углублением пахотного горизонта, безотвальной обработки почвы взамен зяблевой и весенней пахоты, глубокого рыхления почвы на склонах.

На орудии установлены рабочие органы (правые и левые) для безотвального рыхления почвы и шлейф для дополнительной обработки. Рабочий орган представляет собой изогнутую стойку с 2-х сторонним долотом в нижней части, в передней части стойки крепится лезвие. Долото и лезвие – сменные.

После прохода орудия на поверхности почвы сохраняется не менее 60% стерни, что вполне достаточно для защиты почв от ветровой и водной эрозий» [149].



Рисунок 1.5 – Плуг-рыхлитель блочно-модульный ПРБ-3 от компании Югжелдормаш.

«Глубокорыхлитель НЕКТОР (рисунок 1.6) компании «VELES» предназначен для подрыва слоев почвы на глубину до 55 см» [151] и применяется в качестве альтернативы вспашке. Главная особенность агрегата – уникальная форма рабочих органов. Благодаря чему достигается их оптимальное вхождение в твердую почву, ее рыхление без оборота пласта.

НЕКТОР имеет еще одно фундаментальное преимущество. Он оставляет после себя обработанный горизонт, сводя к минимуму потерю влаги в слоях почвы.

В отличие от плугов и культиваторов, глубокорыхлитель НЕКТОР не поднимает на поверхность камни и неплодородные слои почвы [151].



Рисунок 1.6 - Глубокорыхлитель НЕКТОР компании «VELES».

Отдельно следует остановиться на рассмотрении параметров и геометрической формы рабочих секция глубокорыхлителей. В их конструкции следует выделить два базовых элемента, являющихся общими для любых моделей глубокорыхлителей. Это стойка и рабочий орган в виде сменного долота. Задача стойки заключается в обеспечении жесткой рабочего органа с рамой глубокорыхлителя. В зависимости от своей геометрической конфигурации и оснащении стойка может частично учувствовать в дополнительном рыхлении и крошении почвенного пласта. Нижнее основании стойки может защищаться от абразивного износа дополнительным элементом – обтекателем, или непосредственно телом долота. В зависимости от поставленных задач стойка может комплектоваться дополнительными элементами, общий вид которых показан на рисунке 1.7.

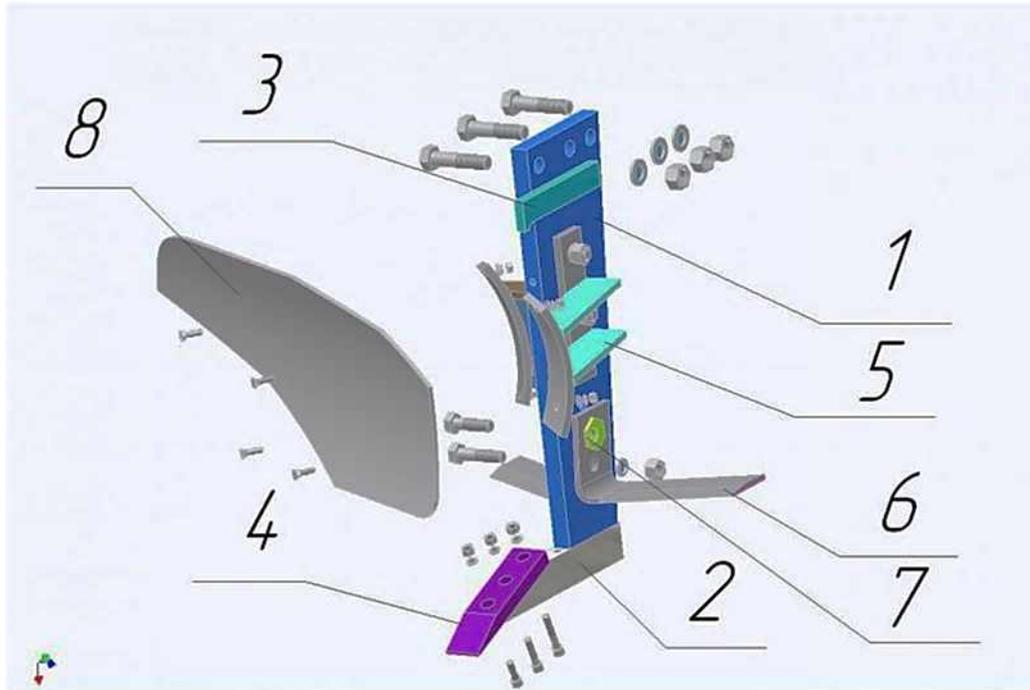


Рисунок 1.7 – Рабочая секция чизельного плуга.

1– стойка; 2 – основание; 3,5,7 – элементы крепления; 4 – рабочий орган – долото; 6 – дополнительные деформаторы; 8 – отвал.

Схема рыхления почвы рабочими секциями чизельных орудий приведена на рисунке 1.8 [22].

Особенностью технологического процесса чизелевания является частичное перекрытие области рыхления отдельных рабочих секций.

При работе чизельной секции на дне борозды наблюдаются не разрушенные гребни, высота которых зависит от ширины долота и междуследия. Пилообразная форма дна борозды обуславливается отрывом пласта. Поперечное сечение борозды выглядит как явно выраженные гребни и борозды.

Долото воспринимает основную нагрузку по деформации пласта и подвергается максимальному износу в носовой части. Геометрическая форма долота может быть в различном исполнении и по данным [22, 34, 36, 37, 40, 42, 52, 54, 59, 63, 67, 68, 69, 71,77] определяет 80-95% энергозатрат рабочего процесса.

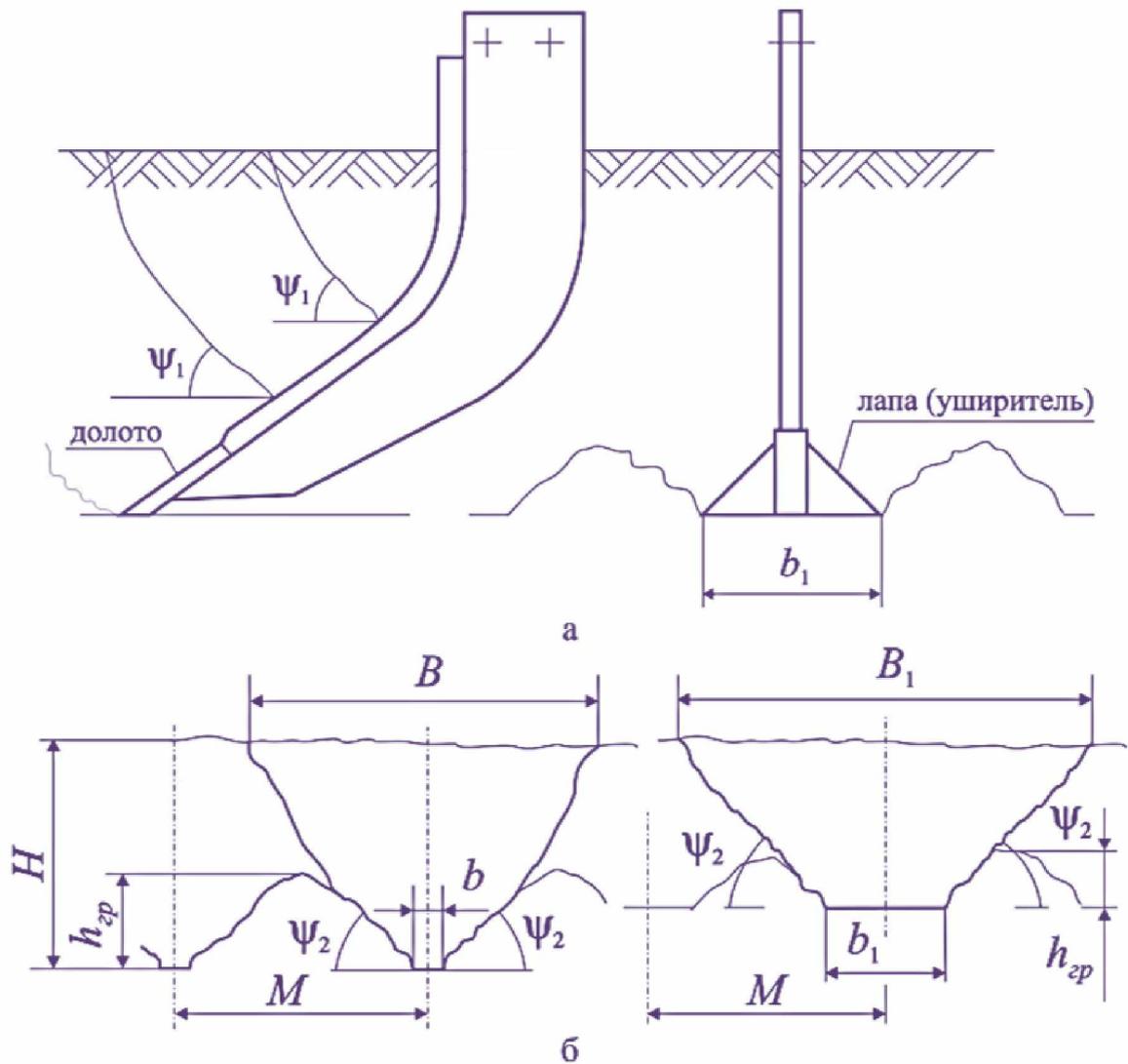


Рисунок 1.8 - Схема разрушения почвы рабочими органами чизельного орудия. а) - схема рабочего органа; б) - схема поперечного сечения борозды.

H – глубина обработки, $h_{гр}$ – высота гребня на дне борозды, M – междуследие; b – ширина долота; b_1 – ширина уширителя; B – ширина зоны рыхления долота; B_1 – ширина зоны рыхления уширителя; ψ_2 – угол скола почвы.

В работе Ветохина В.И. показано, что «применяются долота вогнутой, плоской и выпуклой формы рабочей поверхности. Распространены долота, имеющие выпуклые формы, в виде выступа в передней части, и гребня вдоль долота, рисунок 1.9. Выступ в передней части долота может быть объяснен стремлением заменить почвенный нарост металлом долота, что соответственно изменяет коэффициент трения и снижает трение, а также меньшей энергоемкостью долот выпуклой формы. Заостренный гребень работает как концентратор напряжений и способствует разлому пласта перед стойкой для ее беспрепятственного прохода и уменьшения развальной борозды. Гребень на долоте может быть выполнен в виде наклонного ножа, типа черенкового» [34-37].



Рисунок 1.9 – Долота чизельных орудий

1.3 Проблемные вопросы обоснования формы поверхности рабочих органов чизельных орудий

Вопросами моделирования рабочих поверхностей орудий для рыхления почвы занимались многие отечественные и зарубежные ученые [5, 6, 9, 18, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 40, 66, 67, 72, 80].

Во главу исследования авторы анализируемых работ ставили вопрос о сущности условий, обеспечивающих минимальное значение энергетических затрат при проведении рыхления почвы. К основным факторам, определяющим данное условие были отнесены: физико-механические характеристики обрабатываемого материала; скоростные режимы рыхления и резания почвы; триботехнические характеристики материалов, применяемых для изготовления рабочих органов, и, наконец, форма рабочей поверхности.

Основоположником теории взаимодействия рабочего органа почвообрабатывающего с обрабатываемым материалом является В.П. Горячкин. В своих работах он писал, что «в качестве важного фактора, определяющего силовое взаимодействие почвы с рабочим органом, является направление вектора скорости абсолютного движения частиц почвы при ее обработке» [45, 46]. «Анализируются три варианта направления абсолютного движения частиц обрабатываемого материала: по нормали к поверхности клина; под углом $\alpha/2$, и под углом наклона плоскости сдвига ψ ко дну борозды» [105], рисунок 1.10. Направление вектора скорости определяется физико-механическими характеристиками и структурным составом почвы.

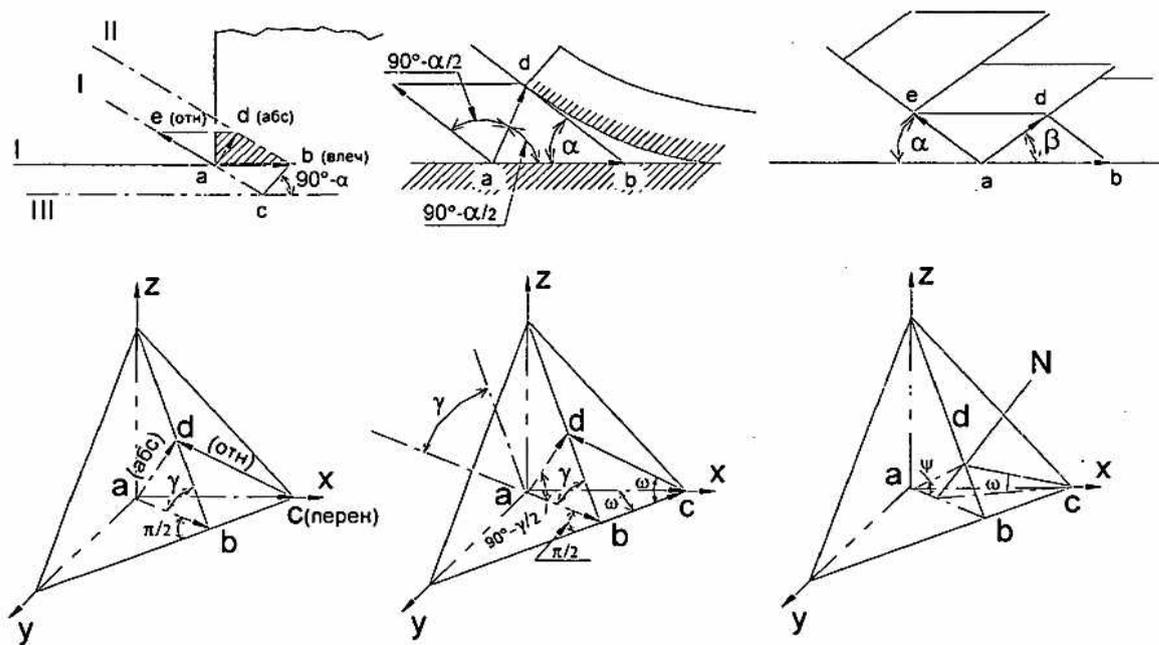


Рисунок 1.10 – Направление вектора скорости абсолютного движение почвы по двухгранному и трехгранному клину.

В «работах Г.Н. Синеокова принято, что от начала внедрения простого клина в почву и до момента рыхления (появления плоскостей сдвига или отрыва) обрабатываемого пласта частицы почвы в абсолютном движении перемещаются по нормали или под углом $\alpha/2$ к нормали поверхности клина, а

после рыхления - по плоскостям скола» [105,113, 114]. «Закономерностей изменения значений угла, под которым расположено направление абсолютного движения частиц почвы относительно нормали поверхности клина, а также факторов, влияющих на эти закономерности не приведено» [105].

«Модуль и направление силы реакции почвы, возникающей в результате внедрения клина в почву, определяются зависимостью:

$$R = \frac{N}{\cos\varphi} \quad (1.1)$$

где N – нормальная реакция поверхности клина, N ; φ – угол внешнего трения почвы» [105].

«Схема сил, действующих на пласт, находящийся на клине, показана на рисунке 1.11.

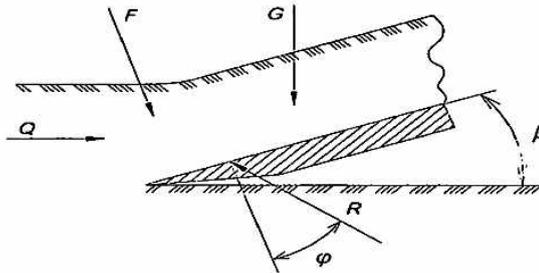


Рисунок 1.11 – Силы, действующие на почвенный пласт.

Q – сила подпора; F – сила динамического давления; G – вес почвенного пласта; R – результирующая сила элементарных сил нормального давления и трения на рабочей поверхности клина» [105].

«В предлагаемых расчетных схемах зависимость коэффициента внешнего трения от состояния почвы не представлена. Закономерности абсолютного движения частиц почвы в пространстве под воздействием рабочих органов различной формы не используются» [105].

Основная часть теоретических разработок, касающихся теории клина и перемещения частиц почвы по исполнительным поверхностям рабочих органов почвообрабатывающих орудий посвящена анализу относительного движения частиц почвы [37, 45, 46, 56, 90, 88, 105, 119, 168, 170]. Объясняется это, прежде всего, классическим подходом к инвариантности движения обрабатываемого почвенного пласта и рабочего органа. Имеются отдельные теоретические выкладки, которые содержат элементы описания кинематики абсолютного движения частиц почвы в пространстве, но их изложение представлено не в полном объеме, и характерной особенностью таких выкладок является то, что они рассматривают, в основном, тот случай, когда частицы почвы совершают абсолютное движение по траекториям, нормальным к исполнительным поверхностям рабочих органов [118]

$$On = Oa \cdot \cos\alpha = \Delta x \cdot \cos\alpha, \quad d\sigma = \sqrt{v^2 dt^2 - ds^2}, \quad (1.2)$$

где On , $d\sigma$ – абсолютное перемещение частиц почвы; Oa , Δx , vdt – перемещение клина или поверхности рабочего органа, под углом $\alpha/2$.

«Влияние механико-технологических параметров почвы, обусловленных ее состоянием, на кинематику движения в аналитических зависимостях не отражено» [105].

В.И. Виноградов «в своей работе «Взаимодействие рабочих органов лемешного плуга с почвой и методы снижения энергоемкости пахоты» получил» [39]: «...закономерность распределения удельных давления, возникающих на поверхности двугранного и трехгранного клиньев, соизмеримых с размерами лемехов плуга» [105]. «Им отмечено, что максимальное давление развивается на лезвии лемеха и постепенно снижается по мере приближения к противоположной от лезвия стороне лемеха. Приемлема ли выявленная «...зависимость изменения удельного давления для клина, длина которого соизмерима с длиной пути, проходимого от начала подрезания пласта до момента начала крошения почвы», в данной работе не рассматривалась» [105]. «Из анализа схем, представленных на рисунке 1.12, следует, что частицы почвы поверхностью клина впрессовываются в обрабатываемый пласт по направлению движения клина» [105]. «Установлено, что сила трения, возникающая на поверхности лемеха, зависит от влажности и удельного давления почвы. Коэффициент внешнего трения почвы уменьшается с увеличением удельного давления почвы на поверхность трения» [105]. «В.И. Виноградовым также установлено, что изменение количества глины и влаги в почве способствует изменению коэффициента внешнего трения почвы на 37...47% и силы трения на лемешно-отвальной поверхности корпуса плуга составляют 63...70% от общего сопротивления корпуса. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что состояние почвы существенным образом влияет на коэффициент ее внешнего трения, а, следовательно, и на энергоемкость рыхления обрабатываемого пласта» [39]. «Не исключена возможность, что состояние почвы влияет и на характеристики абсолютного движения частиц почвы при ее обработке» [105].

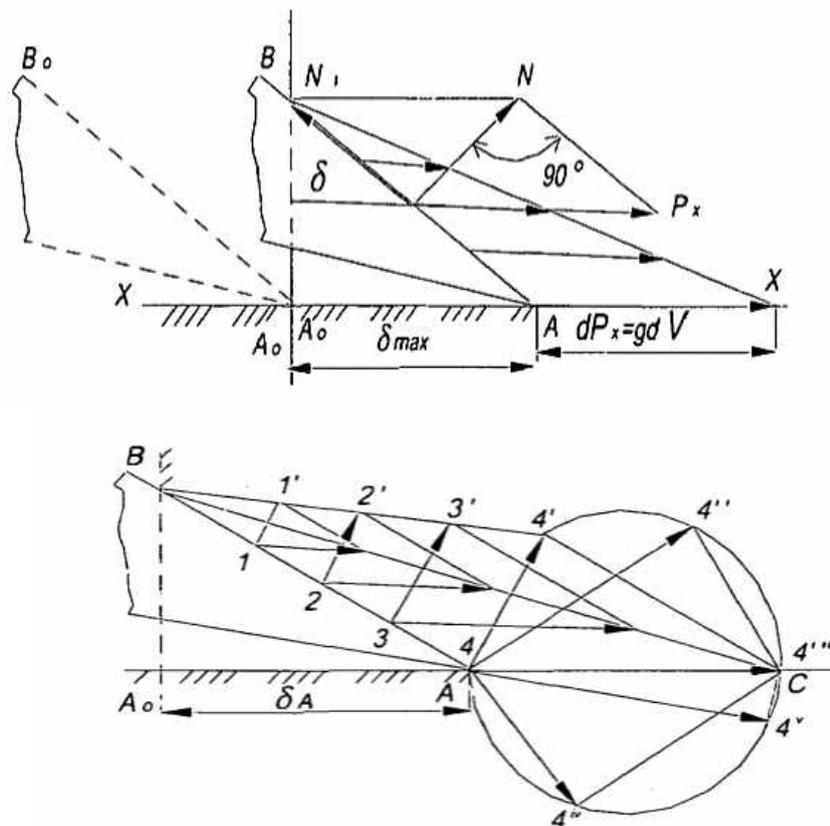


Рисунок 1.12 - Схемы элементарных сил, действующих на грань острого лезвия лемеха

Ветохин В.И. в своей работе [36], рассматривая вопрос об определении источника деформации растяжения и закономерностей крошения пласта почвы при деформации сжатия, предложил следующую модель взаимодействия двухгранного клина с почвой.

По мере внедрения двухгранного клина в почву растет контактное удельное давление $P_{уд}$ на рабочей поверхности. При удельном давлении, близком «к пределу прочности почвы на сжатие $\sigma_{сж}$, и наступлении предела текучести, на рабочей поверхности образуется ядро из уплотненной почвы выпуклой формы» [37]. Форма наружной поверхности уплотненного ядра практически совпадает с формой изобары. «Почва в пределах тела из уплотненной почвы находится в пластическом состоянии, за пределами этого тела - в хрупкообразном состоянии» [37]. «Этот вывод основывается на положениях теории разрушения материалов и собственных наблюдениях. Рабочей поверхностью фактически становится поверхность стабильной части ядра из уплотненной почвы, на границе которого давление q распределяется по гидростатическому закону, то есть равномерно во всех направлениях. Вышерас-

положенный слой почвы будет нагружен системой сил P_i , ориентированных в радиальных направлениях» [37], рисунок 1.13.

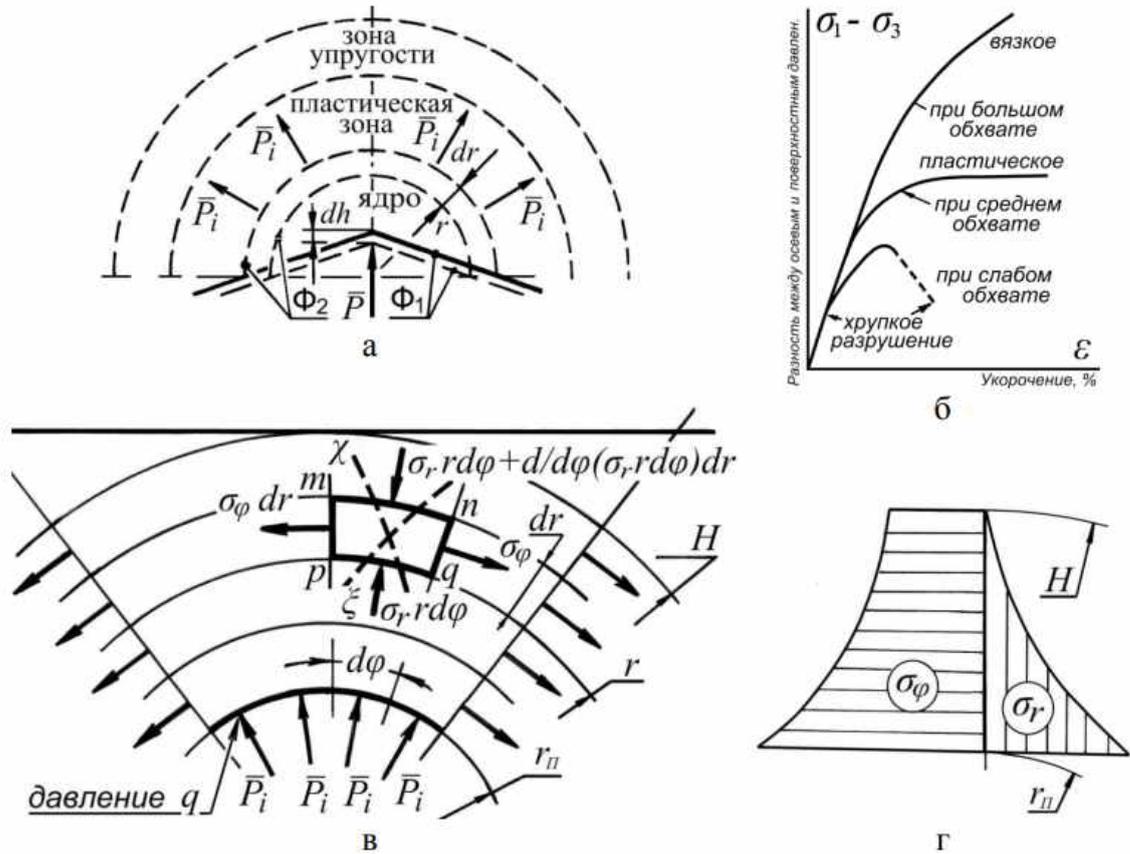


Рисунок 1.13 «Физическая модель разрушения пласта почвы: а – схема возникновения областей деформаций в почве; б – диаграмма нагруженного состояния почвы; в – схема нагружения пласта почвы; г – эпюры напряжений.

Рассмотрим напряжения и деформации в слое почвы. Введем цилиндрические координаты z, r, φ (направление Z совпадает с направлением движения рабочего органа), и выделим элемент пласта почвы с измерениями $dz, dr, rd\varphi$, рисунок 1.13 в. Дальнейшие выкладки проведем с использованием материалов работ [36, 37]. Уравнение равновесия элемента слоя почвы будет иметь вид

$$\frac{d}{dr}(\sigma_r, rd\varphi, dr) - 2\sigma_\varphi dr \frac{d\varphi}{2} = 0 \quad (1.3)$$

После сокращения дифференциалов и преобразования получим:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0 \quad (1.4)$$

Теперь рассмотрим деформацию выделенного элемента слоя почвы. При движении клинообразного рабочего органа слой почвы будет испытывать подъем по рабочей поверхности и соответственно деформацию в ради-

альных направлениях. Обозначим через u (r) радиальное перемещение точек p и q , находящихся на расстоянии r от оси» [37] (рис. 3.23).

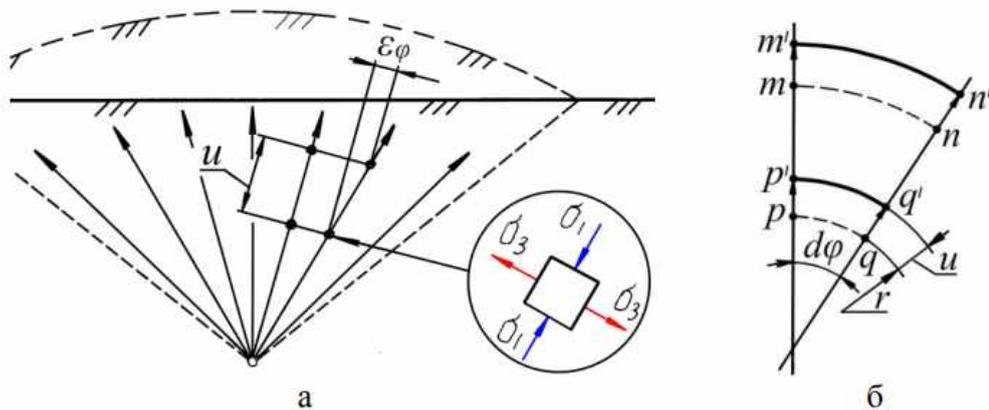


Рисунок 1.14 – «Схема к определению деформаций пласта почвы. а – схема движения частиц и возникновение напряжения растяжения; б – схема деформации элементарного слоя почвы.

Элемент pq в результате деформации займет положение $p'q'$. Если дуга pq равняется $r d\varphi$, то дуга $p'q'$ равняется $(r+u)d\varphi$.

Согласно рисунку 1.14 относительная деформация ε_φ элемента pq равняется

$$\varepsilon_\varphi = \frac{p'q' - pq}{pq} = \frac{u}{r}. \quad (1.5)$$

Точка m в результате деформации в радиальном направлении занимает положение m' , а ее перемещение mm' равняется:

$$\varepsilon_r = \frac{p'm' - pm}{pm} = \frac{m'm - pp}{pm} = \frac{du}{dr}. \quad (1.6)$$

Перемножая левую и правую часть выражения (1.6) на r , про дифференцировав и вычитая

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr},$$

получено» [37]

$$\frac{d}{dr}(r\varepsilon_\varphi) - \varepsilon_r = 0. \quad (1.7)$$

Для системы координат z, r, φ уравнение деформаций получено в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu(\sigma_\varphi + \sigma_z)], \\ \varepsilon_\varphi &= \frac{1}{E} [\sigma_\varphi - \nu(\sigma_z + \sigma_r)], \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\varphi)] \end{aligned} \quad (1.8)$$

Из третьего выражения получено

$$\sigma_z = E\varepsilon_r + \nu(\sigma_r + \sigma_\varphi).$$

Подставив данную зависимость в 1 и 2 формулу системы 1.8, получено

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} \left[\sigma_r - \nu\sigma_\varphi - \nu E\varepsilon_r - \varepsilon^2(\sigma_r + \sigma_\varphi) \right] = \frac{1-\nu^2}{E} \left[\sigma_r - \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_\varphi \right] - \nu\varepsilon_z, \quad (1.9)$$

и

$$\varepsilon_\varphi = \frac{1-\nu^2}{E} \left[\sigma_r - \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_\varphi \right] - \nu\varepsilon_z. \quad (1.10)$$

Учитывая, что

$$\sigma_r = \frac{1}{r}F, \quad \sigma_\varphi = \frac{dF}{dr} = F',$$

Выражения (1.9), (1.10) были представлены в виде

$$\varepsilon_r = \frac{1-\nu^2}{E} \left[\frac{F}{r} - \frac{\nu}{1-\nu}F' \right] - \nu\varepsilon_z,$$

$$\varepsilon_\varphi = \frac{1-\nu^2}{E} \left[F' - \frac{\nu}{1-\nu}\frac{F}{r} \right] - \nu\varepsilon_z.$$

Данные зависимости позволили получить зависимость деформаций в функции напряжений. После окончательных преобразований было получено уравнение совместной деформации в виде:

$$F'' + \frac{F'}{r} - \frac{F}{r^2} = 0. \quad (1.11)$$

Интегрирование данного дифференциального уравнения позволило получить

$$\sigma_r = q \frac{r_{\Pi}^2}{H^2 - r_{\Pi}^2} \left(1 - \frac{H^2}{r^2} \right), \quad \sigma_\varphi = q \frac{r_{\Pi}^2}{H^2 - r_{\Pi}^2} \left(1 + \frac{H^2}{r^2} \right), \quad (1.12)$$

где H – толщина слоя почвы; q – распределенное давление внутри слоя почвы.

«Определенное по данной зависимости распределение напряжений представлено на рисунке 1.13 г. Отмечено, что значение напряжения растяжения превосходит значение радиальных напряжений сжатия по всей толщине деформируемого слоя. Наложение напряжений сжатия по одному направлению на напряжения растяжения в перпендикулярном направлении приводит к деформациям сдвигов в пласте почвы. Это снижает значение границы деформации разрушения почвы» [37]. «Основной вывод, который делает автор работы: особенность механики деформирования пласта почвы клином состоит в преобразовании деформации сжатия в локальном, близлежащем к клину, объеме почвы в деформации растяжения и сдвигов в остальном объеме почвы пласта. При этом имеют место проявление свойства почвы, которые функционально не зависят от измерения времени - меньшая прочность

на растяжение, чем на сжатие, и способность находиться в хрупкообразном и пластическому состояниях» [37].

На основании проведенных исследований деформации почвенного пласта автор работы формулирует основной принцип взаимосвязи и взаимоперехода форм поверхностей рабочего органа «вогнутый профиль при переходе через прямолинейную форму должен сменяться выпуклым профилем, и наоборот. Характер протекания такого профиля изображен на рисунке 1.15.

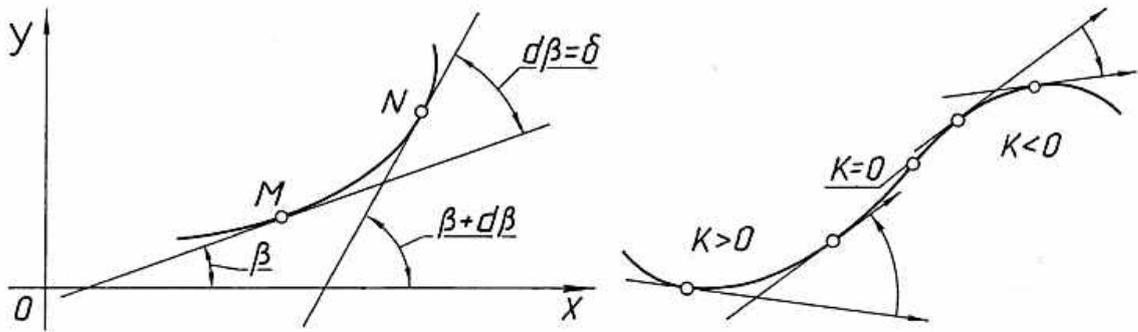


Рисунок 1.15 – Общий вид кривизны рабочей поверхности рабочего органа.

В дальнейшем автор работы свел возможные системы форм поверхностей в табличный вариант (рисунок 1.16) [37].

Формы поверхности, занимающие ячейки, образуются как сочетание формы продольного и формы поперечного профилей. Форма поверхности в каждой ячейке связана с формой в соседних ячейках как фрагмент более общей поверхности и как развитие форм соседних ячеек.

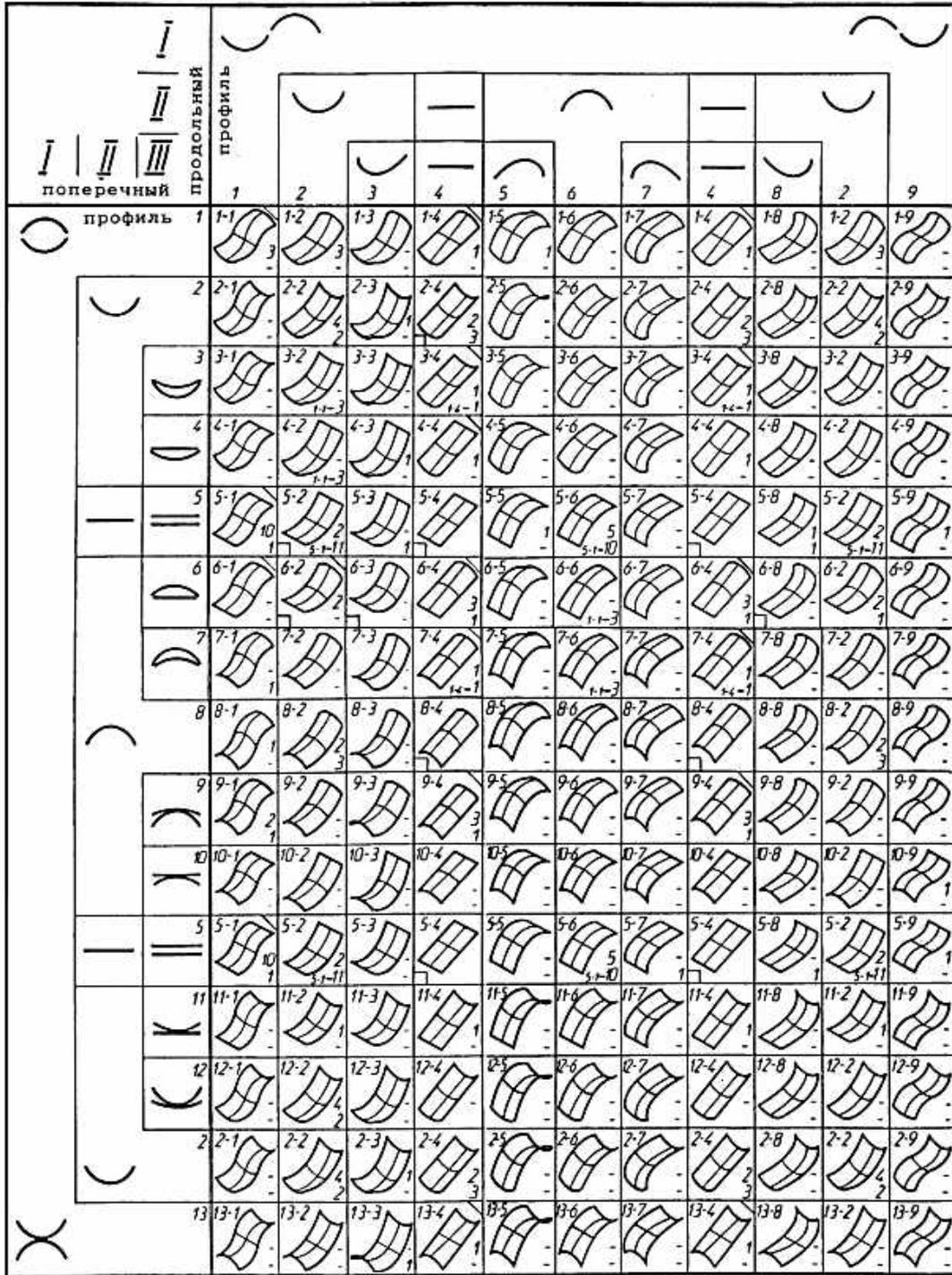


Рисунок 1.16 – Формы рабочих поверхностей почвообрабатывающих орудий.

1.4 Математическое описание физического процесса разрушения почвы рабочими органами почвообрабатывающих машин

Постановка задачи математического описания физического процесса разрушения почвы рабочими органами, обрабатываемая среда представляется как упругая или упругопластическая среда. Последнее описание применяют, как правило, для грунтов повышенной влажности [110,150].

Почва низкой и средней влажности подверженная сдвиговым деформациям в значительной степени способна разрушаться путем скалывания или крошения в зоне распространения создаваемых полей напряжения. В работе [108] академик Рахматулин Х.А. предложил модель «пластического газа» для описания таких сред. Основная идея этого описания заключается в том, что «рассматриваемая среда при механическом воздействии деформатора изменяет свою плотность по определенному закону до предельного значения, определяемого усилием воздействия. При разгрузке среда сохраняет значение плотности, полученное при нагружении. При этом в момент нагружения почвенной среды частицы почвы совершают радиальные движения в плоскости, перпендикулярной оси симметрии твердого тела (конуса). Тогда задача описания движения деформатора в почвенной среде может быть сведена к описанию движения сжимаемой пластической (сыпучей) среды с цилиндрической симметрией. Таким допущением воспользовались авторы работы. Приняв, что форма рабочего органа глубокорыхлителя может быть представлена в виде приведенного кругового конуса с профилем $L(t)$ симметричным относительно продольной оси» [130], рисунок 1.17.

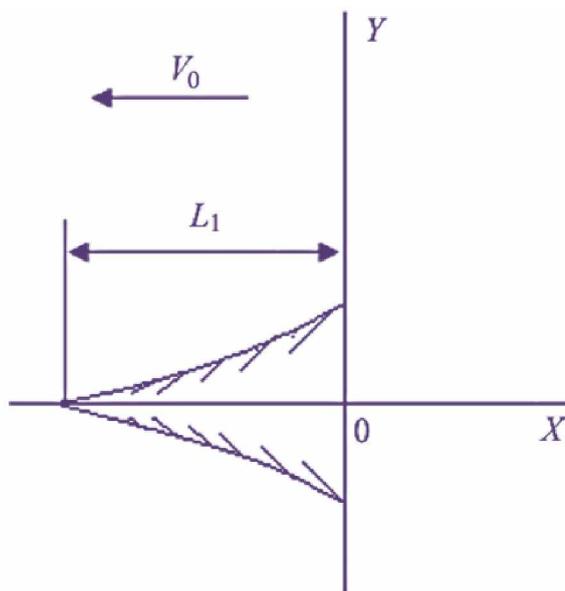


Рисунок 1.17 – Принятая схема движения рабочего органа глубокорыхлителя в обрабатываемой среде.

«Рассмотрев произвольное сечение конуса в момент времени t_1 , при котором $L_1=L(t_1)$ уравнение движения рассматриваемого конуса в цилиндрических координатах было записано в виде:

$$p_0 r \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (r + u) \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + (\sigma_r - \sigma_\theta) \frac{\partial}{\partial r} (r + u);$$

$$\frac{\partial}{2\partial r} (r + u)^2 = \frac{p_0}{p} r \quad (1.13)$$

где r – начальное расстояние частиц среды от продольной оси конуса; $u=u(r,t)$ – смещение частицы среды на пройденном расстоянии; t – время; p_0 и p – начальная и конечная плотность среды в рассматриваемых границах; σ_r и σ_θ – радиальные и тангенциальные напряжения» [130].

В анализируемой работе [130] делается вывод о том, что «напряжения, возникающие в рассматриваемой среде, удовлетворяют условию пластичности Кулона-Мора, в результате такого вывода, принято

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \tau_0 + \mu(\sigma_r + \sigma_\theta), \quad (1.14)$$

где $\tau_0 = 2k \cos(\theta)$ и $\mu = \sin(\theta)$; k – коэффициент сцепления; θ – угол внутреннего трения среды» [37].

Уравнение 1.13 было преобразовано к виду

$$\nu \sigma_r \frac{\partial(r+u)}{\partial r} + (r+u) \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = p_0 r \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\tau_0}{(1+\mu)} \frac{\partial}{\partial r} (r+u), \quad (1.15)$$

$$\text{где } \nu = \frac{2\mu}{1+\mu}.$$

После интегрирования выражения (1.15) по переменной r , получено

$$(r+u)^\nu \sigma_r(r,t) =$$

$$= p_0 \int_0^r (r+u)^{\nu-1} r \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} dr - \frac{\tau_0}{(1+\mu)} \frac{(r+u)^\nu - R^\nu}{\nu} + R^\nu \sigma_r(0,t), \quad (1.16)$$

где $R = \nu_0 t \operatorname{tg}(\beta)$ – радиус внутренней границы зоны деформации.

Обозначив $\sigma_r(r,t) = \sigma_r^*$ – значение напряжения на границах волны деформации при условии отсутствия перемещения частиц среды.

Выражение (1.16) для границы волны деформации запишется в виде

$$r_*^\nu \sigma_r^* = p_0 \int_0^r (r+u)^{\nu-1} r \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} dr + \frac{\tau_0}{(1+\mu)} \frac{r_*^\nu - R^\nu}{\nu} + R^\nu \sigma_r(0,t). \quad (1.17)$$

Разность выражений (1.16) и (1.17) дает

$$(r + u)^{\nu} \sigma_r(r, t) - r_*^{\nu} \sigma_r^* = -p_0 \int_r^r (r + u)^{\nu-1} r \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} dr + \frac{\tau_0}{(1 + \mu)} \frac{r_*^{\nu} - (r + u)^{\nu}}{\nu} \quad (1.18)$$

Интегрирование второго уравнения 1.13 дает

$$(r + u)^2 = 2\Psi(r) + R^2(t), \quad (1.19)$$

где

$$\Psi(r) = \int_0^r \frac{p_0}{p(r)} r dr.$$

Так как на границе волны деформации $u=0$, а $r = r_*(t)$ получено

$$r_*^2 = 2\Psi(r_*) + R^2(t), \quad (1.20)$$

где

$$\Psi(r_*) = \int_0^{r_*} b(r) r dr, \quad b = \frac{p_0}{p(r)}.$$

Приняв, что скорость движения рабочего органа величина постоянная, и зная закон изменения $p=p(t)$, выражение (1.20) было использовано для определения закона перемещения фронта деформации. Окончательное выражение авторами было получено в виде

$$(r + u)^{\nu} \sigma_r = p_0 (R\ddot{R} + \dot{R}^2) \int_r^{r_0} \frac{r dr}{[2\Psi(r) + R(t)]^{1-\frac{\nu}{2}}} - p_0 (R\dot{R})^2 \int_r^{r_0} \frac{r dr}{[2\Psi(r) + R(t)]^{2-\frac{\nu}{2}}} + \frac{p_0}{1-b(r_*)} \frac{(R\dot{R})^2}{r_*^{2-\nu}} + \frac{\tau_0}{1+\mu} [r_*^{\nu} - r + uv + par^*v]. \quad (1.21)$$

где $R = v_0 t \operatorname{tg}(\beta)$, $\dot{R} = v_0 \operatorname{tg}(\beta)$, $\ddot{R} = 0$

Подставив в выражение (1.21) выражение (1.19) авторами рассматриваемой работы получено явное выражение давления на поверхности конуса

$$p - p_a = \ddot{L} \frac{p_0 \cdot \varphi(\nu, b_1) \cdot x \operatorname{tg}^2 \beta}{b_1} + \dot{L}^2 \frac{p_0 \cdot x \operatorname{tg}^2 \beta}{b_1 (\nu - 2)} \left[(\nu - 2) \cdot \varphi(\nu, b_1) + b_1 (\nu - 2) \cdot a^{\frac{\nu}{2}} - a^{\frac{\nu}{2}-1} + 1 \right] + \varphi(\nu, b_1) \left[\nu p_a + \frac{\tau_0}{1 + \mu} \right], \quad (1.22)$$

где $b_1 = \frac{p_0}{p_1}$; $x = L - L_1$; $\varphi(\nu, b_1) = (a^{\frac{\nu}{2}} - 1)/\nu$; $a = 1/(1 - b_1)$.

Полученное выражение позволяет по известным значениям напряжений и давлений определить значение контактной силы взаимодействия между почвенной средой и деформатором. Полная сила сопротивления на по-

верхности конуса, авторами рассматриваемой работы была оценена выражением

$$F = 2\pi(\sin\beta + \mu_0 \cos\beta) \int_0^H (p - p_0)x \cdot \operatorname{tg}\beta \sqrt{(1 + \operatorname{tg}^2\beta)} dx.$$

Приняв, что $R = H \operatorname{tg}\beta$, и подставив значение давления, полученное по формуле 1.22, было получено

$$F = \pi(1 + \mu_0 \operatorname{ctg}\beta)(A + Bp_0 \dot{L}^2 + p_0 C H \ddot{H}) H^2 \operatorname{tg}^2\beta, \quad (1.23)$$

где

$$A = \left[p_a + \frac{\tau_0}{1 + \mu} \left(a^{\frac{\nu}{2}} - 1 \right) \cos^4\beta \right];$$

$$B = \frac{1}{4b_1(\nu - 2)} \left[\frac{\nu - 2}{\nu} \left(a^{\frac{\nu}{2}} - 1 \right) + b_1(\nu - 2)a^{\frac{\nu}{2}} - \left(a^{\frac{\nu}{2}-1} - 1 \right) \right] \cos^2\beta \sin^2 2\beta;$$

$$C = \frac{1}{6b_1\nu} \left(a^{\frac{\nu}{2}} - 1 \right) \cos^2\beta \sin^2 2\beta, \quad a = \frac{1}{1 - b_1}.$$

При условии движения рабочего органа с постоянной скоростью получено

$$F = \pi(1 + \mu_0 \operatorname{ctg}\beta)(A + 0,5Bp_0 v_0^2) v_0^2 t^2 \operatorname{tg}^2\beta. \quad (1.24)$$

Результаты счета по данной зависимости представлены на рисунках 1.18, 1.19. Кривые 1, 2, 3, 4, 5 получены для значений $b_1 = 0.2, b_1 = 0.4, b_1 = 0.6, b_1 = 0.8$.

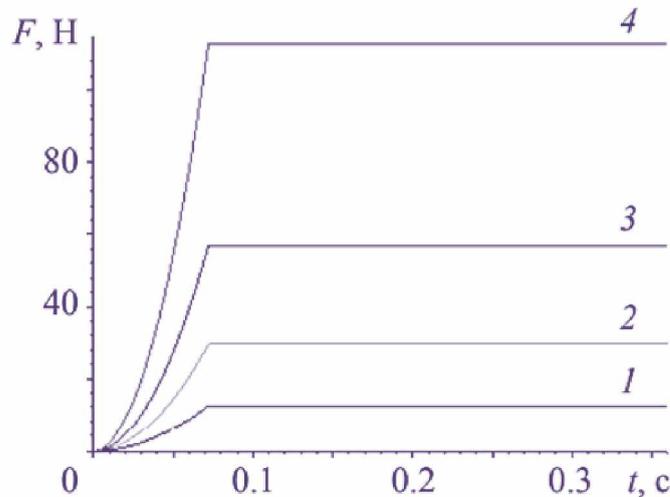


Рисунок 1.18 – Расчетные зависимости силы сопротивления почвенной среды от времени при различных значениях b_1 ($\theta = 0$).

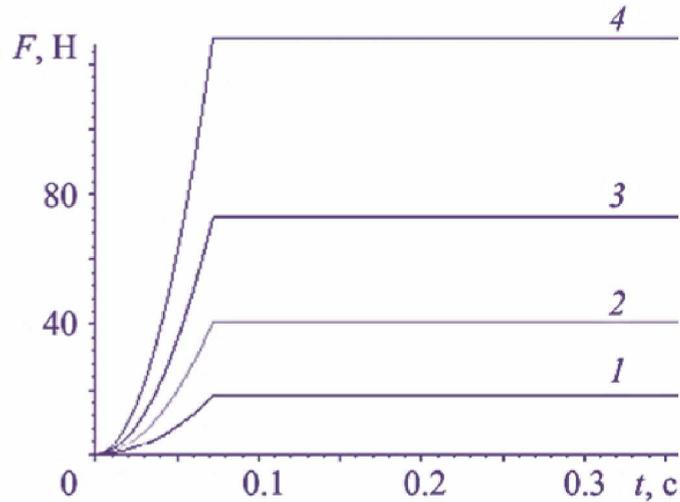


Рисунок 1.19 – Расчетные зависимости силы сопротивления почвенной среды от времени при различных значениях b_1 ($\theta \neq 0$)» [130].

Полученные аналитические зависимости дают основание считать, что «сила сопротивления изменяется по параболическому закону до определенного промежутка времени, и далее она принимает постоянное значение. Увеличение b_1 , характеризующее плотность грунта за фронтом цилиндрической волны, приводит к росту силы сопротивления. При увеличении угла внутреннего трения θ приводит к снижению силы сопротивления» [130].

Полная сила сопротивления на поверхности рабочего органа, авторами работы была оценена выражением

$$F = 2\pi(\sin\beta + \mu_0 \cos\beta) \int_0^h (p - p_0)x \cdot \operatorname{tg}\beta \sqrt{(1 + \operatorname{tg}^2\beta)} dx.$$

Приняв, что $R = L \operatorname{tg}\beta$, и подставив значение давления, полученное по формуле 1.22, было получено

$$F = \pi(1 + \mu_0 \operatorname{ctg}\beta)(A + B p_0 \dot{L}^2 + p_0 C h \ddot{L}) h^2, \quad (1.25)$$

где

$$A = \pi \operatorname{tg}^2\beta \left[p_a + \frac{\tau_0}{v(1 + \mu)} \right] \left(a^{\frac{v}{2}} - 1 \right);$$

$$B = \frac{\pi \operatorname{tg}^2\beta}{b_1(v - 2)} \left[\frac{v - 2}{v} \left(a^{\frac{v}{2}} - 1 \right) + b_1(v - 2) a^{\frac{v}{2}} - \left(a^{\frac{v}{2}-1} - 1 \right) \right];$$

$$C = \frac{\pi \operatorname{tg}^2\beta}{3b_1 v} \left(a^{\frac{v}{2}} - 1 \right), \quad a = \frac{1}{1 - b_1}.$$

При условии движения рабочего органа с постоянной скоростью получено

$$F = (1 + \mu_0 \operatorname{ctg}\beta)(A + B p_0 v_0^2) h^2. \quad (1.26)$$

Результаты счета по данной зависимости представлены на рисунках 1.19, 1.20. Кривые 1, 2, 3, 4, 5 получены для значений $\mu = 0, \mu = 0.5, \mu = 0.7, \mu = 0.9$. Исходные данные оставлены без изменений.

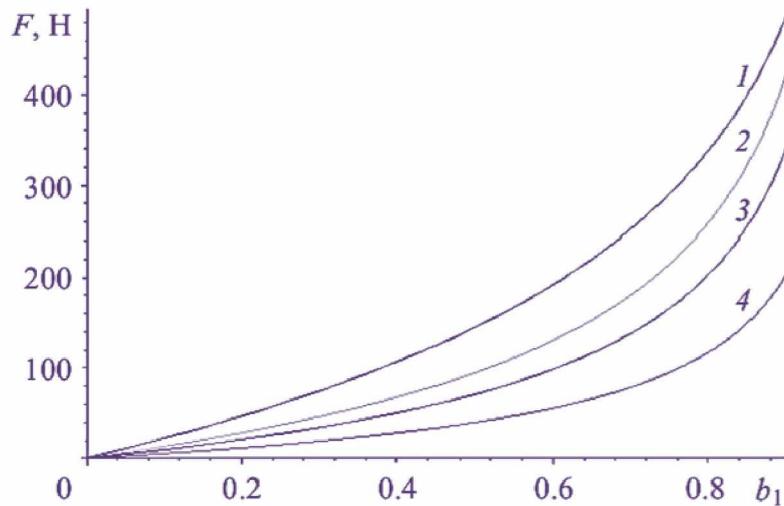


Рисунок 1.19 – «Расчетные зависимости силы сопротивления почвенной среды от значения b_1 при различном параметре $\mu = \sin\theta$.

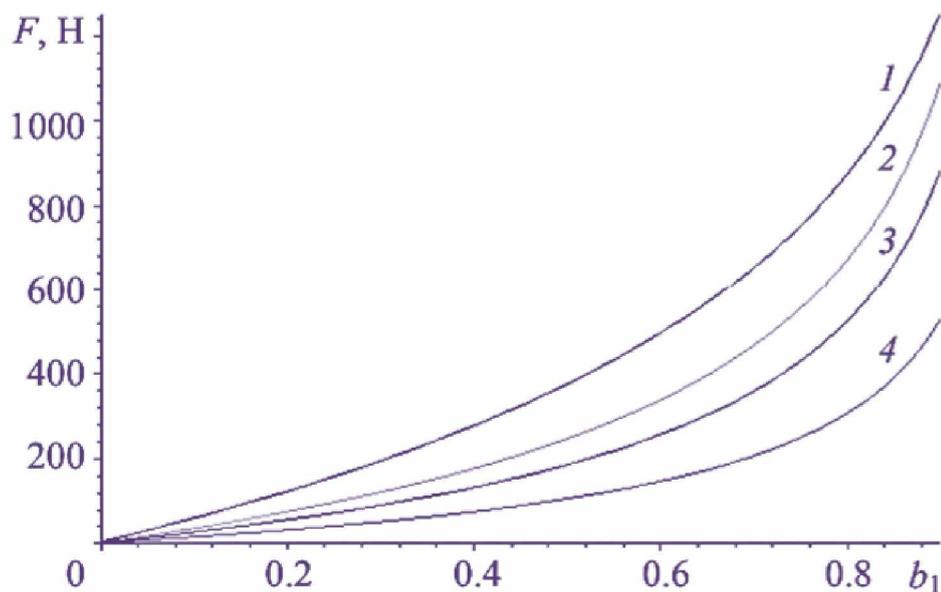


Рисунок 1.20 – Расчетные зависимости силы сопротивления почвенной среды от значения b_1 при различном параметре $\mu = \sin\theta$ [130].

Анализ данных расчетных зависимостей подтверждает вывод о росте силы сопротивления при увеличении b_1 сделанный ранее.

Общие выводы, которые можно сделать по анализируемой работе следующие» [130]: «для описания динамики обрабатываемой почвы выбрана модель сжимаемой пластической среды с условием Кулона – Мора; при ис-

пользовании данной модели определена сила сопротивления почвенной среды при движении в ней лапы глубокорыхлителя, представленной в виде тонкого кругового конуса; установлено, что величина этой силы существенно зависит от свойства грунта, вида контактных условий между телом и грунтом, причем с ростом коэффициента внутреннего трения μ сила сопротивления грунта F увеличивается; получена зависимость силы сопротивления от времени. По результатам графоаналитических исследований видно, что пока площадь контакта кругового конуса с грунтом переменная, сила сопротивления в зависимости от времени меняется по параболическому закону, и далее она остается постоянной; в случае движения тела с постоянной скоростью установлено, что в зависимости от коэффициента внутреннего трения и сцепления грунта вблизи рабочего органа рыхлителя может образовываться зона повышенной плотности почвы, где наблюдается значительный рост силы сопротивления; при увеличении угла внутреннего трения наблюдается некоторое снижение значения силы сопротивления»[130].

ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОМУ РАЗДЕЛУ

1. Технологический процесс чизелевания почвы – это разновидность основной обработки почвы, направленный на глубокое рыхление и перемешивание почвенного пласта без оборота его верхней части.

2. Чизельные плуги сегодня представлены в широком исполнении, общей сборочной единицей в их конструкции следует выделить рабочую секцию, состоящей из двух базовых элементов, это стойка и рабочий орган в виде сменного долота.

3. Долото воспринимает основную нагрузку по деформации пласта и подвергается максимальному износу в носовой части. Геометрическая форма долота может быть в различном исполнении и определяет 80-95% энергетических затрат рабочего процесса чизелевания.

4. Математическое описание напряжений, возникающих в обрабатываемой почве, базируется на условии пластичности Кулона-Мора.

5. Профиль рабочего органа чизельного органа, обеспечивающий минимальное снижение энергетических затрат процесса обработки, должен отвечать принципу взаимосвязи и взаимоперехода форм поверхностей: «вогнутый профиль при переходе через прямолинейную форму должен сменяться выпуклым профилем, и наоборот».

6. Установлено: к существенному увеличению сил сопротивления приводит зона повышенной почвенной плотности, которая образуется вблизи рабочего органа в зависимости от коэффициента внутреннего трения и сцепления почвенной среды.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – снижение энергоемкости процесса чизелевания почвы за счет оптимизации геометрических параметров поверхности рабочего органа чизельного плуга.

Задачи исследований:

- провести анализ теоретических основ процесса разрушения почвенного пласта почвообрабатывающими рабочими органами;
- теоретически обосновать геометрические параметры поверхности рабочего органа чизельного плуга;
- провести экспериментальные исследования чизельного плуга, оснащенного модернизированными рабочими органами;
- провести производственную проверку чизельного плуга с модернизированными рабочими органами в производственных условиях и выполнить экономическую оценку эффективности его применения.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА

2.1 Дифференциальные уравнения движения частицы почвы по поверхности рабочего органа

В конструкции рабочей секции чизельного плуга следует выделить два базовых элемента, являющихся общими для любых моделей. Это стойка и рабочий орган в виде сменного долота. Задача стойки заключается в обеспечении жесткой связи рабочего органа с рамой плуга. Сменное долото, по своей сути, в зависимости от конфигурации представляет собой модификацию двухгранного «плоского клина, под действием которого почва подвергается деформациям сжатия, рисунок 2.1. Под действием клина в почвенном пласте возникает сложное напряженное состояние. Принято считать, что разрушение почвенного пласта основано на теории Кулона-Мора» [3,4].

В классической теории сельскохозяйственных машин энергетическая оценка технологического процесса разрушения почвы осуществляется по рациональной формуле профессора В.П. Горячкина [45], которая в классическом варианте записывается «в виде:

$$P = Gf + kab + \varepsilon abV^2, \quad (2.1)$$

где P – тяговое сопротивление, Н;

G – сила тяжести почвообрабатывающего орудия, Н;

f – коэффициент пропорциональности, коэффициент трения почвы по стали (в некоторых литературных источниках под данной величиной принимают сопротивление перекачиванию почвообрабатывающего орудия в открытой борозде);

k – коэффициент, определяющий сопротивление почвы деформации, Н/м²;

a и b – глубина обработки и ширина захвата орудия соответственно, м;

ε – коэффициент сопротивления, зависящий от скорости движения, Нс²/м⁴

V – скорость движения, м/с» [45].

Как показывает анализ выражения (2.1) в его состав входят постоянные слагаемые Gf , которые можно отнести к неуправляемым, и переменные слагаемые $kab + \varepsilon abV^2$, на которые можно воздействовать либо конструктивными, либо технологическими методами. Так как данные величины определяются характеристиками обрабатываемого материала, его сечением, геометрическими параметрами рабочего органа и скоростью движения орудия. Уравнение 2.1 может быть преобразовано к виду

$$P = mgf + ab(k + \varepsilon V^2)^2. \quad (2.2)$$

Дальнейший анализ представленного уравнения встречается у многих авторов, основной вывод, который они делают, что «деформация сжатия по энергоемкости процесса превышает деформацию растяжения более чем в 10 раз. Образование при деформации сжатия переуплотненных глыб, разрушение которых требует дополнительных затрат энергии, так же повышает энергоемкость процесса обработки почвы. Поэтому одним из способов снижения энергетических затрат на обработку почвы является использование рабочих органов, геометрия которых обеспечивает переменную деформацию почвенного пласта» [9,10,11].

Для аналитического описания такой поверхности рассмотрим движение частицы почвы по поверхности рабочего органа произвольной формы из точки A в точку B под действием постоянной силы R , рисунок 2.2



Рисунок 2.1 – Рабочая секция чизельного плуга с улучшенной геометрией поверхности рабочего органа.

Критериальное условие минимума энергии, затрачиваемой на перемещение рассматриваемой частицы, запишется в виде [12, 66]:

$$N=0$$

где N – нормальная реакция опорной поверхности.

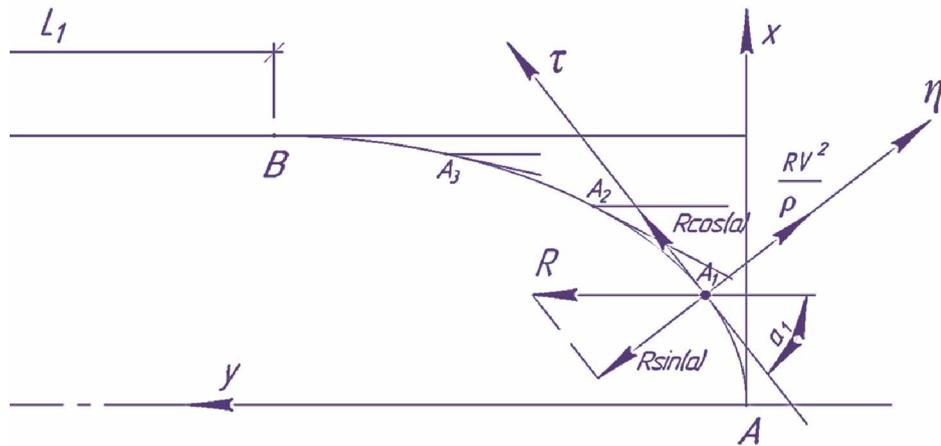


Рисунок 2.2 – Силы, возникающие при перемещении частицы почвы по параболической поверхности лезвия долота

Рассмотрим положение частиц в произвольный момент времени $t=t_1$, точка A_1 . Дифференциальные уравнения движения частицы в проекциях на оси естественной системы координат запишутся в виде:

$$\frac{dV}{dt} = R \cos \alpha, \quad (2.1)$$

$$N = 0 = R \sin \alpha - R \frac{V^2}{\rho} = \sin \alpha - \frac{V^2}{\rho} \geq 0. \quad (2.2)$$

Выразив $\cos \alpha = \frac{dy}{ds}$, где S – расстояние от точки A до точки A_1 , получим

$$\frac{dV}{dt} = R \frac{dy}{ds}. \quad (2.3)$$

Учитывая, что $\frac{ds}{dt} = V$, запишем:

$$V dV = R dy. \quad (2.4)$$

Интегрируя выражение (2.4) при следующих начальных условиях: $t = 0; V = V_0; y = y_0$, получим

$$V^2 = 2Ry + V_0^2 - 2Ry_0, \quad (2.5)$$

Преобразовав выражение (2.5), получим

$$V^2 = V_0^2 + 2R(y - y_0). \quad (2.6)$$

Из уравнения 2 получено

$$V^2 = \rho \frac{dx}{ds}. \quad (2.7)$$

Радиус кривизны траектории ρ выразим через перемещение частицы

$$\rho = \frac{ds}{d\alpha},$$

тогда

$$V^2 = \frac{ds}{d\alpha} \frac{dx}{ds} = \frac{dx}{d\alpha}. \quad (2.8)$$

Согласно [2]

$$d\alpha = \frac{y'' dx}{1 + (y')^2}, \quad (2.9)$$

следовательно

$$V^2 = \frac{1 + (y')^2}{y''} \quad (2.10)$$

Подставив выражение (2.10) в выражение (2.6), получим:

$$V_0^2 + 2R(y - y_0) = \frac{1 + (y')^2}{y''}, \quad (2.11)$$

или

$$y'' = \frac{1 + (y')^2}{V_0^2 + 2R(y - y_0)}. \quad (2.12)$$

Обозначив

$$y' = p = \frac{dy}{dx}, \quad (2.13)$$

получим

$$y'' = p' = \frac{dp}{dx} = \frac{dp}{dx} \frac{dy}{dy} = p \frac{dp}{dy} \quad (2.14)$$

Подставив выражение (2.14) в выражение (2.12), получим:

$$p \frac{dp}{dy} = \frac{1 + p^2}{V_0^2 + 2R(y - y_0)}, \quad (2.15)$$

разделив переменные и интегрируя выражение (2.15) получено

$$\frac{1 + p^2}{1 + p_0^2} = \frac{1}{V_0^2} (V_0^2 + 2R(y - y_0)) \quad (2.16)$$

из которого получено

$$p^2 = \frac{2R}{V_0^2} (1 + p_0^2) y + p_0^2 - \frac{2R}{V_0^2} y_0 (1 + p_0^2). \quad (2.17)$$

Введя обозначения

$$A = \frac{2R}{V_0^2}(1 + p_0^2),$$

$$B = p_0^2 - \frac{2R}{V_0^2}(1 + p_0^2).$$

Получено

$$dx = \frac{dy}{\sqrt{Ay + B}}, \quad (2.18)$$

интегрируя выражение (2.18) получено

$$x = x_1 + \frac{2}{A}(\sqrt{Ay + B} - \sqrt{Ay_1 + B}) \quad (2.19)$$

$$\frac{2}{A}\sqrt{Ay + B} = (x - x_1 + \frac{2}{A}\sqrt{Ay_1 + B}) \quad (2.20)$$

Возведем выражение (2.20) в квадрат, получим:

$$\frac{4}{A^2}(Ay + B) = (x - x_1 + \frac{2}{A}\sqrt{Ay_1 + B})^2, \quad (2.21)$$

или

$$\frac{4}{A^2}(Ay + B) = x^2 - x_1^2 + \frac{2}{A^2}(Ay_1 + B) - 2xx_1 - \frac{4x}{A}\sqrt{Ay_1 + B} - \frac{4x_1}{A}\sqrt{Ay_1 + B}, \quad (2.22)$$

тогда

$$Ay + B = \frac{A^2x^2}{4} - \frac{A^2x_1^2}{4} + Ay_1 + B - \frac{A^2xx_1}{2} - Ax\sqrt{Ay_1 + B} - Ax_1\sqrt{Ay_1 + B}, \quad (2.23)$$

или

$$y = \frac{A}{4}x^2 - \frac{A}{4}x_1^2 + y_1 - \frac{Ax_1}{2}x - x\sqrt{Ay_1 + B} - x_1\sqrt{Ay_1 + B}. \quad (2.24)$$

Сгруппируем слагаемые правой части, получим

$$y = \frac{A}{4}x^2 - \frac{A}{2}x_1x - x\sqrt{Ay_1 + B} - \frac{A}{4}x_1^2 - x_1\sqrt{Ay_1 + B} + y_1, \quad (2.25)$$

$$y = \frac{A}{4}x^2 - x\left(\frac{A}{2}x_1 + \sqrt{Ay_1 + B}\right) - \frac{A}{4}x_1^2 - x_1\sqrt{Ay_1 + B} + y_1. \quad (2.26)$$

Обозначив:

$$\frac{A}{4} = \alpha,$$

$$\frac{1}{2}Ax_1 - \sqrt{Ay_1 + B} = \beta,$$

$$\frac{A}{4}x_1^2 - x_1\sqrt{Ay_1 + B} + y_1 = \chi$$

имеем

$$y = ax^2 - \beta x + \chi. \quad (2.27)$$

Таким образом, параболическая поверхность может обеспечивать снижение одного из слагаемых общего тягового сопротивления рабочего органа, связанного с перемещением частицы почвы по его поверхности.

Область существования полученной параболической поверхности ограничена геометрическими размерами рабочего органа (долота), рисунок 2.3.

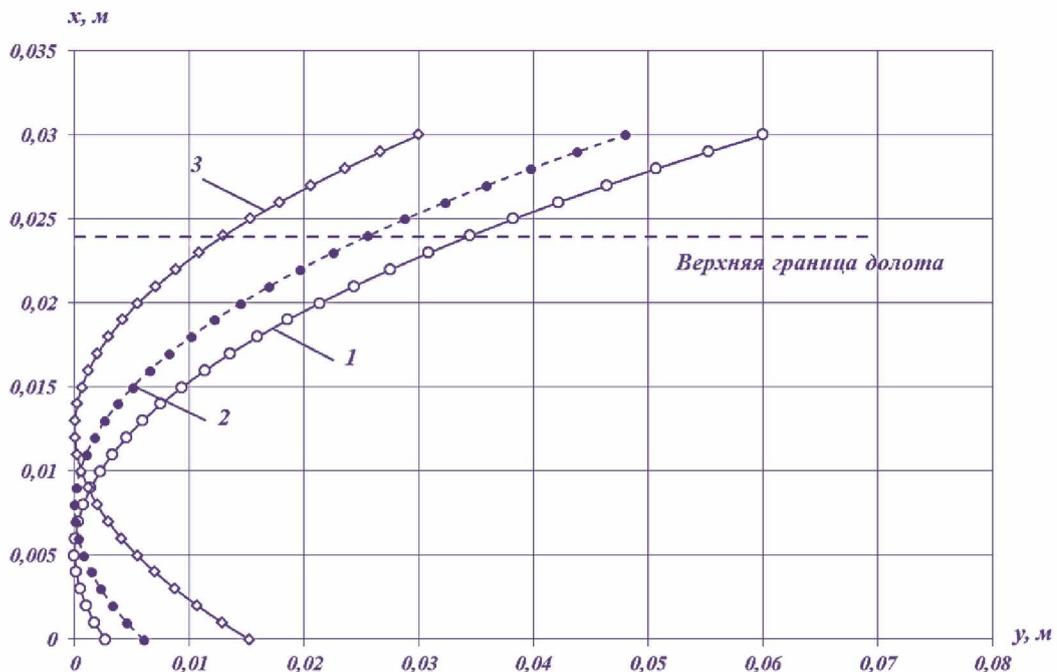


Рисунок 2.3 – Расчетные параболические кривые при различных значениях 1 – расчетная кривая при $y_1=0,06$ м, 2 – расчетная кривая при $y_1=0,05$ м, 3 – расчетная кривая при $y_1=0,03$ м.

Общую образующую кривую линию можно получить путем сопряжения расчетных парабол, при условии, что они проходят через реперные точки, принадлежащие поверхности долота. Для определения координат реперных точек воспользуемся общим видом долота чизельного плуга, показанного на рисунке 2.4.

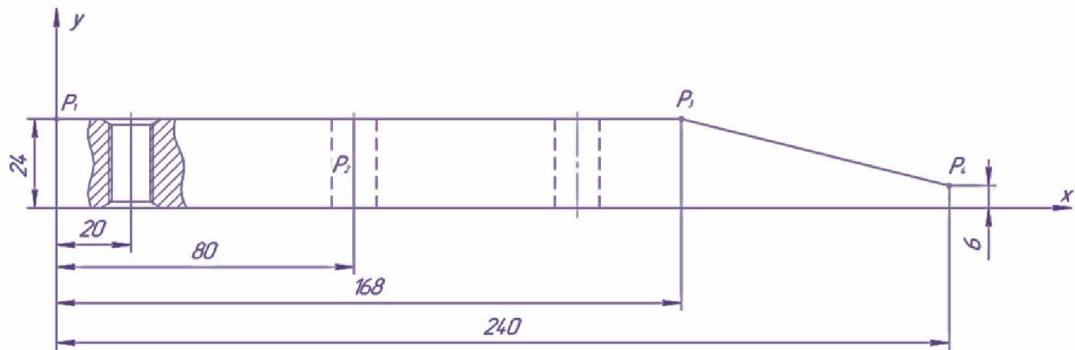


Рисунок 2.4 – К вопросу определения реперных точек образующей кривой линии.

Параболическая кривая считается определенной на заданном отрезке, если известны координаты трех её точек. Соответственно, если образующую кривую линию представить состоящей из двух сопряженных парабол, то необходимо знать координаты четырех реперных точек, принадлежащих геометрической области существования рабочего органа.

В качестве первой реперной точки предлагается принять точку P_1 , находящейся на верхней границе долота в левой её части, координаты данной точки в декартовой системе координат, согласно рисунку 2.4, определяются как $P_1 (0;24)$. Вторая реперная точка находится в зоне второго крепления долота к стойке почвообрабатывающего орудия. Координата y данной точки может меняться в диапазоне от 6 до 18 мм. Минимальное значение этой координаты определено из прочностных соображений, максимальное значение областью существования переменного профиля рабочего органа. Таким образом может быть принято три положения точки P_2 , определяемых координатами $P_2 (80;6)$, $P_2 (80;12)$, $P_2 (80;18)$. Третья реперная точка находится на границе двух функциональных зон долота. Рабочей зоны и зоны крепления. Соответственно положение точки P_3 определяется координатами $P_3 (168;24)$. Положение четвертой реперной точки, согласно рисунку 2.4, целесообразно принять на носовой части долота. Данная точка будет определять границы существования рабочего органа. Соответственно положение точки P_4 определяется координатами $P_4 (240;6)$. Таким образом, определены положения четырех реперных точек, через которые можно провести параболические кривые, описанные уравнением 2.21. Результат наложения расчетных кривых на определенные реперные точки показан на рисунке 2.5. При этом, параболы заданы четырьмя последовательными точками: первая – тремя первыми точками, вторая – тремя последними.

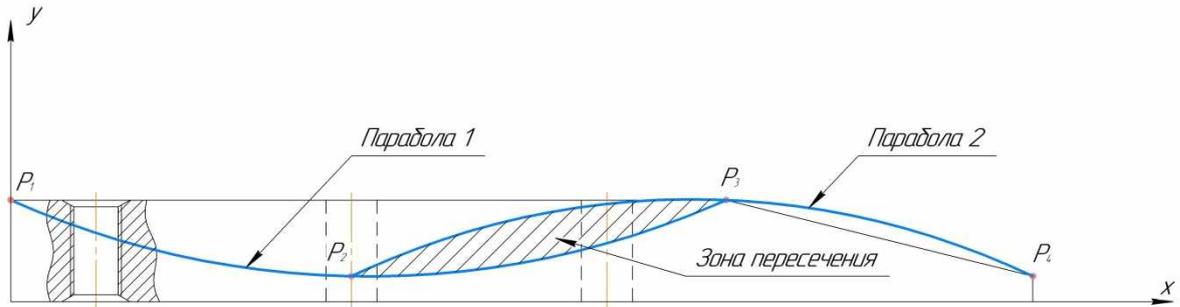


Рисунок 2.5 – К вопросу построения образующей кривой, проходящей через установленные реперные точки.

Для определения формы кривой, получаемой в зоне пересечения исследуемых парабол, воспользуемся параболической интерполяцией. Основная идея параболической интерполяции состоит в линейной интерполяции пересекающихся ветвей параболы. Пересечение парабол лежит между второй и третьей точками. Несмотря на то, что параболы – плоские кривые, их линейная интерполяция представляет собой кубическую пространственную кривую. В работе [95] дается обоснование метода построения параболически интерполированных кривых посредством матриц. Суть его состоит в следующем.

Параболически интерполированная кривая имеет вид

$$C(t) = (1 - t)p(r) + tq(s), \quad (2.21)$$

где r, s, t – параметры, $p(r), q(s)$ – параметрические параболы, проходящие через P_1, P_2, P_3 и P_2, P_3, P_4 , рисунок 2.5.

Параметрическое представление $p(r)$ и $q(s)$ имеет вид:

$$p(r) = [r^2 \quad r \quad 1][B] \quad (2.22)$$

$$q(s) = [s^2 \quad r \quad 1][D] \quad (2.23)$$

где $[B]$ и $[D]$ – матрицы, представляющие положение вектор - точек P_1, P_2, P_3 и P_2, P_3, P_4 соответственно. Результат интерполяции – кубическая кривая

$$C(t) = [r^3 \quad r^2 \quad t \quad 1][A][G] = [T][A][G], \quad (2.24)$$

где $[T]$ $[A]$ – матрица интерполяционных функций, а $[G]$ – геометрическая матрица вектор – точек P_1, P_2, P_3, P_4 .

Для определения $[B]$ и $[D]$, а затем $[A]$ и $[G]$, необходимо установить связь между параметрами r, s, t . Введя допущение, что r и t , а также s и t связаны линейно, получено

$$\begin{aligned} r &= k_1 t + k_2, \\ s &= k_3 t + t_4, \end{aligned} \quad (2.25)$$

где k_i – константы, заданных граничных условий в вектор-точках P_1, P_2, P_3, P_4 .

Предположив, что данные распределены равномерно и диапазон параметров нормализован, $0 \leq r, s, t \leq 1$. Можно записать, что

$$\begin{aligned} p(0) &= P_1, & p\left(\frac{1}{2}\right) &= P_2, & p(1) &= P_3, \\ q(0) &= P_2, & q\left(\frac{1}{2}\right) &= P_3, & q(1) &= P_4, \\ C(0) &= P_2, & C(1) &= P_3. \end{aligned} \quad (2.26)$$

Основные допущения: $p(r)=P_2$ для $r = 1/2$ и $q(s)=P_3$ для $s=1/2$.

Тогда уравнения 2.25 примут вид

$$\begin{aligned} P_2: r = \frac{1}{2}, t = 0 &\rightarrow k_2 = 1/2 \\ P_3: r = 1, t = 1 &\rightarrow k_1 + k_2 = 1 \rightarrow k_1 = 1/2 \\ P_2: s = 0, t = 0 &\rightarrow k_4 = 0 \\ P_3: s = \frac{1}{2}, t = 1 &\rightarrow k_3 = 1/2 \end{aligned}$$

Тогда

$$r(t) = \frac{1}{2}(1 + t), \quad s(t) = \frac{1}{2}t. \quad (2.27)$$

Используя выражение (2.26) выразим из уравнения (2.22) матрицу $[B]$ через P_1, P_2, P_3

$$\begin{aligned} p(0) &= P_1 = [0 \ 0 \ 1][B], \\ p\left(\frac{1}{2}\right) &= P_2 = [1/4 \ 1/2 \ 1][B], \\ p(1) &= P_3 = [1 \ 1 \ 1][B]. \end{aligned} \quad (2.28)$$

Или

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} [B] = [M][B].$$

Откуда

$$[B] = [M]^{-1} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -4 & 2 \\ -3 & 4 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Аналогично через P_2, P_3, P_4 находится выражение $[D]$, получим

$$\begin{aligned}
q(0) &= P_2 = [0 \ 0 \ 1][D], \\
q\left(\frac{1}{2}\right) &= P_3 = [1/4 \ 1/2 \ 1][D], \\
q(1) &= P_4 = [1 \ 1 \ 1][D].
\end{aligned}
\tag{2.30}$$

Или

$$[D] = [M]^{-1} \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -4 & 2 \\ -3 & 4 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix}
\tag{2.31}$$

Подставим выражение (2.25) в (2.24):

$$C(t) = (1-t)[r^2 \ r \ 1][B] + t[s^2 \ s \ 1][D].$$

Используя выражение 2.27, получим

$$C(t) = \left[-\frac{1}{4}(t^2 + t^2 - t - 1) \quad -\frac{1}{2}(t^2 - 1) \quad 1 - t \right] [B] + \left[\frac{t^2}{4} \quad \frac{t^2}{4} \quad t \right] [D].$$

Подставив значения [D] и [B] из выражений (2.29), (2.31) получим

$$\begin{aligned}
C(t) &= \begin{bmatrix} -\frac{t^3}{4} + t^2 - \frac{t}{2} & t^3 - t^2 - t + 1 & -\frac{t^3}{2} + \frac{t}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} + \\
&+ \begin{bmatrix} \frac{t^3}{2} + \frac{3}{2}t^2 + t & -t^3 + 2t^2 & \frac{t^3}{2} + \frac{t^2}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix}.
\end{aligned}
\tag{2.32}$$

При условии использования всех исходных точек P_1, P_2, P_3, P_4 выражение (2.32) примет вид:

$$\begin{aligned}
C(t) &= \begin{bmatrix} -\frac{t^3}{2} + t^2 - \frac{t}{2} & t^3 - t^2 - t + 1 & -\frac{t^3}{2} + \frac{t}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} + \\
&+ \begin{bmatrix} 0 & \frac{t^3}{2} - \frac{3}{2}t^2 + t & -t^3 + 2t^2 & \frac{t^3}{2} - \frac{t^2}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix}.
\end{aligned}
\tag{2.33}$$

В форме уравнения 2.24 имеем:

$$C(t) = [t^3 \quad t^2 \quad t \quad 1][A][G] = [T][A][G], \quad (2.34)$$

где

$$[A] = \left(\frac{1}{2}\right) \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

и

$$[G]^T = [P_1 \quad P_2 \quad P_3 \quad P_4]. \quad (2.35)$$

Следовательно, параболическая интерполяция сопрягаемых нами парабол в параметрическом виде будет иметь вид:

$$C(t) = \left(\frac{1}{2}\right) \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{27} & \frac{1}{9} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 24 \\ 80 & 12 \\ 168 & 24 \\ 240 & 6 \end{bmatrix}, \quad (2.36)$$

Полученная кривая, для различных значений координат точки P_2 изображена на рисунке 2.6.

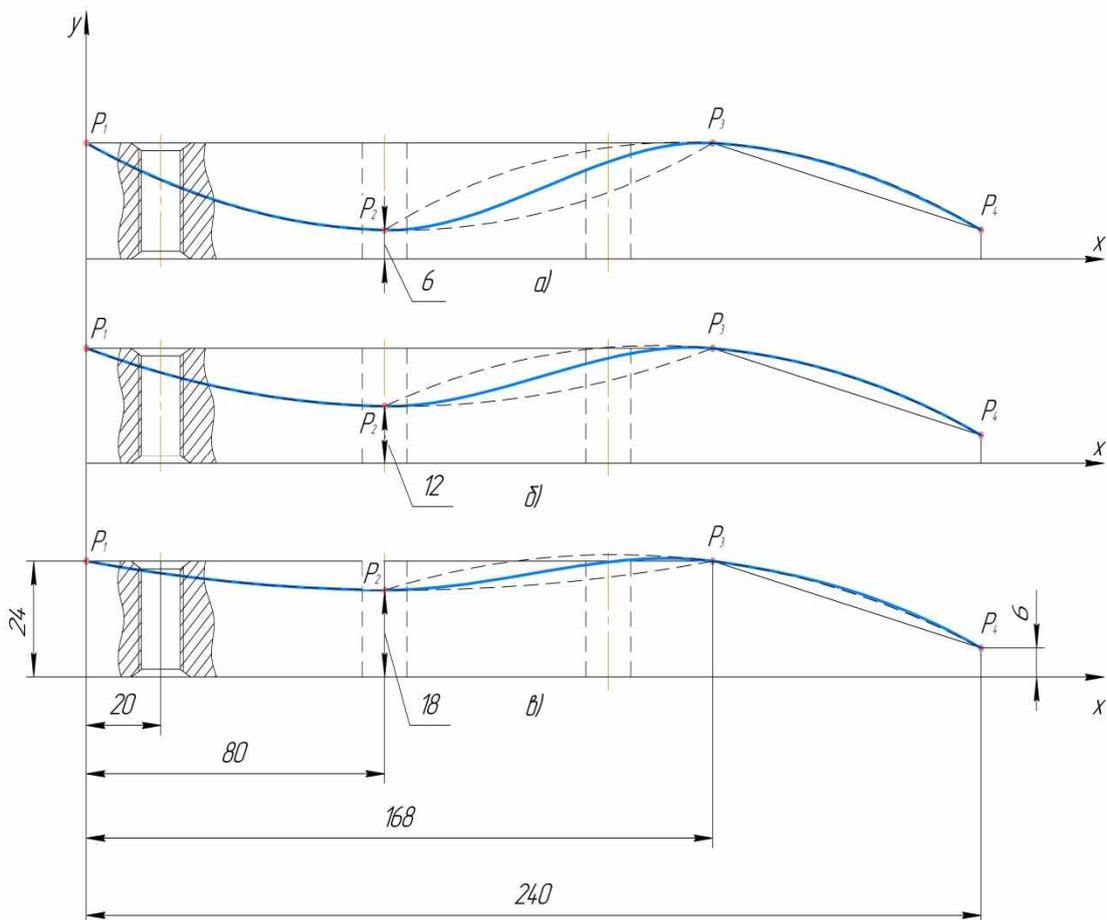


Рисунок 2.6 – Расчетная образующая кривая поверхности рабочего органа чизельного орудия: а) координаты реперных точек $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;6)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$; б) - координаты реперных точек $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;12)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$; в) - координаты реперных точек $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;18)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$.

Используя полученную образующую кривую можно получить параметрическое уравнение поверхности моделируемого рабочего органа.

2.2 Построение поверхности рабочего органа почвообрабатывающего орудия

«Общепринятым методом построения поверхности считается использование нескольких ортогональных проекций. По смыслу это означает, что поверхность определяется сеткой ортогональных плоских кривых, лежащих на граничных плоскостях, и рядом ортогональных проекций определяющей базовой линии» [35].

Применительно к нашему случаю целесообразно проектировать трехмерную математическую модель поверхности, так как это позволит на стадии проектирования провести анализ интересующих нас геометрических параметров, например, кривизны профиля, или физических характеристик, например, объема, или площади проектируемой поверхности.

Существует два метода описания поверхности. В первом математическую поверхность создают по заранее известным данным. Вторым методом, связанным с именем Базье, основан на создании поверхности с чистого листа. Самым простым способом создания трехмерной поверхности считается вращение двухмерного объекта, например, плоской кривой во круг оси в пространстве. Такие поверхности называются поверхностями вращения.

Самый простой объект, который можно вращать относительно координатной оси, это точка. При этом должно соблюдаться условие, что рассматриваемая точка не принадлежит оси вращения. При этом поворот точки на 360° дает окружность. В случае вращения на меньший угол даст дугу окружности.

Параметрическое уравнение точки на поверхности можно задать, если учитывать, что параметрическое уравнение вращаемого объекта является функцией одной переменной, например

$$P(t) = [x(t) \ y(t) \ z(t)] \quad 0 \leq t \leq t_{max}.$$

Поворот относительно оси вращения дает также зависимость от угла поворота. Следовательно, точка на поверхности вращения однозначно будет определяться двумя переменными t и φ , т. е. это бипараметрическая функция вида

$$Q(t, \varphi) = [x(t) \ y(t)\cos\varphi \ z(t)\sin\varphi].$$

При этом координата x остается постоянной.

Для создания поверхности вращения можно использовать любую параметрическую кривую, например, как в нашем случае, параболический сплайн. Согласно материалам предыдущего раздела, параметрическая пространственная кривая задается уравнением вида

$$P(t) = [T][N][G],$$

где $[T][N][G]$ – матрица параметров, матрица смещений и геометрическая матрица, соответственно.

Тогда в общей форме уравнение поверхности можно записать в виде

$$Q(t, \varphi) = [T][N][G][S],$$

где $[S]$ – матрица, характеризующая поворот кривой вокруг оси на угол φ .

Для частного случая поворота относительно оси x $[S]$ определяется следующими значениями

$$[S] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Применительно к нашей задаче имеем:

Координаты точек координаты реперных точек $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;12)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$. Будем осуществлять поворот расчетной кривой относительно оси z , на угол φ , чтобы получить поверхность вращения.

Параметрическое уравнение получаемой поверхности имеет вид

$$Q(t, \varphi) = [T][N][G][S].$$

С учетом выражения (2.36) имеем

$$Q(t, \varphi) = \left(\frac{1}{2}\right) [t^3 \ t^2 \ t \ 1] \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 24 \\ 80 & 12 \\ 168 & 24 \\ 240 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.38)$$

Для решения данного параметрического уравнения был выбран пакет Mathcad. На рисунках 2.7-2.11 представлены результаты решения.

```

x0 := 0    x1 := 80
y0 := 24   y1 := 12    x2 := 168    x3 := 240
                                y2 := 24    y3 := 6
i := 0, 1 .. 9
s := cspline(x, y)
ls(z) := interp(s, x, y, z)
                                interp(s, x, y, 0) = 24
z := 0, 0.1 .. 250
j := 1

s1(z) := sj + sj+1(z - xj) + sj+2(z - xj)2 + sj+3(z - xj)3

```

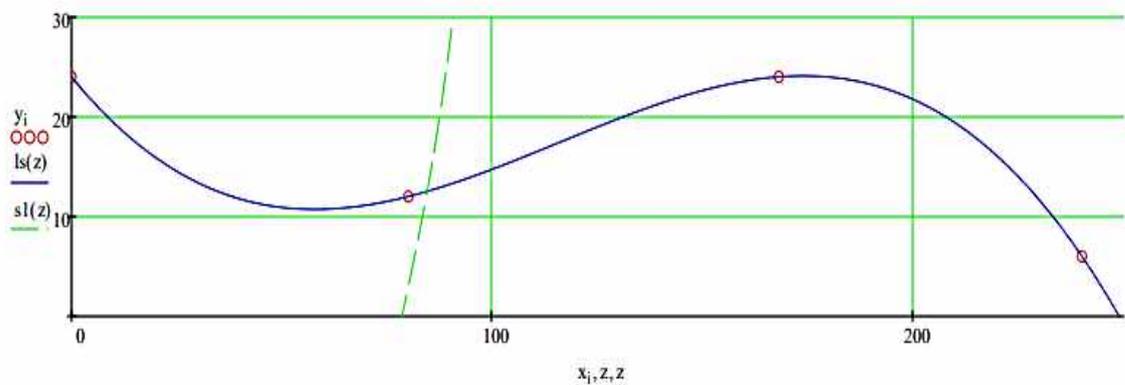


Рисунок 2.7 – Ввод исходных координат опорных точек, построение базовой линии.

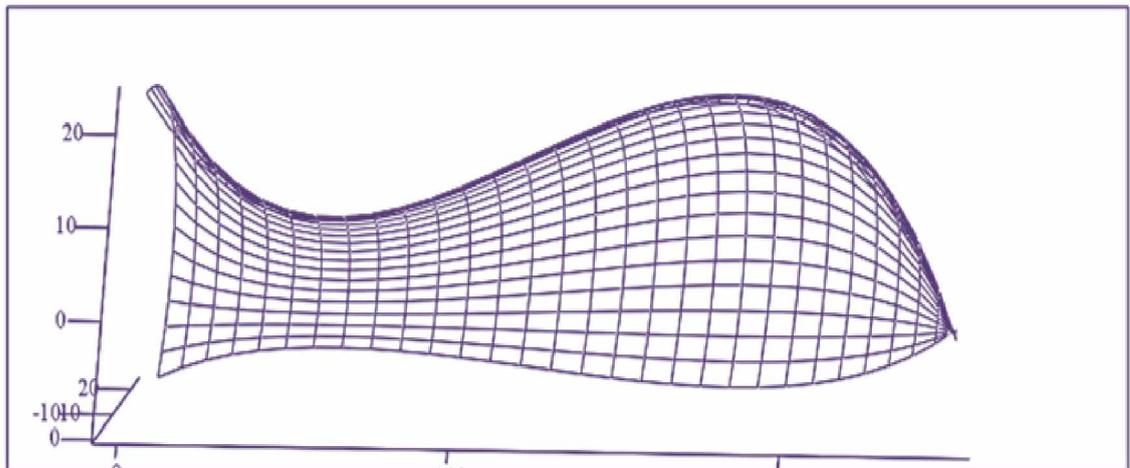
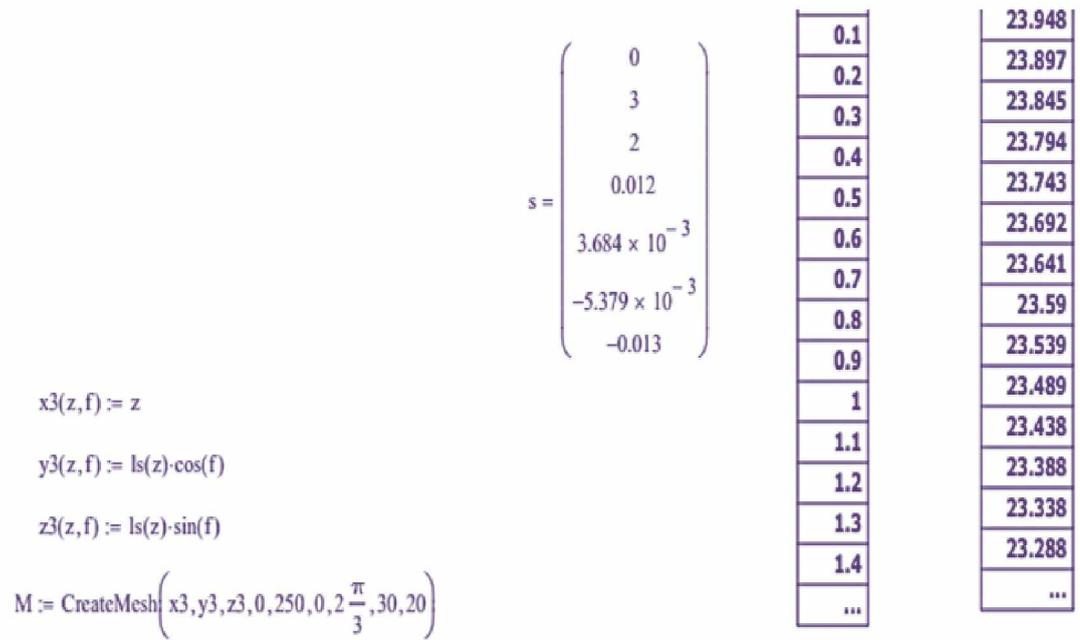


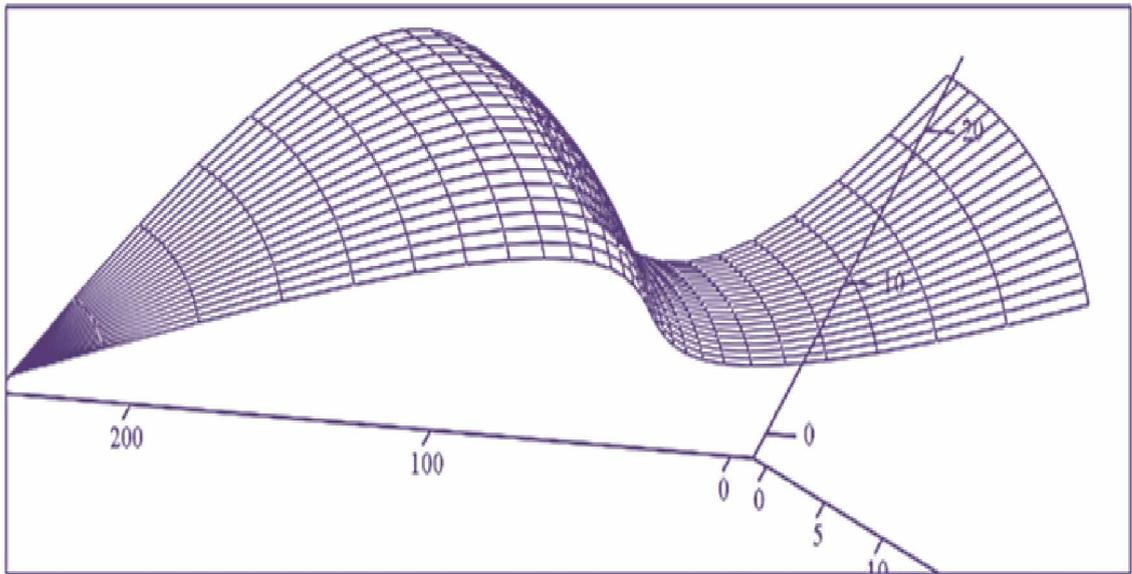
Рисунок 2.8 – Результаты поворота базовой линии относительно оси z на угол $\pm \frac{\pi}{2}$.

M

$$\overset{\text{M}}{x_3}(z, f) := \text{ls}(z) \cdot \cos(f)$$

$$\overset{\text{M}}{y_3}(z, f) := z$$

$$\overset{\text{M}}{z_3}(z, f) := \text{ls}(z) \cdot \sin(f)$$

$$\overset{\text{M}}{M} := \text{CreateMesh}\left(x_3, y_3, z_3, 0, 250, 0, 2 \cdot \frac{\pi}{8}, 30, 20\right)$$


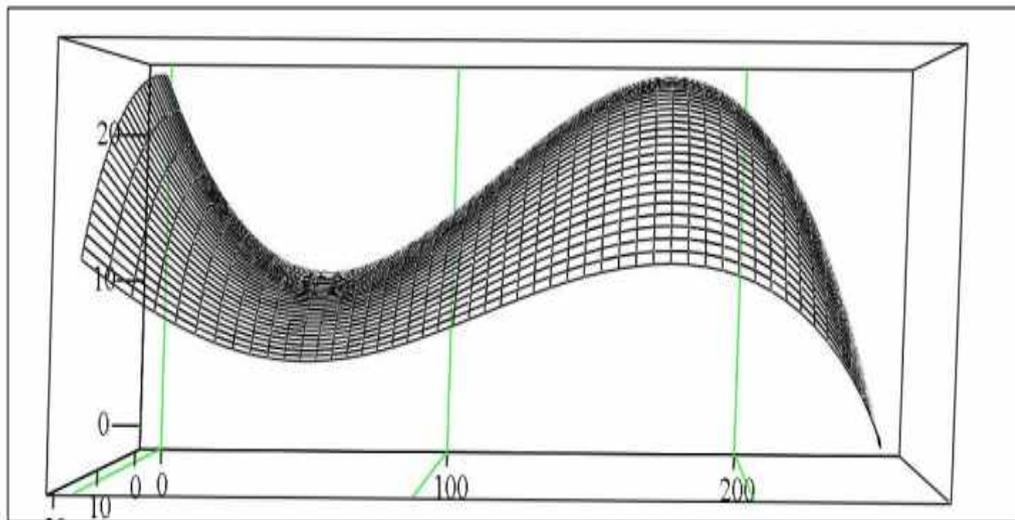
M

Рисунок 2.9 – Результаты поворота базовой линии относительно оси z на угол $\pm \frac{\pi}{12}$.

```

x3(z,f) := z
y3(z,f) := ls(z)·sin(f)
z3(z,f) := ls(z)·cos(f)
M := CreateMesh(x3,y3,z3,0,250,π/6,3·π/6,50,30)

```



M

Рисунок 2.10 – Результаты поворота базовой линии относительно оси z на угол $\pm \frac{\pi}{6}$.

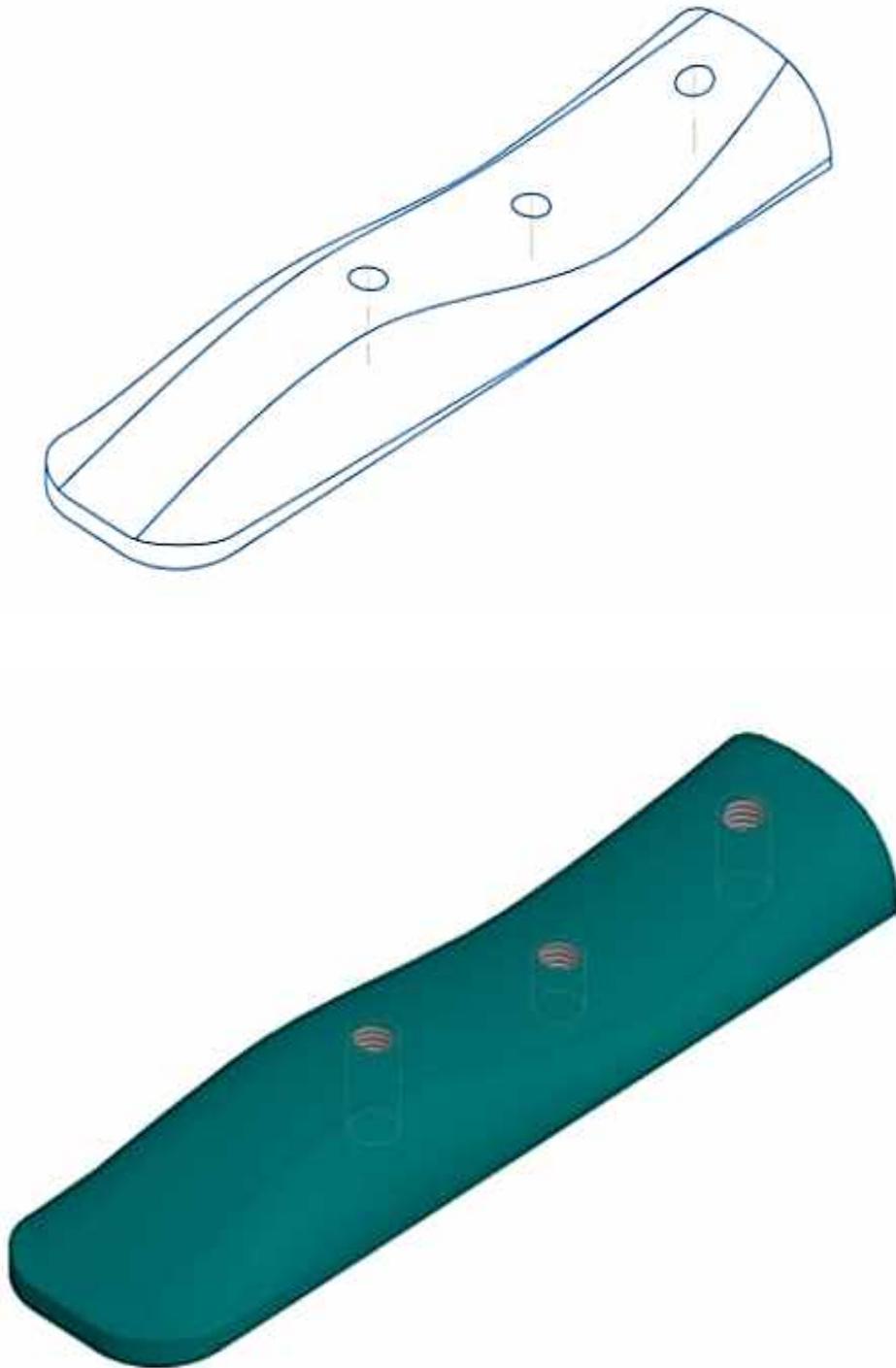


Рисунок 2.11 – Результаты моделирования поверхности рабочего органа, заданной в параметрическом виде, в программе Компас 3D.

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОМУ РАЗДЕЛУ

1. На основании рациональной формулы профессора Горячкина В.П. доказано, что один из методов уменьшения энергозатрат на почвообработку – использование рабочих органов, геометрическая форма которых обеспечивает переменную изгибную деформацию почвенного пласта.

2. На основании исследования дифференциальных уравнений движения частицы почвы по поверхности рабочего органа получено уравнение траектории движения, движение по которой происходит с наименьшими энергетическими затратами. Данная траектория является параболой. На основании чего выдвинута гипотеза о том, что параболическая поверхность рабочего органа может обеспечивать снижение одного из слагаемых общего тягового сопротивления рабочего органа, связанного с перемещением частицы почвы по его поверхности.

3. Образующая кривая линия поверхности рабочего органа чизельного плуга получена путем сопряжения расчетных парабол, при условии, что они проходят через реперные точки, принадлежащих поверхности рабочего органа.

4. В качестве первой реперной точки принята точка P_1 , находящаяся на верхней границе долота в левой её части, координаты данной точки P_1 (0;24). Вторая реперная точка находится в зоне второго крепления долота к стойке орудия, координаты точки P_2 (80;12). Третья реперная точка находится на границе двух функциональных зон долота, рабочей зоны и зоны крепления. Положение точки P_3 определяется координатами P_3 (168;24). Положение четвертой реперной точки принято на носовой части долота. Данная точка определяет границы существования рабочего органа, её координаты P_4 (240;6).

5. На основании параболической интерполяции аналитически заданных параболических линий получены параметрические уравнения образующей кривой и поверхности моделируемого рабочего органа.

3. ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧИЗЕЛЬНОГО АГРЕГАТА, ОБОРУДОВАННОГО РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ С УЛУЧШЕННЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕ- РИСТИКАМИ

Программа экспериментальных исследований чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками, включала в себя несколько основных разделов:

- 1) изготовление опытной партии экспериментальных долот, форма поверхности которых соответствует поверхности, описываемой параметрическим уравнением 2.38;
- 2) создание экспериментальной установки, позволяющей выполнить тяговые испытания рабочей секции чизельного орудия, оборудованной экспериментальными рабочими органами;
- 3) создание натурального объекта исследования, в виде чизельного машинно-тракторного агрегата, позволяющего оценить эффективность применения экспериментальных рабочих органов в условиях реальной эксплуатации;
- 4) проведение сравнительных полевых испытаний экспериментальных объектов, получение значений регистрируемых параметров в виде осциллограмм, их математическая обработка, построение графических зависимостей исследуемых параметров.

3.1 Изготовление опытной партии экспериментальных долот

Технологический процесс изготовления экспериментальной партии долот с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности включал в себя следующие технологические операции:

- $\frac{3}{4}$ получение отливок рабочего органа с заданными геометрическими характеристиками рабочей поверхности;
- $\frac{3}{4}$ механическая обработка полученных отливок: удаление наплывов, шлифовка поверхности, сверление крепёжных отверстий, нарезание резьбы;
- $\frac{3}{4}$ термическая обработка основных функциональных зон экспериментальных отливок.

Экспериментальные долота было принято решение изготавливать литьем в песчано-глинистые формы. Для этой цели была изготовлена модель ра-

бочего органа посредством 3D печати, согласно рабочим чертежам, рисунок 3.1.

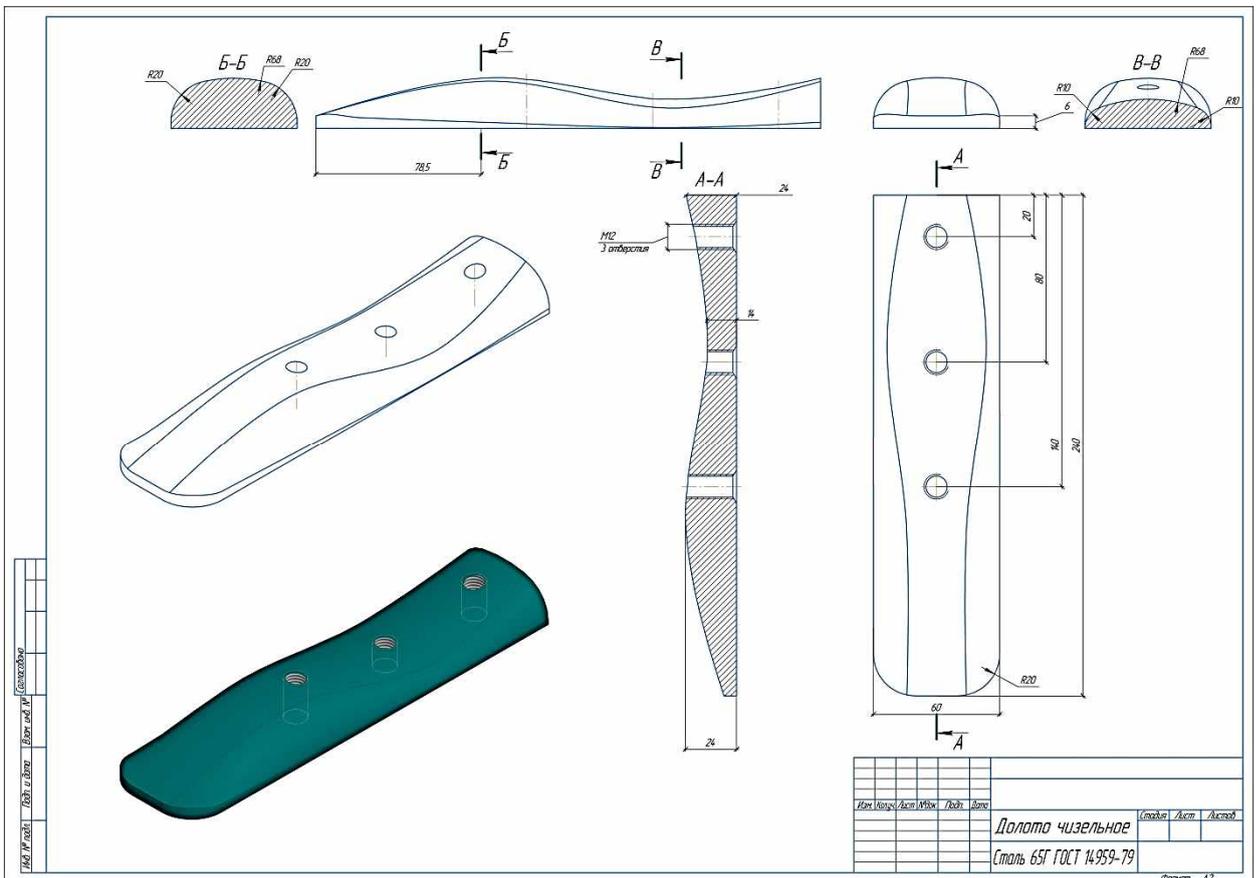


Рисунок 3.1 – Фрагменты рабочих чертежей экспериментального долота с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности.



Рисунок 3.2 – Модель экспериментального рабочего органа, полученная посредством 3D - печати.

По полученной 3D модели рабочего органа (рисунок 3.2) в литейной лаборатории ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» была отлита партия экспериментальных долот (Патент на изобретение № 2792117 С1) [94].

В качестве основного материала для изготовления экспериментальных долот, согласно рекомендациям [64], был выбран высокоуглеродистый сплав ВЧ-50. Экспериментальные долота, после операций механической обработки, были подвергнуты термической обработке, состоящей из изотермической закалки, и низкого отпуска [64]. 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	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	воздух	Температура отпуска - 240°С Время выдержки – 2 часа

	соляную ванну $t = 400 \text{ }^\circ\text{C}$, время выдержки 2 часа» [66].		
--	---	--	--

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 обоснование конечной формы экспериментальных долот как по энергетическим параметрам, так и по технологическим параметрам, предъявляемых к процессу чизелевания почвы.

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, рисунок 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: действительная скорость движения, горизонтальная составляющая тягового сопротивления секции, усилие на крюке трактора. Почвенный фон – стерня пшеницы озимой. Влажность почвенного фона в процессе выполнения экспериментальных работ варьировалась от 8 до 16 %.

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 двуплечие рычаги, шарнирно закрепленные соосно на промежуточной раме, и измерительное средство. Свободные концы двуплечих 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 двуплечего 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.

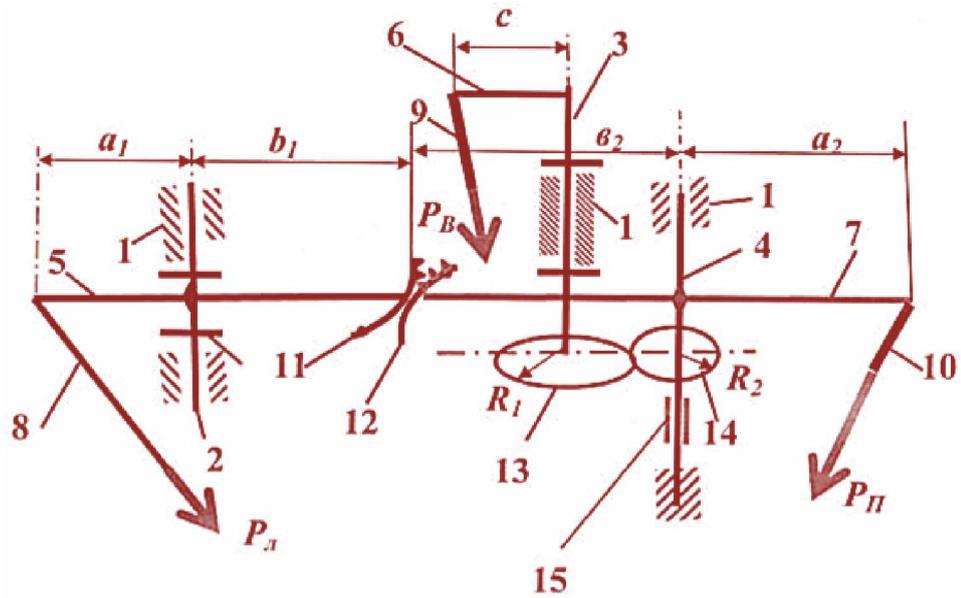


Рисунок 3.5 – Кинематическая схема устройства для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор: 1–опора с радиально-упорными подшипниками; 2,3,4–валы; 5,6,7– двуплечие рычаги; 8,9,10–тяги гидронавесной системы трактора; 11,12– зубчатые секторы; 13– зубчатое колесо; 14–зубчатая шестерня; 15–датчик крутящего момента.



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 поворота 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 тягового сопротивления и загруженности почвообрабатывающих рабочих органов. Способ и устройство определения точки приложения равнодействующей 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 3.8.

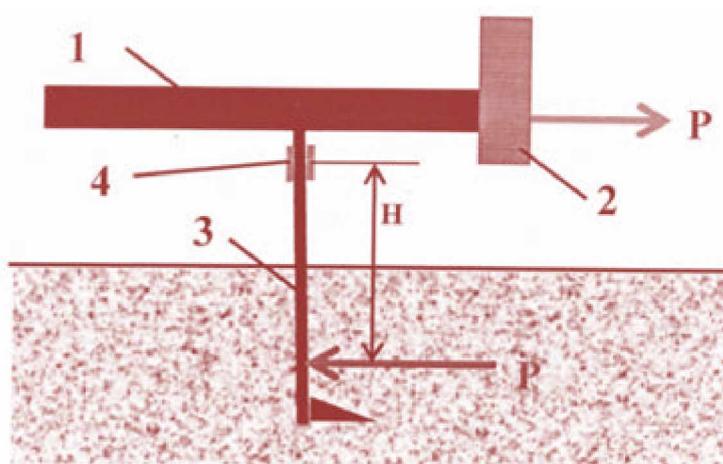


Рисунок 3.8 – Кинематическая схема устройства для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины: 1–рама; 2–датчик значения равнодействующей продольных сил; 3–рабочий орган; 4–датчик тензométrического типа

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 [95].



Рисунок 3.9 – Устройство для измерения тягового сопротивления чизельной стойки.

3.2.3 Измерение действительной скорости движения экспериментальной установки

Действительную скорость движения экспериментальной установки определяли методом «пятого колеса». Данный метод подразумевает регистрацию числа оборотов «дополнительного колеса, закрепленного на раме трактора, осуществляющего перекачивание по полю без скольжения» [96], рисунок 3.10.



Рисунок 3.10 – «Регистрация действительной скорости движения экспериментальной установки».

Регистрация числа оборотов «пятого колеса» осуществляется посредством геркона, расположенного на вилке крепления колеса и постоянных магнитах, закрепленных на его ободе» [96].

3.3.3 Объект исследования и регистрируемые параметры

В качестве объекта исследования был выбран чизельный машинно-тракторный агрегат, состоящий из трактора ДТ – 75М и чизельного плуга ОЧО-5, рисунок 3.11.



Рисунок 3.11 – Объект исследования. Работа агрегата в поле.

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»

3.3.4. 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).

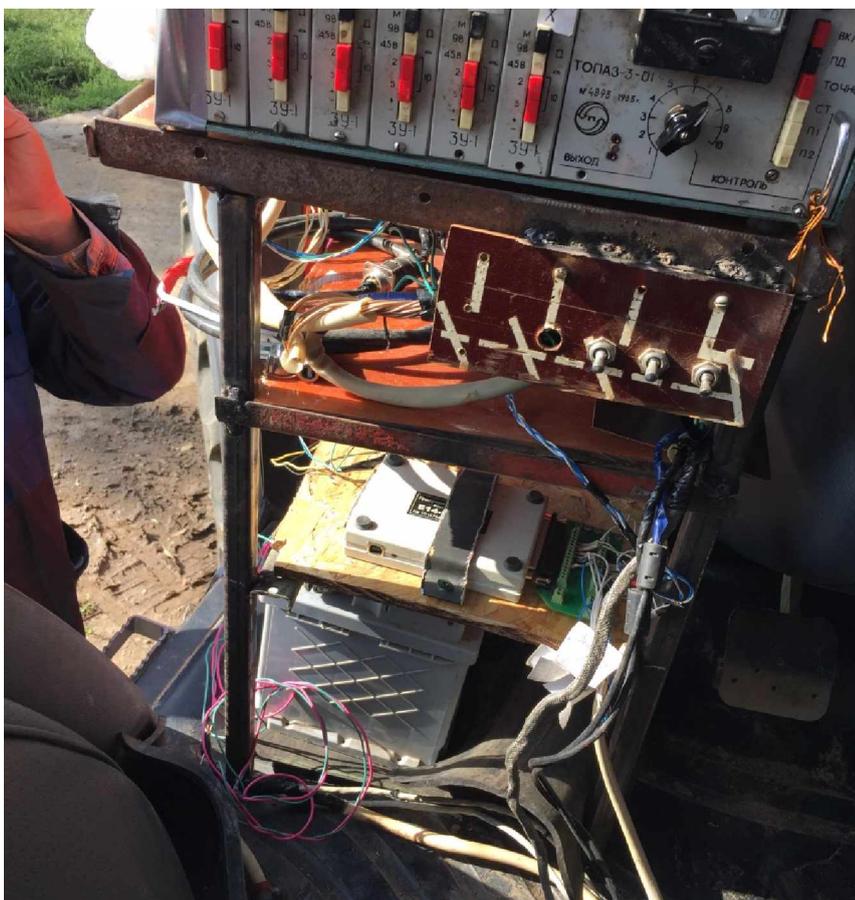


Рисунок 3.12 – Система регистрации замеряемых параметров.

Аналого-цифровой преобразователь Е 14-440М предназначен для регистрации аналоговых сигналов на переносных компьютерных устройствах. Его основной особенностью является использование цифрового процессора ADSP-2185, позволяющий производить различные трансформации входного сигнала до передачи их в компьютер. Назначение модуля заключается в трансформации входного аналогового сигнала в цифровую форму.

«Поддержку модуля Е-440 осуществляет программный продукт L-Graph, который является многоканальным осциллографом-спектроанализатором-регистратором с достаточно простым интерфейсом» [144].

«Программное обеспечение «PowerGraph» предназначено для записи, обработки и хранения аналоговых сигналов, регистрируемых с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП). ПО «PowerGraph» позволяет использовать персональный компьютер в качестве стандартных измерительных и регистрирующих приборов (вольтметры, самописцы, осциллографы, спектроанализаторы и т.д.)» [144].

«Назначение ПО «PowerGraph»:

- сбор данных с различных измерительных устройств и приборов.

- регистрация и визуализация данных в режиме реального времени.
- редактирование, математическая обработка и анализ данных.
- хранение, импорт и экспорт данных» [144].

Рабочее окно программного продукта «PowerGraph» представлено на рисунке 3.13, там же показаны осциллограммы измеряемых величин.

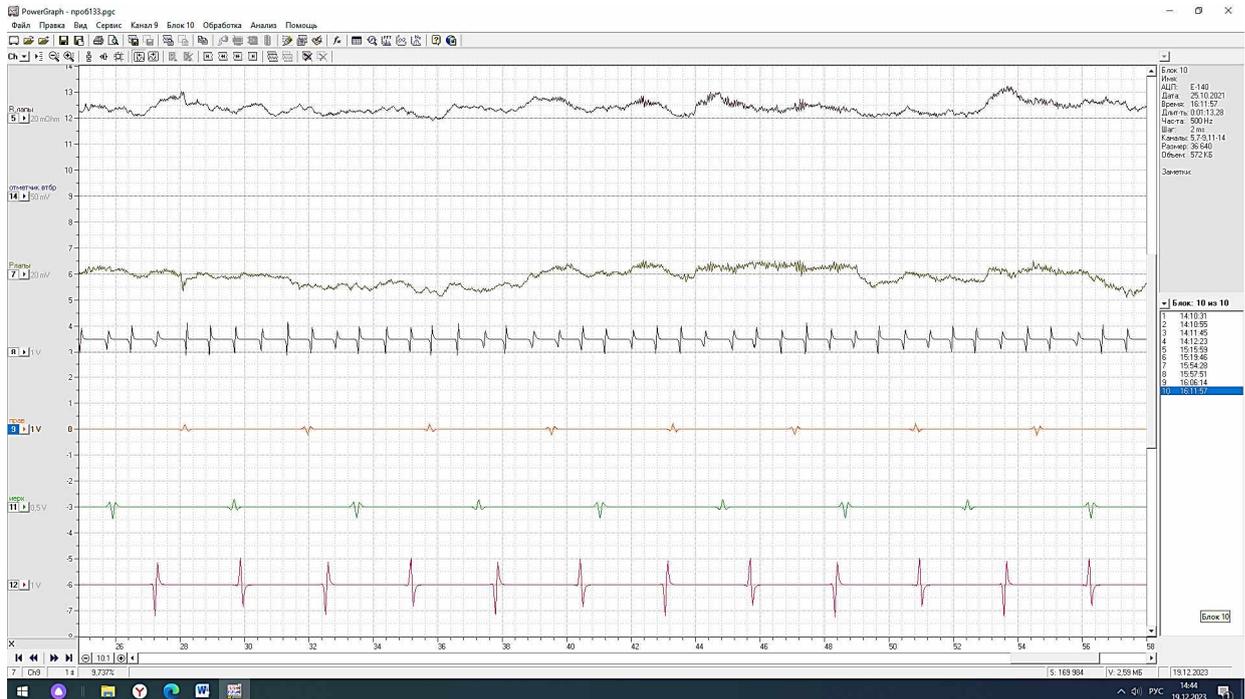


Рисунок 3.13 Фрагмент регистрируемых параметров.

ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕМУ РАЗДЕЛУ

1. Разработана программа экспериментальных исследований чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками, позволяющая оценить эффективность их применения.

2. В качестве основного материала для изготовления экспериментальных долот, был выбран высокоуглеродистый сплав ВЧ-50. Экспериментальные долота, после операций механической обработки, были подвергнуты термической обработке, состоящей из изотермической закалки, и низкого отпуска.

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 МТА в составе трактора ДТ – 75М 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 ТОПАЗ -3-01.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Тяговое сопротивление секции чизельного плуга с рабочими органами различной геометрической формы

На первом этапе экспериментальных исследований решалась задача изучения изменения тягового сопротивления секции чизельного плуга, оборудованной серийными рабочими органами, и рабочими органами, поверхность которых была получена путем вращения базовой образующей кривой, согласно рисунку 2.6, относительно продольной оси. Таким образом, экспериментальный образец чизельной секции был исполнен в четырех вариантах: 1 – серийное долото; 2 – экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;6)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$; 3 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;12)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$; 4 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;18)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$.

Экспериментальная часть была выполнена на почвенном фоне: стерня озимых культур. Влажность почвенного фона варьировалась от 8 до 16%. Изменение тягового сопротивления рабочей секции чизельного плуга изучалась в функции действительной скорости движения. Данная характеристика способна оценить не только силовую нагруженность трактора, но и динамическую составляющую тягового сопротивления.

Результаты экспериментальных исследований для различной влажности почвенного фона представлены рисунками 4.1 – 4.3.

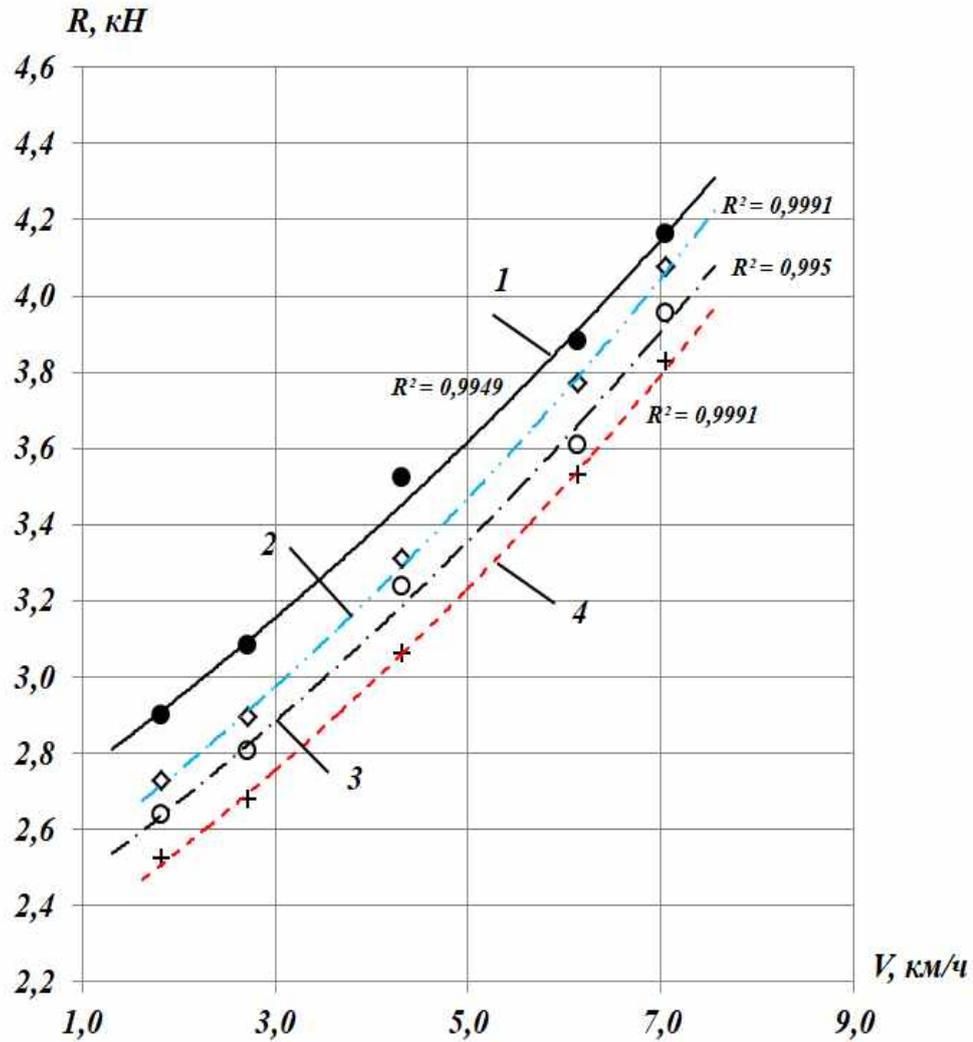


Рисунок 4.1 - Изменение тягового сопротивления чизельной стойки от скорости движения агрегата: 1 – серийное долото; 2 – экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1(0;24)$, $P_2(80;6)$, $P_3(168;24)$, $P_4(240;6)$; 3 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1(0;24)$, $P_2(80;12)$, $P_3(168;24)$, $P_4(240;6)$; 4 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1(0;24)$, $P_2(80;18)$, $P_3(168;24)$, $P_4(240;6)$. Влажность почвы 8%.

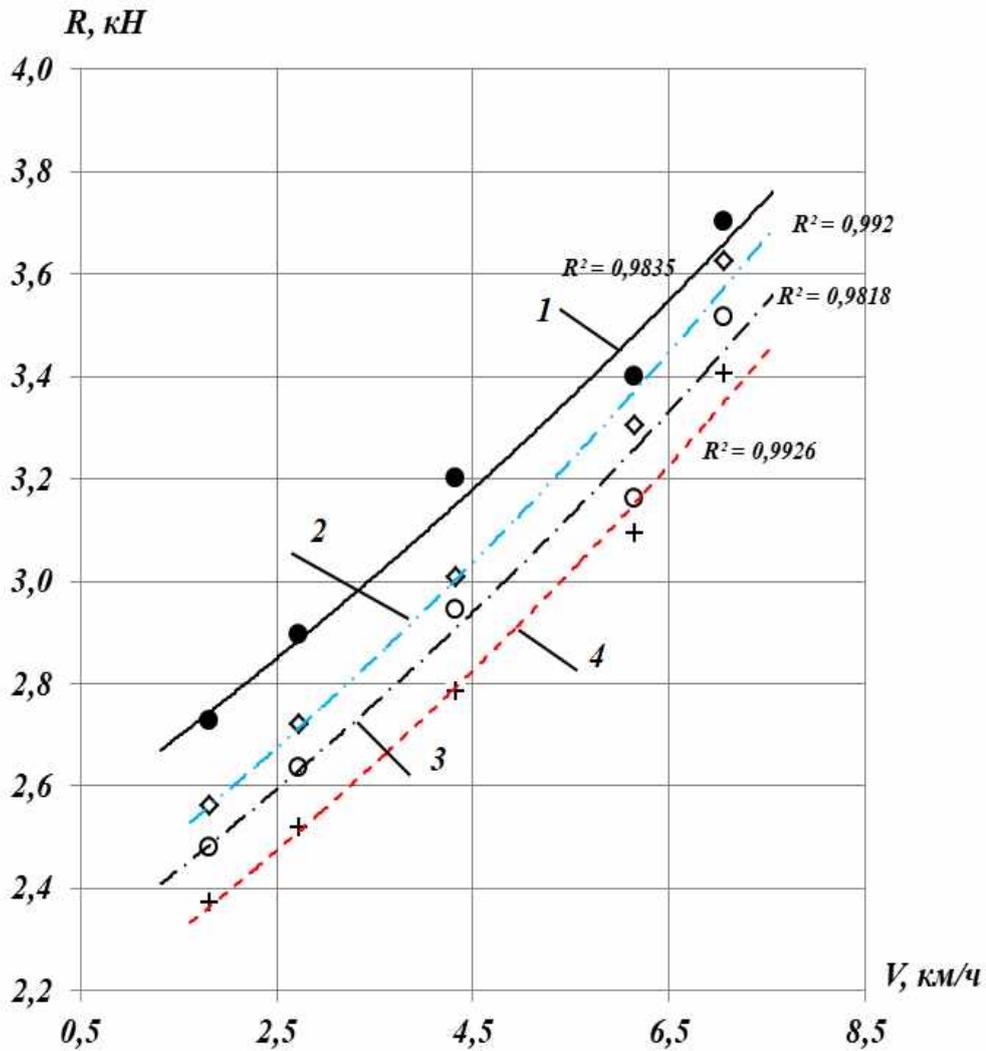


Рисунок 4.2 - Изменение тягового сопротивления чизельной стойки от скорости движения агрегата: 1 – серийное долото; 2 – экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;18), P_3 (168;24), P_4 (240;6); 3 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;12), P_3 (168;24), P_4 (240;6); 4 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;6), P_3 (168;24), P_4 (240;6). Влажность почвы 12%.

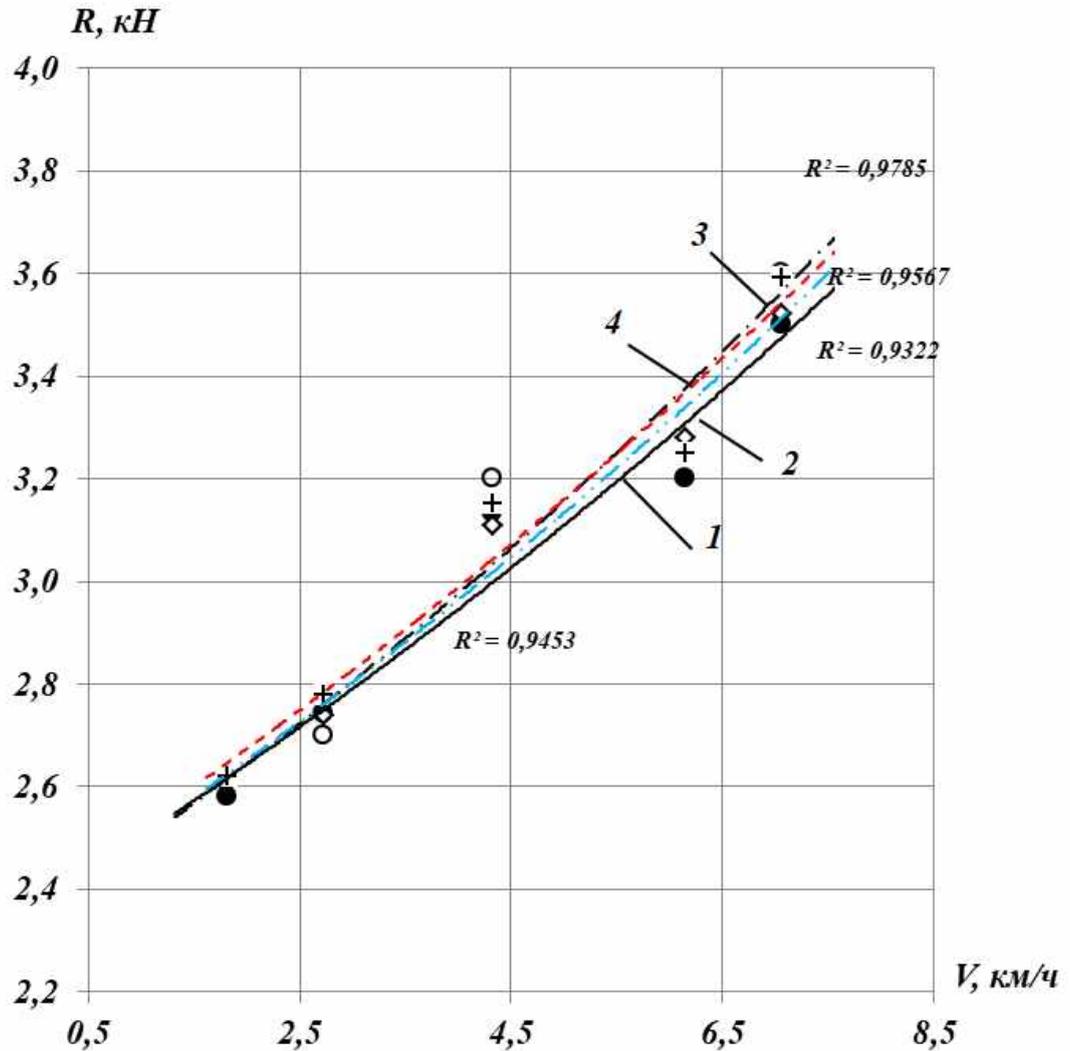


Рисунок 4.3 - Изменение тягового сопротивления чизельной стойки от скорости движения агрегата: 1 – серийное долото; 2 – экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1(0;24)$, $P_2(80;18)$, $P_3(168;24)$, $P_4(240;6)$; 3 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1(0;24)$, $P_2(80;12)$, $P_3(168;24)$, $P_4(240;6)$; 4 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1(0;24)$, $P_2(80;6)$, $P_3(168;24)$, $P_4(240;6)$.

Влажность почвы 16%.

Анализ экспериментальных данных показывает, что при увеличении рабочей скорости движения чизельного агрегата наблюдается увеличение тягового сопротивления экспериментальной секции. Рост сопротивления движению секции наблюдается как при использовании серийных долот, так и

при использовании экспериментальных долот, что свидетельствует об общем усилении динамичности процесса нагружения машинно-тракторного агрегата. Использование экспериментальных долот позволяет снизить среднее значение тягового сопротивления секции, наибольший эффект наблюдается при низких скоростях движения. По мере увеличения скорости движения эффективность экспериментальных долот снижается. Снижение тягового сопротивления за счет применения экспериментальных долот, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P_1 (0;24)$, $P_2 (80;18)$, $P_3 (168;24)$, $P_4 (240;6)$, на почвах влажностью 8-12% составило: на скоростях до 6 км/ч – 12 %; на скоростях свыше 6 км/ч – 8%. Такой эффект можно объяснить тем, что «при работе на повышенных скоростях пласт почвы, движущийся по рабочей поверхности, не успевает из-за динамической составляющей полностью повторить профиль рабочего органа, что приводит к снижению доли изгибных деформаций, связанных с растяжением почвенного пласта» [138]. Дополнительно можно отметить, что при работе на почвах влажность 16% эффективность применения экспериментальных долот полностью отсутствует. Наблюдается наоборот прирост тягового сопротивления экспериментальной секции. Данное явление можно объяснить тем, что при увеличении влажности почвы одновременно происходит рост её липкости и связности, что приводит к налипанию частиц почвы на вогнутую часть долота, рисунок 4.4. В этом случае движение почвенного пласта происходит не по сопряжению сталь - почва, а по сопряжению почва – почва, что резко увеличивает коэффициент трения трущихся поверхностей, а, следовательно, и общее тяговое сопротивление чизельной секции.



Рисунок 4.4 – Эффект налипания частиц почвы на экспериментальные рабочие органы. Влажность почвенного фона 16%.

Общую оценку эффективности применения экспериментальных рабочих органов, в зависимости от скорости движения агрегата, можно проследить по графическим зависимостям рисунков 4.5-4.7. По оси абсцисс отложена величина, характеризующая разность тягового сопротивления между серийной секции и секции, оборудованной экспериментальными рабочими органами.

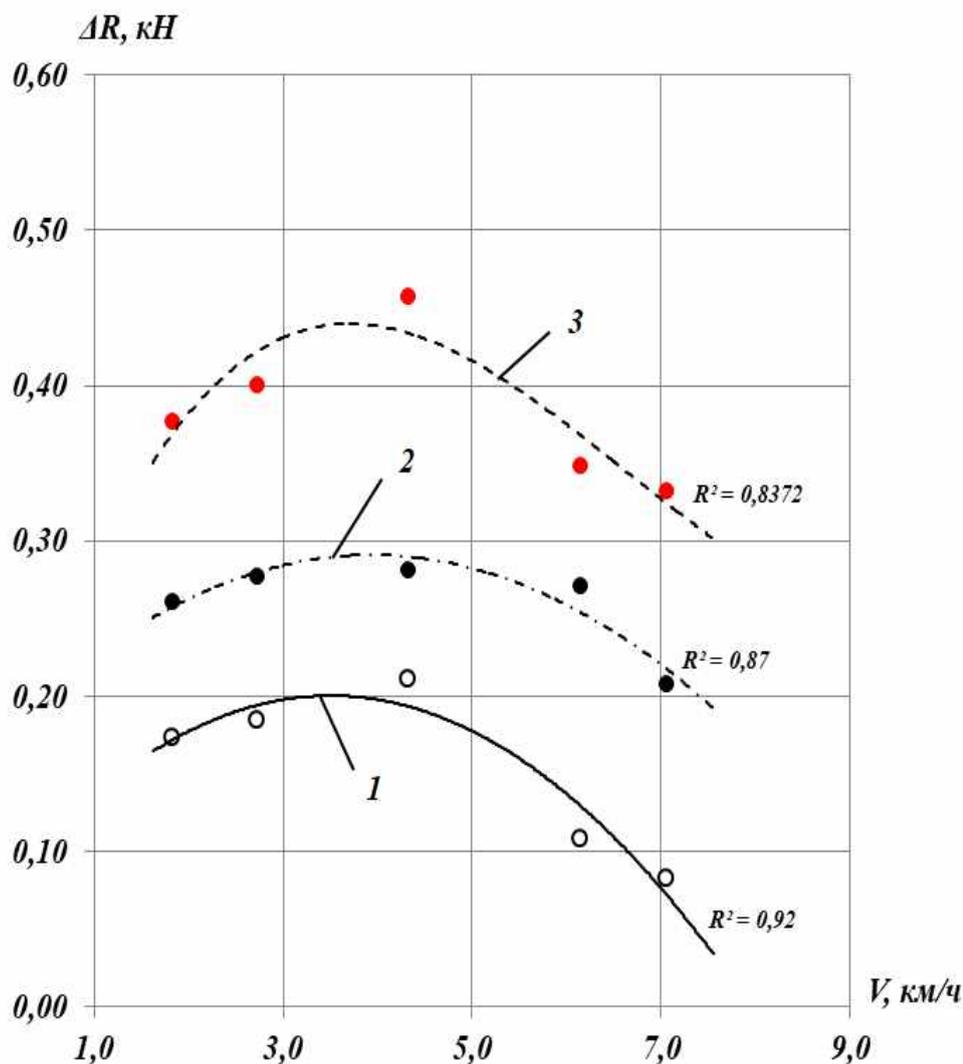


Рисунок 4.5 - Снижение тягового сопротивления экспериментальных стоек по отношению к серийной в функции скорости движения агрегата: 1 – экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P1 (0;24), P2 (80;18), P3 (168;24), P4 (240;6); 2 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P1 (0;24), P2 (80;12), P3 (168;24), P4 (240;6); 3 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P1 (0;24), P2 (80;6), P3 (168;24), P4 (240;6). Влажность почвы 8%.

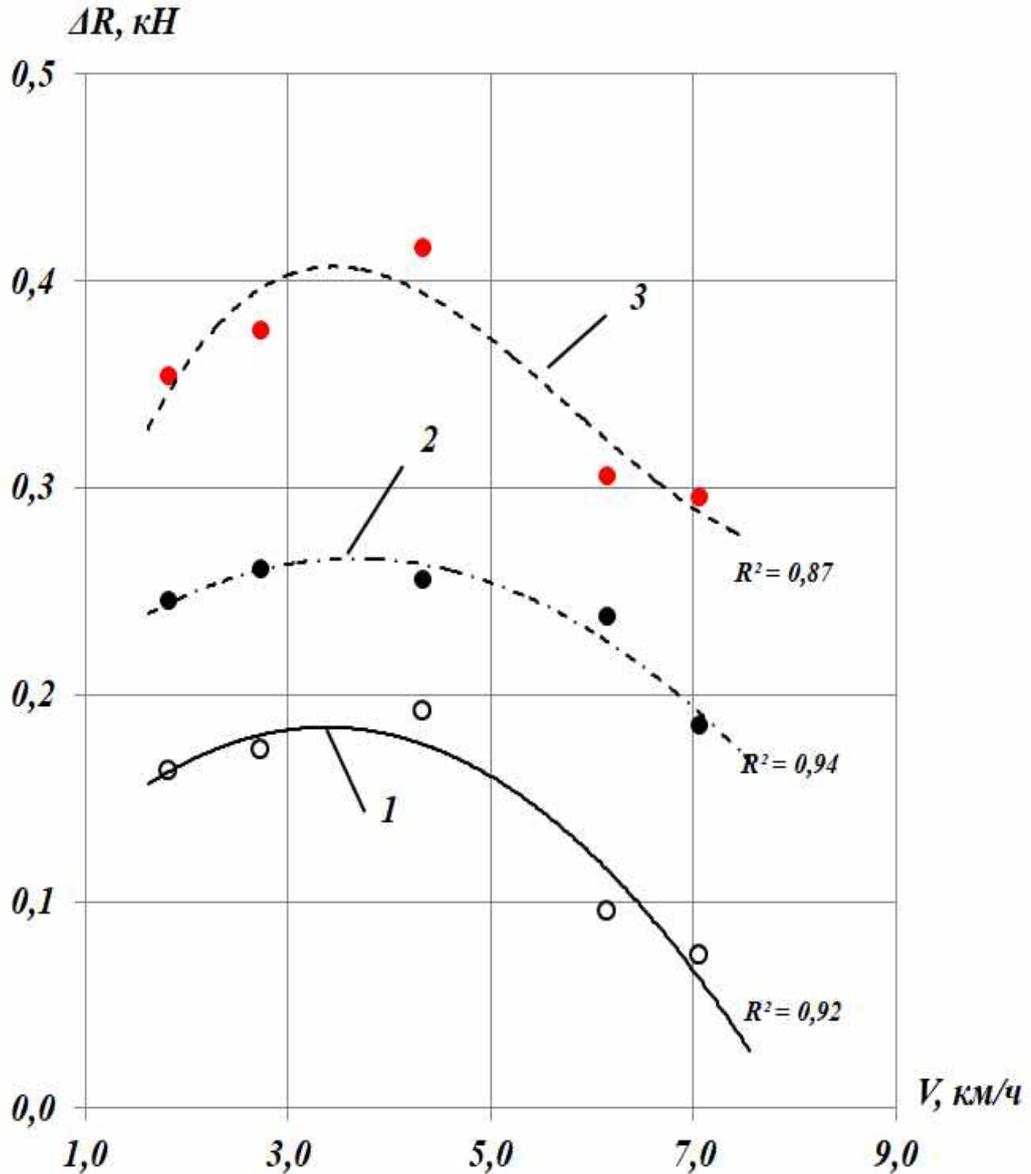


Рисунок 4.6 - Снижение тягового сопротивления экспериментальных стоек по отношению к серийной в функции скорости движения агрегата: 1 – экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;18), P_3 (168;24), P_4 (240;6); 2 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;12), P_3 (168;24), P_4 (240;6); 3 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;6), P_3 (168;24), P_4 (240;6). Влажность почвы 12%.

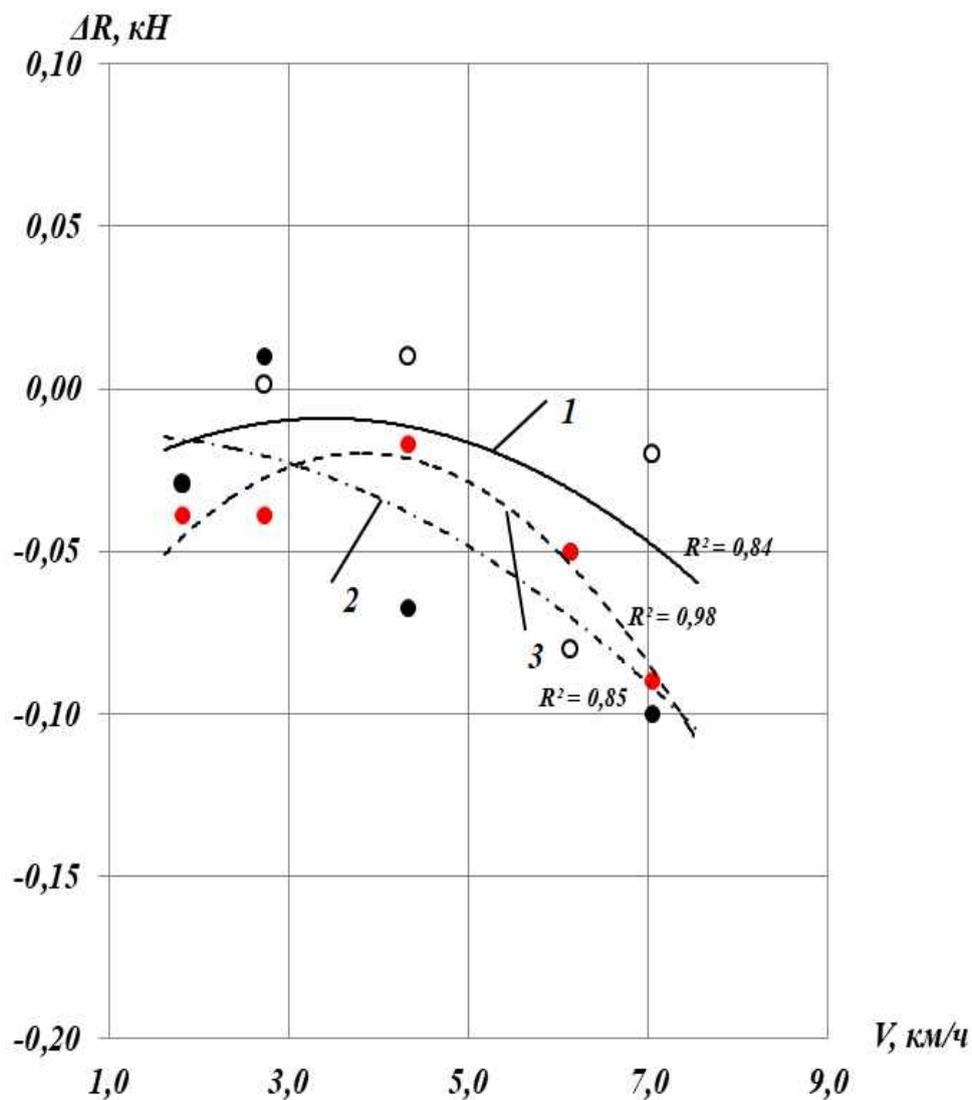


Рисунок 4.7 – Снижение тягового сопротивления экспериментальных стоек по отношению к серийной в функции скорости движения агрегата: 1 – экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;6), P_3 (168;24), P_4 (240;6); 2 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;12), P_3 (168;24), P_4 (240;6); 3 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;18), P_3 (168;24), P_4 (240;6). Влажность почвы 16%.

На рисунках 4.8 -4.9 представлены графические зависимости, характеризующие эффективность применения экспериментальных долот на почвах различной влажности.

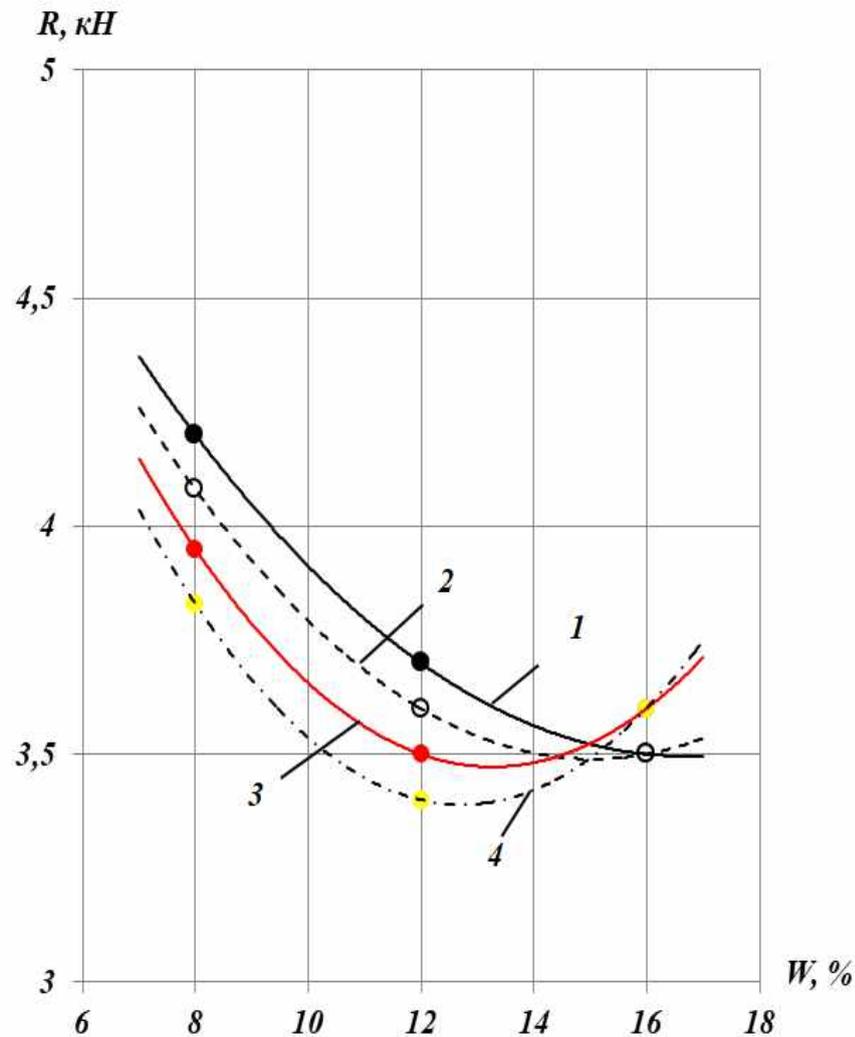


Рисунок 4.8 - Изменение тягового сопротивления чизельной стойки от влажности почвенного фона: 1 – серийное долото; 2 – экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;18), P_3 (168;24), P_4 (240;6); 3 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;12), P_3 (168;24), P_4 (240;6); 4 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами P_1 (0;24), P_2 (80;6), P_3 (168;24), P_4 (240;6).

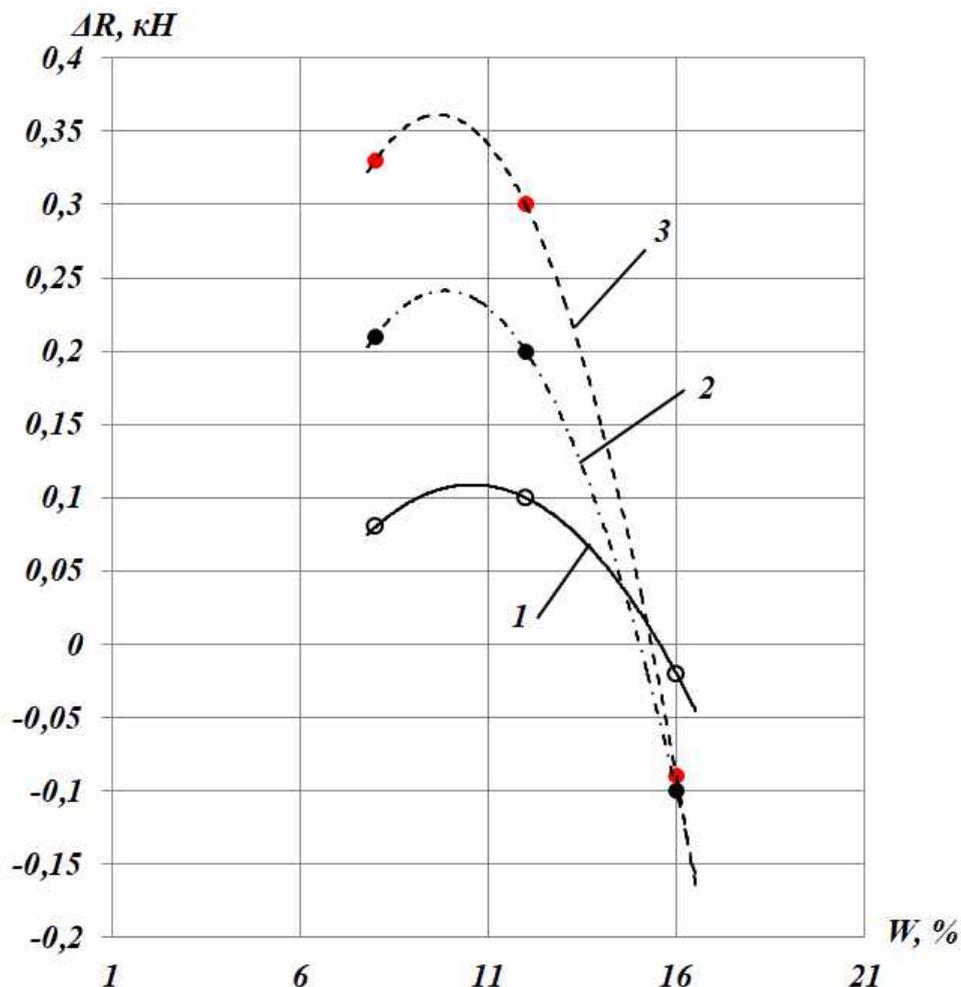


Рисунок 4.9 - Снижение тягового сопротивления экспериментальных стоек по отношению к серийной в функции влажности почвенного фона: 1 – экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P1$ (0;24), $P2$ (80;18), $P3$ (168;24), $P4$ (240;6); 2 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P1$ (0;24), $P2$ (80;12), $P3$ (168;24), $P4$ (240;6); 3 - экспериментальное долото, форма поверхности которого получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P1$ (0;24), $P2$ (80;6), $P3$ (168;24), $P4$ (240;6).

Анализ данных графических зависимостей, в целом, подтверждает выводы, сделанные нами в начале этой главы. Наиболее эффективными оказались рабочие органы, форма поверхности которых получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P1$ (0;24), $P2$ (80;6), $P3$ (168;24), $P4$ (240;6). Эффективность их применения по мере увеличения влажности почвы снижается. Можно утверждать, что использование

экспериментальных долот на почвах влажностью выше 16% не целесообразно.

4.2 Тяговое сопротивление чизельного плуга с рабочими органами различной геометрической формы

Следующая серия экспериментальных исследований направлена на изучение изменения крюкового усилия чизельного машинно-тракторного агрегата, оборудованного экспериментальными рабочими органами, по отношению к чизельному агрегату, оборудованного серийными рабочими органами. В данных исследованиях применялись экспериментальные рабочие органы, форма поверхности которых получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P1 (0;24)$, $P2 (80;12)$, $P3 (168;24)$, $P4 (240;6)$. Выбор данных экспериментальных долот был определен следующими обстоятельствами:

$\frac{3}{4}$ по сравнению с экспериментальными долотами, форма поверхности которых получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P1 (0;24)$, $P2 (80;18)$, $P3 (168;24)$, $P4 (240;6)$, выбранные долота, согласно экспериментальным данным рисунков 4.1-4.3, обладают меньшим тяговым сопротивлением;

$\frac{3}{4}$ экспериментальные долота, форма поверхности которых получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P1 (0;24)$, $P2 (80;6)$, $P3 (168;24)$, $P4 (240;6)$, не смотря на наименьшие показатели тягового сопротивления, были нами отбракованы, по причине снижения их прочностных характеристик в зоне второго крепления к стойке секции.

На рисунке 4.10 представлены результаты экспериментальных исследований крюковой нагрузки чизельного агрегата на базе трактора ДТ-75М в функции скорости движения.

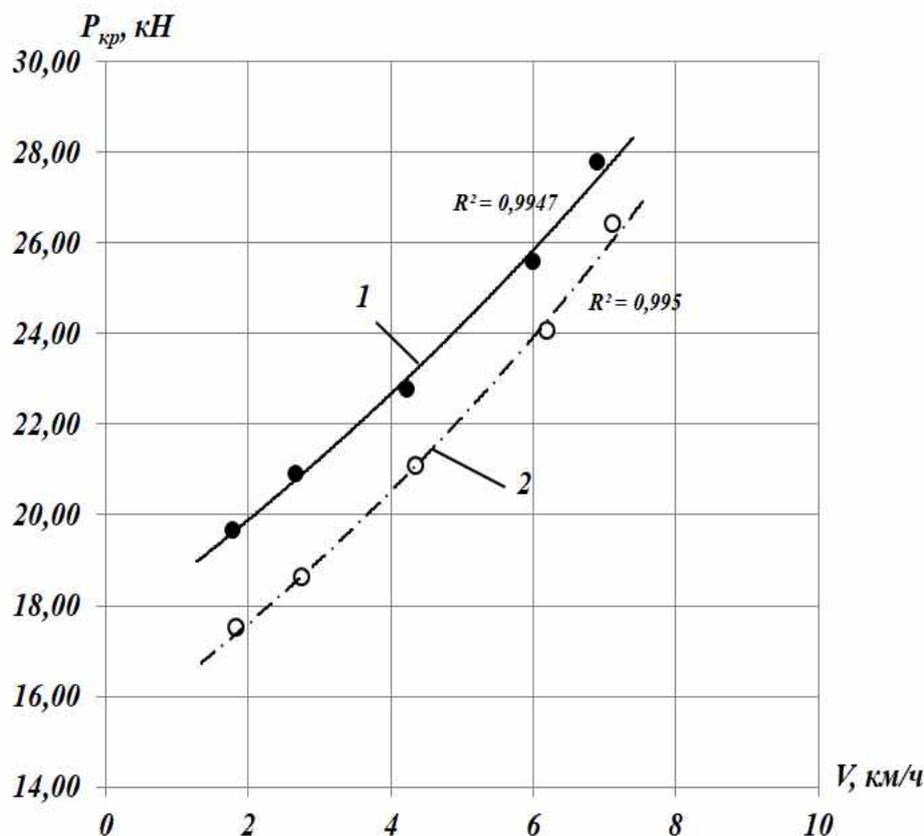


Рисунок 4.10 – Изменение тягового сопротивления чизельного агрегата в функции скорости движения: 1 – серийные рабочие органы; 2- экспериментальные рабочие органы. Влажность почвы 8%.

Анализ данных рисунка 4.10 показывает, что при увеличении скорости движения чизельного агрегата наблюдается рост крюковой нагрузки. Данный эффект характерен как для агрегата, оборудованного серийными рабочими органами, так и для экспериментального агрегата. При увеличении рабочей скорости движения агрегата, оборудованном серийными рабочими органами, от 1,78 до 6,9 км/ч значение крюковой нагрузки изменялось от 19,66 кН до 27,77 кН. В случае использования экспериментальных рабочих органов диапазон изменения крюкового усилия трактора составил от 17,49 до 26,39кН при увеличении скорости движения от 1,84 до 7,13 км/ч.

Приблизительно, аналогичный результат наблюдался при работе на почвенном фоне влажностью 12%, рисунок 4.11.

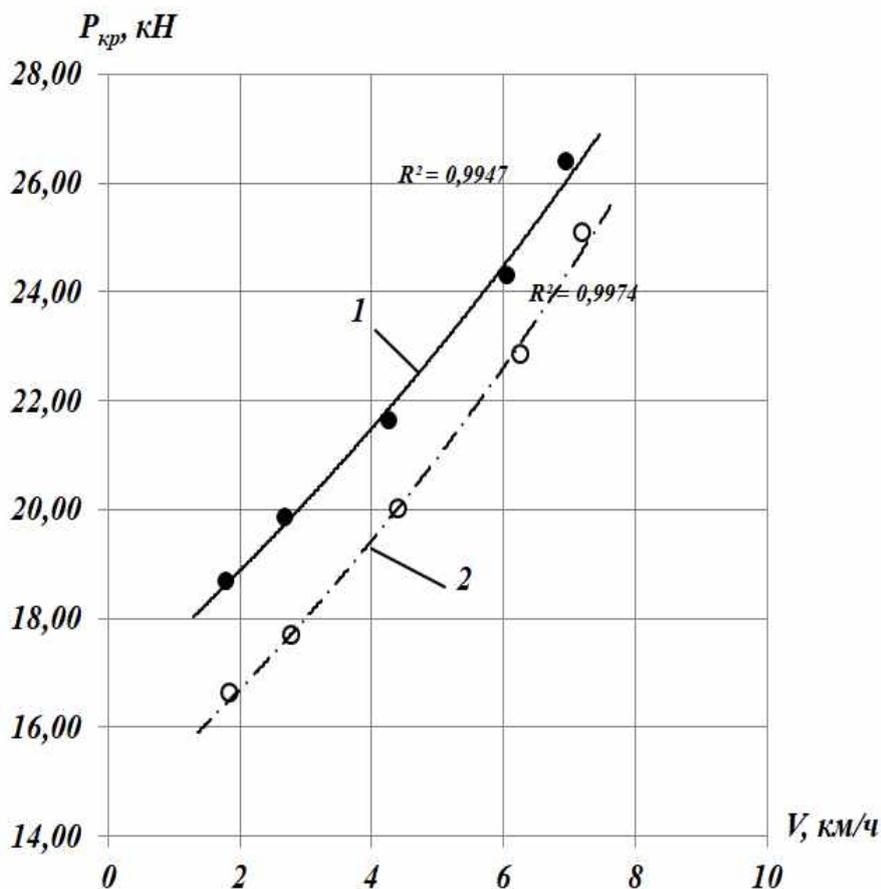


Рисунок 4.11 – Изменение тягового сопротивления чизельного агрегата в функции скорости движения: 1 – серийные рабочие органы; 2- экспериментальные рабочие органы. Влажность почвы 12%.

При увеличении рабочей скорости движения агрегата, оборудованным серийными рабочими органами, от 1,79 до 6,9 км/ч значение крюковой нагрузки изменялось от 18,67 кН до 26,38 кН. В случае использования экспериментальных рабочих органов диапазон изменения крюкового усилия трактора составил от 16,62 до 25,07 кН при увеличении скорости движения от 1,86 до 7,2 км/ч.

При работе на почвенном фоне влажностью выше 16 % эффективность применения экспериментальных рабочих органов заметно уменьшается, рисунок 4.12

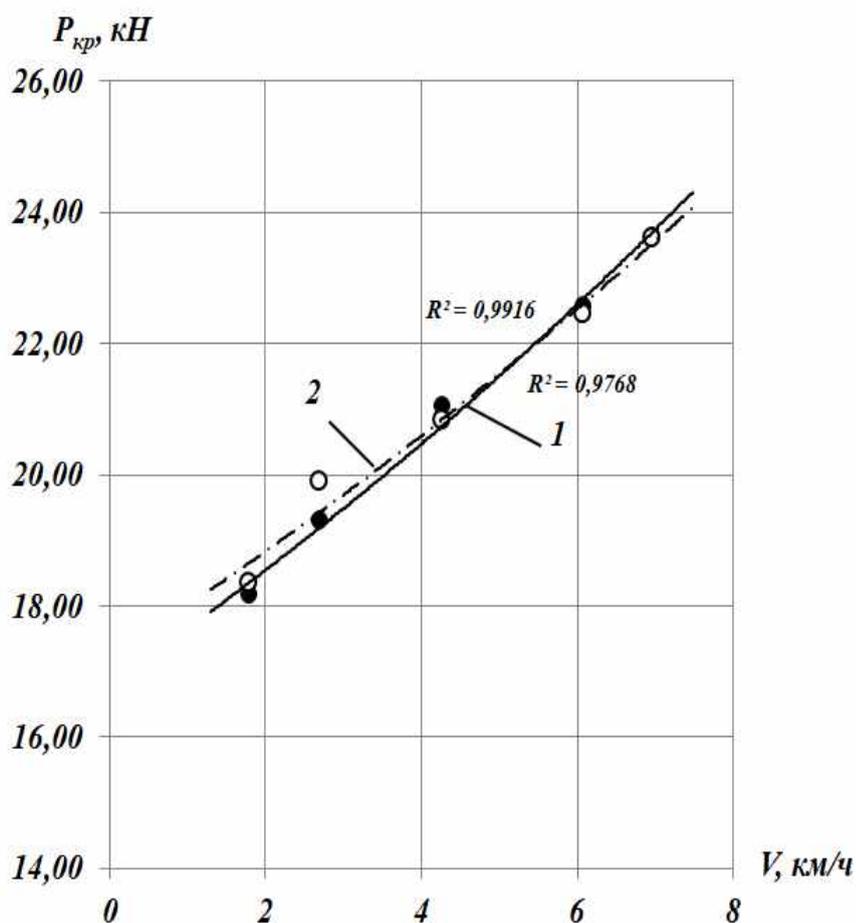


Рисунок 4.12 – Изменение тягового сопротивления чизельного агрегата в функции скорости движения: 1 – серийные рабочие органы; 2- экспериментальные рабочие органы. Влажность почвы 16%.

При увеличении рабочей скорости движения агрегата, оборудованным серийными рабочими органами, от 1,79 до 6,9 км/ч значение крюковой нагрузки изменялось от 18,67 кН до 26,38 кН. В случае использования экспериментальных рабочих органов диапазон изменения крюкового усилия трактора составил от 16,62 до 25,07 кН с ростом скорости от 1,86 до 7,2 км/ч.

Выигрыш в крюковом усилии трактора можно проследить по экспериментальным данным рисунка 4.13, здесь приведены зависимости снижения крюкового усилия трактора за счет применения экспериментальных рабочих органов в зависимости от скорости движения. Данные представлены для почвенных фонов различной влажности.

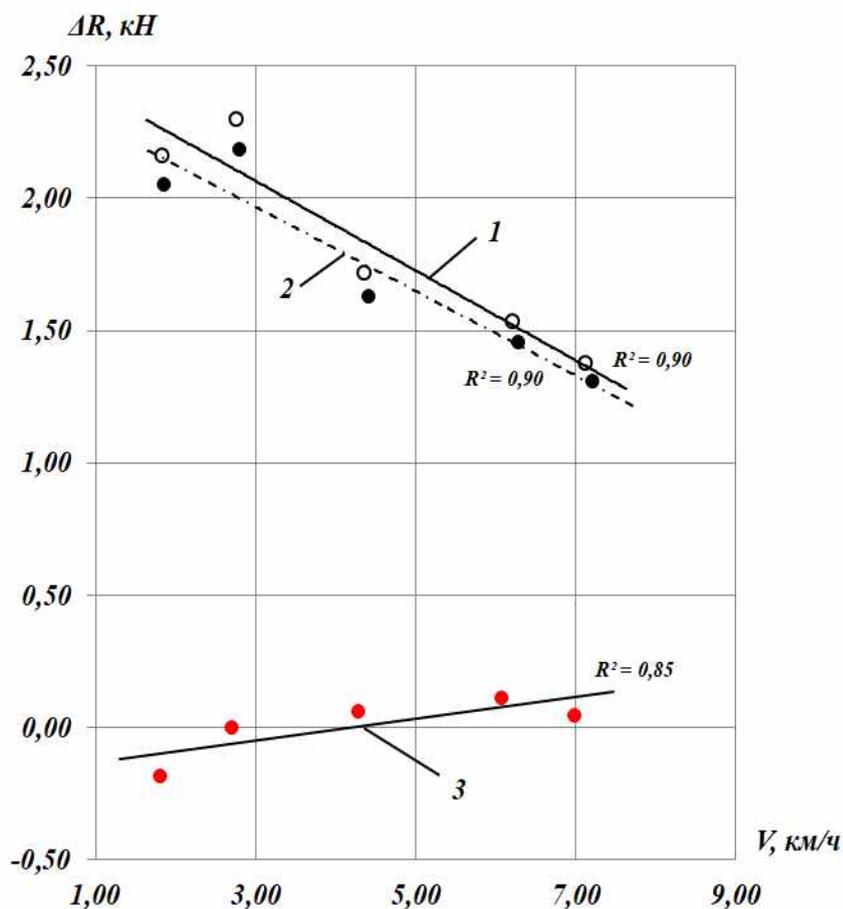


Рисунок 4.13 – Снижение тягового сопротивления чизельного агрегата за счет применения экспериментальных рабочих органов в функции скорости движения: 1 – влажность почвы 8%; 2 – влажность почвы 12%; 3 – влажность почвы 16%.

Из данных рисунка 4.13 видно, что с увеличением скорости движения эффективность применения экспериментальных рабочих органов снижается. Так при увеличении рабочей скорости движения от 1,78 до 6,9 км/ч эффективность применения экспериментальных рабочих органов снизилась с 11 до 8%, при влажности почвы 8-12%. Эффективность применения экспериментальных долот на почвенных фонах влажностью выше 16% не подтверждена, а в некоторых случаях, наоборот, наблюдается увеличение крюкового усилия трактора. Более наглядно данный результат можно проследить на рисунках 4.14, 4.15.

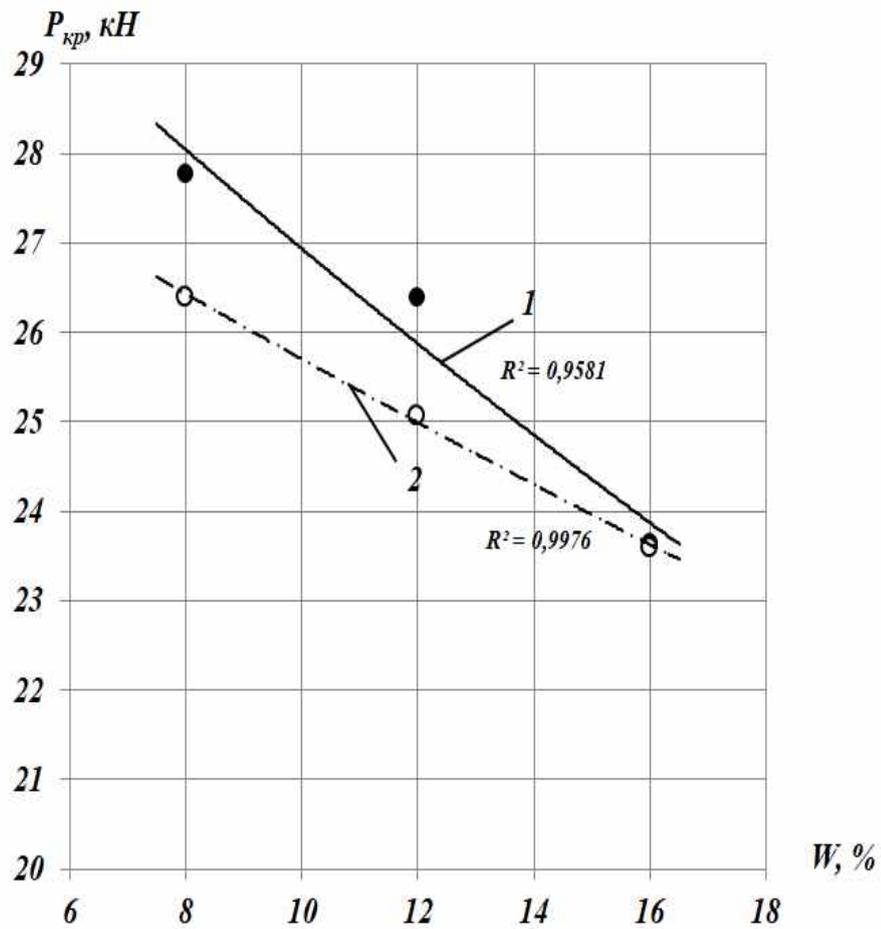


Рисунок 4.14 – Тяговое сопротивление чизельного агрегата в функции влажности почвенного фона: 1 – серийные рабочие органы; 2 – экспериментальные рабочие органы.

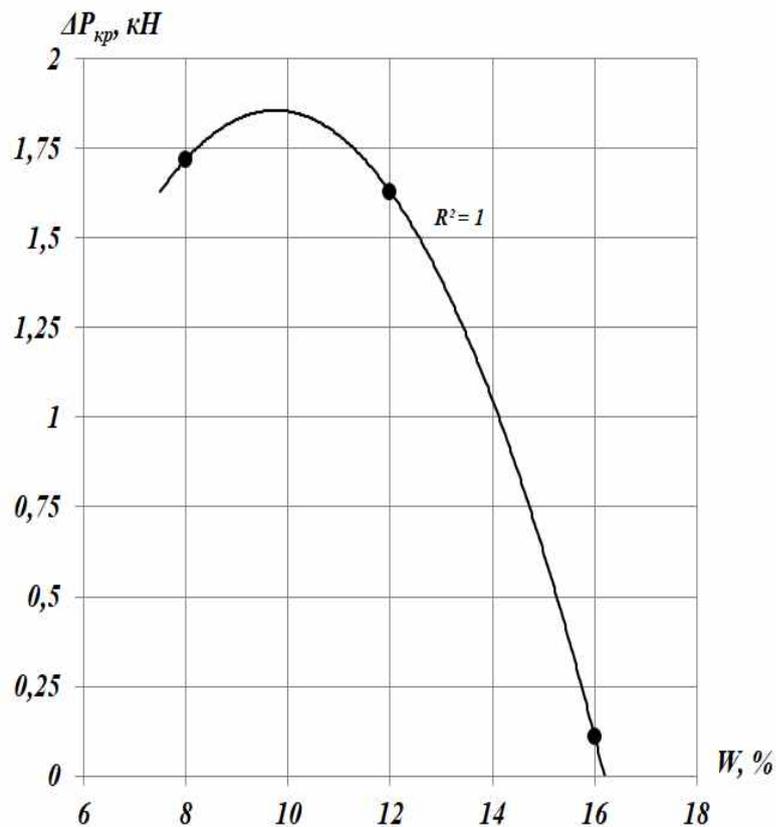


Рисунок 4.15 – Снижение тягового сопротивления чизельного агрегата за счет применения экспериментальных рабочих органов в функции влажности почвенного фона.

В целом представленный материал подтверждает наши выводы о целесообразности применения экспериментальных долот на почвенных фонах влажностью до 16%.

4.3. Производительность чизельного машинно-тракторного агрегата с экспериментальными рабочими органами

Снижение крюкового усилия благоприятно сказывается на силовой и динамической нагруженности трактора. Поэтому использование экспериментальных рабочих органов позволяет выполнять технологический процесс обработки почвы на более высоких скоростях. Рост рабочих скоростей движения позволяет увеличить производительность чизельного агрегата в целом. Расчетные графические зависимости производительности чизельного МТА на почвенных фонах различной влажности, представлены на рисунке 4.16.

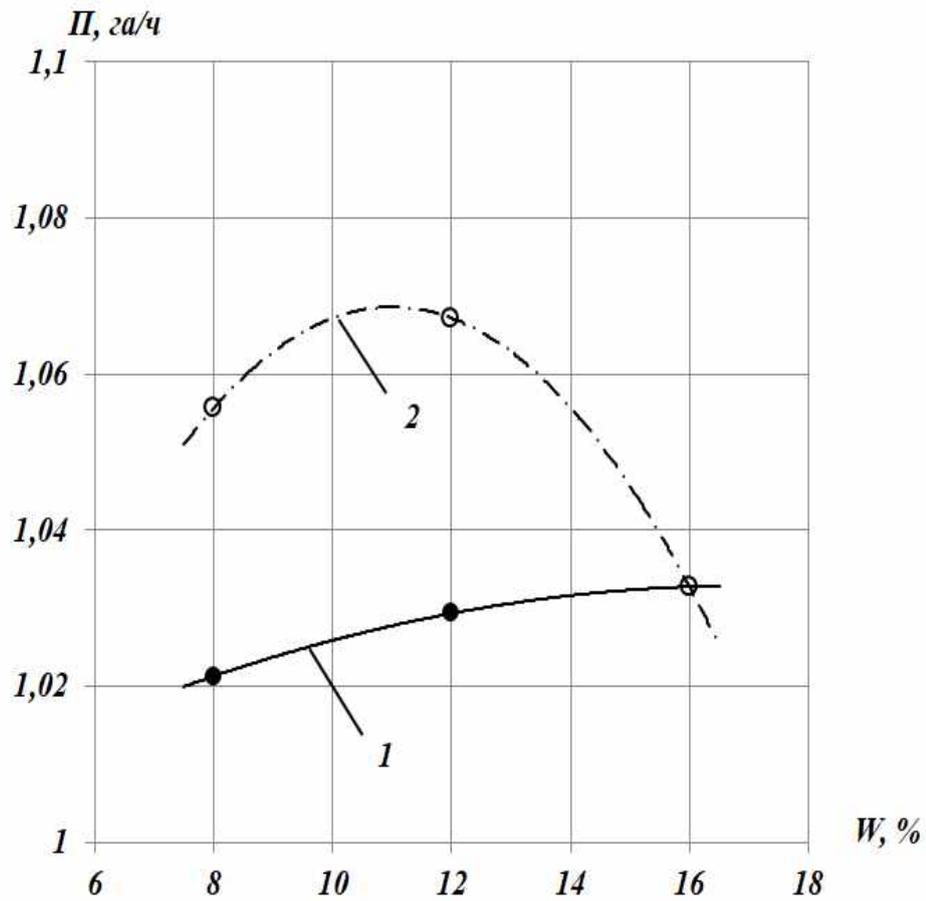


Рисунок 4.16 – Производительность чизельного агрегата в функции влажности почвенного фона: 1 – серийные рабочие органы; 2 – экспериментальные рабочие органы.

Анализ представленных зависимостей показывает, что в целом применение экспериментальных долот, на почвенных фонах влажностью до 14%, способствует увеличению производительности чизельного агрегата на 5-7% по сравнению с серийными рабочими органами.

ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОМУ РАЗДЕЛУ

1. Использование экспериментальных долот позволяет снизить среднее значение тягового сопротивления рабочей секции чизельного орудия, наибольший эффект наблюдается при скоростях движения до 4 км/ч. Снижение тягового сопротивления секции, на почвах влажностью 8-12%, составило: на скоростях до 4 км/ч – 12 %; на скоростях свыше 4 км/ч – 8%. Данный результат объясняется тем, что при скоростной почвообработке движущийся по рабочей поверхности пласт почвы из-за динамической составляющей не повторяет в полной мере профиль рабочего органа, что способствует уменьшению изгибных деформаций, которые связаны с растяжением почвенного пласта.

2. При использовании экспериментальных долот на почвах влажностью более 16% эффективность их применения несколько снижается. Данное явление можно объяснить тем, что при увеличении влажности почвы происходит рост её липкости и связности, что приводит к некоторому налипанию частиц почвы на вогнутую часть долота. В этом случае движение почвенного пласта происходит не только по сопряжению сталь - почва, а частично по сопряжению почва - почва, что увеличивает коэффициент трения и, главное, уменьшается степень изгибных деформаций пласта.

3. Наиболее эффективными являются рабочие органы, форма поверхности которых получена образующей кривой, проходящей через реперные точки с координатами $P1 (0;24)$, $P2 (80;6)$, $P3 (168;24)$, $P4 (240;6)$.

4. При использовании экспериментальных рабочих органов снижение тягового сопротивления составило 11% при работе на скоростях до 4 км/ч; 8% при работе на скоростях 4-7 км/ч.

5. Использование экспериментальных долот, на почвенных фонах влажностью до 14%, способствует увеличению производительности чизельного агрегата на 5-7% по сравнению с серийными рабочими органами. Рост производительности агрегата достигается за счет увеличения рабочих скоростей движения, что стало возможным за счет снижения крюковой нагрузки трактора.

5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЧИЗЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ С УЛУЧШЕННОЙ ФОРМОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Предлагаемая конструкция рабочих органов чизельных орудий, в виду их сложной геометрической формы, предполагает изготовление их методом литейных технологий. Технологическую цепочку получения конечной продукции можно представить следующим образом: получение литейных заготовок – механическая обработка заготовок – технологическая операция упрочнения их функциональных зон. Остановимся на каждом этапе технологического цикла более подробно.

5.1 Расчет стоимости получения заготовки долота методом литья в песчано-глинистую форму

Оценку стоимости получения заготовки долота будем определять из условия, что в качестве основного материала будет использоваться чугун марки ВЧ-50.

«Производственные затраты на производство одного изделия состоят четырех групп затрат: затраты на приобретение исходного материала; затраты на оплату труда персоналу; общие затраты на производство одной тонны литейного проката; прочие затраты.

5.1.1 Затраты на приобретение исходного материала $Z_{\text{ПИМ}}$ включают в себя стоимость шихтовых, формовочных материалов, стоимость топлива и электрической энергии, обеспечивающей технологический процесс изготовления» [66]. Подробное наименование исходных материалов приведено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – «Наименование и стоимость материалов на тонну литейного проката»

№	Наименование	Цена за 1 тонну, руб.	Количество для изготовления 1 тонны, кг.	Цена, руб.
Основные (шихтовые) затраты				
1	Чугун литейный	22 000	405	8910
2	Чугун	20 000	16	320

3	Чугун хромникелевый	25 000	5	125
4	Лом стальной (покупной)	12 000	60	720
5	Лом чугунный (покупной)	8 000	250	2000
6	Возврат собственный	-	243	-
7	Ферросилиций	60 000	20	1200
8	Ферромарганец	60 000	1	60
Итого: З _о				13 335
Вспомогательные (формовочные)				
1	Шамотный кирпич	4000	21,4	86,5
2	Шамотный порошок	2000	9,7	19,4
3	Огнеупорная глина	1500	9,7	14,55
4	Кварцевый песок	400	9,7	3,88
Итого: З _в				124,33
Затраты на топливо и энергию для технологических целей				
1	Электроэнергия, кВт/ч	4,20	120	482
2	Природный газ, м ³	5	15	75
Итого: З _э				557

Суммарные затраты $Z_{\text{ПМ}}$, руб., определяются как» [66]:

$$Z_{\text{ПМ}} = Z_0 + Z_M + Z_{\text{Э}}, \text{ руб.}, \quad (5.1)$$

«где Z_0 – затраты на основные материалы на тонну литейного проката, руб./т.

Z_M – затраты на формовочные материалы на тонну продукции, руб./т.

$Z_{\text{Э}}$ – затраты на топливо и энергию для технологических целей (выплавка металла в плавильных агрегатах, сушка форм, стержней), руб./т» [66]

$$Z_{\text{ПМ}} = 13335 + 124,33 + 557 = 14016 \text{ руб.}$$

5.1.2 Затраты на оплату труда персоналу. Данные затраты $Z_{\text{ОПЛ}}$ состоят из основной и дополнительной выплаты производственным рабочим:

$$Z_{\text{ОСН}} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot C_{\text{ч}} \cdot T_{\text{р.}}, \text{ руб.}, \quad (5.2)$$

«где 1,25 – коэффициенты премирования;

1,1 – коэффициент доплат за работу в ночное, сверхурочное время и выходные дни;

$C_{\text{ч}}$ – средняя часовая тарифная ставка производственного рабочего, руб./ч (принимается равной 100...150,00 руб./ч);

$T_{\text{р.}}$ – общая трудоемкость выпуска 1 т. продукции, ч.

Общая трудоемкость выпуска продукции по первому (жидкое литье) и второму (приготовление смесей, формовочные работы, сборка форм и их сушка, заливка форм жидким металлом, очистка отливок от формовочной земли и их термообработка, грунтовка отливок) переделам определится по формуле:

$$T_{\text{р.}} = T_{\text{р.ПЛУ}} + T_{\text{р.СМ+Ф.У.}}, \text{ ч.}, \quad (5.3)$$

где $T_{\text{р.ПЛУ}}$ – удельная трудоемкость плавильных работ, н-ч/т; принимается равной 10 н-ч/т – при плавке металла в электропечах (на 1 т.);

$T_{\text{р.СМ+Ф.У.}}$ – удельная трудоемкость смесеприготовительных, формовочных и заливочных работ, н-ч/т; принимается для средних 12.

Дополнительные выплаты учитывают оплату отпусков и определяются по формуле:

$$Z_{\text{ДОП}} = 0,12 \cdot Z_{\text{ОСН.ПР}}^{\text{IT}}, \text{ руб.}, \quad (5.4)$$

где 0,12 – коэффициент, учитывающий объем дополнительной заработной платы.

Общие расходы составят

$$Z_{\text{ОПЛ}} = Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}, \text{ руб.}, \quad (5.5)$$

Подставим значения в формулы» [66]:

$$Z_{\text{ОСН}} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 125 \cdot 22 = 3781,25 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 3781 = 453,75 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{опл}} = 3781,25 + 453,75 = 4235 \text{ руб.}$$

5.1.3 Прочие расходы. Прочие расходы связаны с отчислениями от формирования фонда заработной платы.

$$Z_{\text{пр}} = 0,33 Z_{\text{опл}}, \text{ руб.}, \quad (5.6)$$

где 0,3 – коэффициент, учитывающий объем отчислений;

$$Z_{\text{дпр}} = 0,3 \cdot (4235) = 1270,5 \text{ руб.}$$

5.1.4 «Общепроизводственные затраты. Под общепроизводственными затратами понимают:

-затраты на управление производством (оплата труда аппарата управления цехами, участками; затраты на социальное и медицинское страхование аппарата управления; затраты на служебные командировки персонала цехов и др.):

- амортизация основных средств общепроизводственного назначения; затраты на содержание, эксплуатацию и ремонт, страхование, операционную аренду основных средств, других необоротных активов общепроизводственного назначения;

- затраты на усовершенствование технологии и организации производства; затраты на отопление, освещение, водоснабжение, водоотвод и прочие затраты на содержание производственных помещений;

- затраты на обслуживание производственного процесса (оплата общепроизводственного персонала, отчисления на социальные мероприятия, медицинское страхование работников управления производством, затраты на осуществление технологического контроля за производственными процессами и качеством продукции, работ, услуг);

- затраты на охрану труда, технику безопасности и охрану окружающей среды.

Общепроизводственные затраты $Z_{\text{ОПР.НАКЛ}}$ укрупненно определяются как процент от основной заработной платы по формуле:

$$Z_{\text{ОПР}} = \% \text{ОПР} Z_{\text{прот.осн}}, \text{ руб.} \quad (5.7)$$

где % ОПР – коэффициент общепроизводственных затрат принимается 600- 700% отливки.

$$Z_{\text{ОПР}} = 27527 \text{ руб.}$$

Расчет производственной себестоимости. Калькуляция, т.е. группировка и вычисление затрат на производство, является завершением работы по определению производственной себестоимости продукции (1 тонны литья и

одной отливки)» [66]. «Расчет калькуляции производственной себестоимости 1 тонны литья приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Калькуляция производственной себестоимости 1т литья

Затраты на 1 тонну, руб.	
Наименование затрат	Цена, руб.
Прямые материальные затраты,	14016
Прямые затраты на оплату труда,	4235
Другие прямые затраты,	1270,5
Общепроизводственные затраты,	27527
Итого:	47048

Производственная себестоимость продукции, $C_{ПРД}^{1м}$:

$$C_{ПРД}^{1Г} = Z_{ПМ.Σ} + Z_{ПРОТ.Σ} + Z_{ДПР} + Z_{ОПР}, \text{ руб.}, \quad (5.8)$$

где $Z_{ПМ.Σ}$ – прямые материальные затраты, руб.;

$Z_{ПРОТ.Σ}$ – прямые затраты на оплату труда, руб.;

$Z_{ДПР}$ – другие прямые затраты, руб.;

$Z_{ОПР}$ – общепроизводственные затраты, руб.

Производственная себестоимость одного долота составит:

$$C_{ПРД}^{1ОТЛ} = m_{ОТЛ} \times C_{ПРД}^{1Г} / 1000, \text{ руб.} \quad (5.9)$$

где $m_{отл}$ – масса отливки, кг.;

$C_{ПРД}^{1Г} / 1000$ – производственная себестоимость 1 кг литья, руб.» [66]

$$C_{ПРД}^{1ОТЛ} = 2,6 \times 47048 / 1000 = 122,32 \text{ руб.}$$

5.2 «Расчет себестоимости механической обработки долот, получаемых из стали 65Г

Расчет себестоимости механической обработки долот» [66] из стали 65Г включает следующие этапы:

1. Расчет материальных затрат, включающий стоимость «листа толщиной 25 мм стали 65Г размером 1500×5000» [66] (60000 рублей за 1 лист) и дополнительные затраты на катоды, сопла, амортизацию оборудования и электроэнергию.

2. Расчет затрат на основную заработную плату и накладные расходы механической обработки, включая «часовую тарифную ставку станочника-сдельщика, штучно-калькуляционное время выполнения операции и коэффициенты, учитывающие дополнительную заработную плату и страховые сборы» [66].

3. «Расчет себестоимости термической обработки долот, определяемой заработной платой производственных рабочих на упрочнение и накладными расходами на упрочнение» [66].

Итоговая себестоимость механической обработки долот из стали 65Г будет включать все вышеуказанные затраты и расходы, исходя из конкретных значений, указанных в таблице 5.3 и формулах (5.10) - (5.21).

«Примерная стоимость одной заготовки без механической обработки 120 рублей.

Разрезка листа на заготовки и резка скоса.

Таблица 5.3 – Расчет материальных затрат

	Наименование	Цена, руб.
	Лист 65Г/25 1500×5000 (за 1 лист)	60000

Продолжение таблицы 5.3

Итого: $Z_{OM.1 П}^{IT}$		60000
Вспомогательные		
	Стоимость катода 1 шт.	82 руб./шт.
	Стоимость сопла 1 шт.	90 руб./шт.
	Амортизация аппарата (1 час) приведенная к 1 метру.	0,42 руб./м
	Амортизация плазмотрона приведенная к 1 метру.	0,86 руб./м
Итого: $Z_{OM.2 П}^{IM}$		8,64 руб./м
Затраты на топливо и энергию для технологических целей		
	Электроэнергия, кВт/ч приведенная к 1 метру.	1,77 руб./м.
Итого: $Z_{ТЭНС}$		1,77 руб./м.

Расходы на 1 метр разрезаемого материала составляют» [131]:

$$S_{ЗАТР} = \frac{S_{КАТ}}{L} + \frac{S_{СОПЛ.}}{L} + S_{АМОРТ.М.} + S_{ПЛАЗМ.М.} + S_{ЭЛ.М.}, \text{ руб.}, \quad (5.10)$$

«где $S_{КАТ}$ – стоимость катода (82 руб./шт.)

$S_{СОПЛ.}$ – стоимость сопла (90 руб./шт.)

$S_{АМОРТ.М.}$ – амортизация аппарата приведенная к 1 метру реза (0,42руб./м)

$S_{ПЛАЗМ.М.}$ – амортизация плазматрона, приведенная к 1 метру реза (0,86 руб./м)

$S_{ЭЛ.М.}$ – стоимость электроэнергии, приведенная к одному метру реза (1,77 руб./м).

Амортизация оборудования в час при односменной 8-ми часовой работе будет равна» [131]:

$$S_{ОБОРУДОВ} = S_{АППАРАТА} / P \cdot N \cdot T, \text{ руб./час}, \quad (5.11)$$

$$S_{ОБОРУДОВ} = 116100 / 10 \cdot 250 \cdot 8 = 5,8 \text{ руб./час}$$

«где $S_{ОБОРУДОВ.}$ - цена оборудования плазменной резки, руб.

P – ресурс оборудования в годах,

N – количество рабочих дней в году,

T – количество рабочих часов в день.

Амортизация оборудования, приведенная к одному метру, составит» [131]:

$$S_{АМОРТ.} = S_{ОБОРУДОВАНИЯ} / L_{ПРИВ.}, \text{ руб./метр}, \quad (5.12)$$

$$S_{АМОРТ.} = 5,8 / 13,5 = 0,42 \text{ руб./метр.}$$

« $L_{ПРИВ.}$ - приведенная длина реза за 1 час при скорости резки $V=45\text{м/ч}$.

Q - коэффициент использования рабочего времени резчиком $Q=30\%$ (чистое время резки) » [131]:

$$L_{ПРИВЕД.} = n \cdot x \cdot Q, \text{ м/ч.}, \quad (5.13)$$

$$L_{ПРИВЕД.} = 45 \cdot 30\% = 13,5 \text{ м/ч.}$$

«Время гарантированной (непрерывной) работы плазматрона (резака) составляет 1360 часов (время, когда горит дуга), стоимость плазматрона 16000 рублей» [131].

«Следовательно, амортизация плазматрона в час составит:

$$S_{ПЛАЗМ.} = 16000 / 1360 = 11,7 \text{ руб./час.}$$

Амортизация плазматрона, приведенная к одному метру реза, составит» [131]:

$$S_{\text{ПЛАЗМ.М}} = S_{\text{ПЛАЗМ}} / L_{\text{ПРИВЕД.}} = 11,7 / 13,5 = 0,86 \text{ руб./м.}$$

Потребление электроэнергии.

«Максимальная потребляемая мощность 30 кВт. Оборудование работает 30% времени на полной мощности в 30 кВт, в оставшееся время, работает на холостом ходу 5%. Поэтому коэффициент использования электроэнергии составит 35%:

$$S_{\text{эл.}} = 30 \text{ кВт} \times S_{\text{ЭЛ.}} \times h = 30 \times 4,20 \times 0,35 / 13,5 = 3,26 \text{ руб./м}^2$$

где $S_{\text{ЭЛ}}$ - стоимость электроэнергии (руб.),

h - коэффициент использования электроэнергии» [66].

«Итого себестоимость 1 метра плазменной резки:

$$S_{\text{ЗАТР.}} = \frac{S_{\text{НАТ}}}{L} + \frac{S_{\text{СОПЛ}}}{L} + S_{\text{АМОРТ.М}} + S_{\text{ПЛАЗМ.М}} + S_{\text{ЭЛ.М}}, \text{ руб./метр} \quad (5.14)$$

$$S_{\text{ЗАТР.}} = \frac{82}{40} + \frac{90}{40} + 0,42 + 0,86 + 3,26 = 8,64 \text{ руб./метр}$$

где $S_{\text{кат}}$ – стоимость катода,

$S_{\text{сопл}}$ – стоимость сопла,

L – длина реза одним катодом (40 метров).

Стоимость вырезки одной заготовки составит» [131]:

$$S_{\text{ЗАГОТ}} = 2,24 \times 8,64 = 19,35 \text{ руб.}$$

5.3 «Расчет себестоимости механической обработки долот (сверление, нарезание резьбы)

$$C_o = C_3 (e \times k \times y + H / 100), \text{ руб.}, \quad (5.15)$$

где C_o – себестоимость обработки операции обработки единицы продукции, руб.

C_3 – основная заработная плата рабочего станочника-сдельщика за выполнение операции обработки одного изделия.

$$C_3 = C_{\text{ТФ}} \times T_{\text{Ш-К}} / 60, \text{ руб.}, \quad (5.16)$$

где $C_{\text{ТФ}}$ – часовая тарифная ставка станочника-сдельщика, соответствующего разряда, руб./час.

$T_{\text{Ш-К}}$ – штучно-калькуляционное время выполнения операции обработки одного изделия, мин.

ε – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату и страховые сборы.

$$e = K_D \cdot K_C \quad (5.17)$$

где K_D – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату, равную 14...20% от основной заработной платы, т.е. $K_D=1,14...1,20$.

K_C – коэффициент, учитывающий страховые сборы равный 30% от основной заработной платы.

k – коэффициент, учитывающий заработную плату наладчика (если наладка станка выполняется самим рабочим, то $k=1$)

u – коэффициент, учитывающий оплату рабочего при многосменном обслуживании $u=1$ [66].

H -накладные расходы ($H=400\%$)

$$T_{ш} = 0,52 \times D \times l \times 10^{-3} j k, \quad (5.18)$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности;

l – длина обрабатываемой поверхности.

$j k$ – коэффициент, учитывающий вспомогательное и дополнительное время. Для сверлильной операции $j k = 1,3$.

Первый проход сверлом $\varnothing 6$ мм:

$$T_{ш1С} = 0,52 \times 6 \times 25 \times 10^{-3} \times 1,3 = 1,01 \text{ мин.}$$

Второй проход сверлом $\varnothing 10,5$ мм:

$$T_{ш2С} = 0,52 \times 10,5 \times 25 \times 10^{-3} \times 1,3 = 1,77 \text{ мин.}$$

Трудоемкость операции нарезание резьбы М12. Первый проход метчиком №1,

$$T_{ш1} = 0,52 \times 1 \times 25 \times 10^{-3} \times 1,3 = 0,17 \text{ мин.}$$

Второй проход метчиком №2,

$$T_{ш2} = 0,52 \times 1 \times 25 \times 10^{-3} \times 1,3 = 0,17 \text{ мин.}$$

Общее время на сверление отверстия и нарезание резьбы» [66]:

$$T_{ш} = T_{ш1} + T_{ш2} + T_{ш1С} + T_{ш2С}, \text{ мин.} \quad (5.19)$$

$$T_{III} = 1,01 + 1,77 + 0,17 + 0,17 = 3,12 \text{ мин.}$$

Подставим значения в формулы:

$$C_3 = 100 \times 9,36 / 60 = 15,6 \text{ руб.}$$

$$C_o = 15,6(1,56 \times 1 \times 1 + 400 / 100) = 62,64 \text{ руб.}$$

«(стоимость механической обработки 3 отверстий).

Стоимость ВЧ 50 (заготовка + механическая обработка) составит:

$$S_1 = 122,32 + 62,64 = 184,96 \text{ рублей.}$$

Стоимость 65Г (заготовка + механическая обработка) составит» [66]:

$$S_2 = 120 + 62,64 + 19,35 = 201,99 \text{ рублей.}$$

5.4 «Расчет себестоимости термической обработки долот

Стоимость упрочнения определяется по выражению [66]:

$$C_y = 3П_y + H_y, \text{ руб.}, \quad (5.20)$$

где $3П_y$ - заработная плата производственных рабочих на упрочнение рабочего органа, р.; H_y - накладные расходы на упрочнение рабочих органов, р.

Заработная плата производственных рабочих определяется по выражению [66]:

$$3П_y = 3П_o + 3П_d + ЕСН, \text{ руб.}, \quad (5.21)$$

где $3П_o$ - основная заработная плата, р.; $3П_d$ - дополнительная заработная плата, р.; ЕСН – единый социальный налог, равный 26% от ($3П_o + 3П_d$), р.

Основная заработная плата производственных рабочих рассчитывается по формуле:

$$3П_o = T_{yII} \times C_q \times K_o, \quad (5.22)$$

где T_{yII} - трудоемкость упрочнения рабочего органа, чел-ч.; C_q - средняя часовая тарифная ставка производственных рабочих при изготовлении или уп-

рочнении рабочего органа, р./ч.; K_O - коэффициент, учитывающий доплату за сверхурочную и другую работу, $K_O = 1,025...1,030$ [66].

Дополнительная заработная плата определяется из выражения:

$$ЗП_{Д} = ЗП_{О} \cdot K_{Д}, \quad (5.23)$$

где $K_{Д}$ - коэффициент дополнительной оплаты, $K_{Д} = 0,07$.

Накладные расходы включают прочие расходы на производство продукции, а также затраты на организацию и управление производством (амортизация зданий и оборудования, затраты на охрану труда и др.). Они определяются из выражения [66]:

$$H = 200\% \text{ от } (ЗП + П_{Д}), \text{ руб.}, \quad (5.24)$$

Объемная закалка с отпуском. Упрочнение серийного долота сталь 65Г» [131]:

$$ЗП_{О} = 0,2 \cdot 120 \cdot 1,03 = 24,72 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{Д} = 24,72 \cdot 0,07 = 1,73 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{У} = 24,72 + 1,73 + 6,87 = 33,32 \text{ руб.}$$

$$H = 200\% (24,72 + 1,73) = 52,9 \text{ руб.}$$

$$C_{У} = 33,32 + 52,9 = 86,22 \text{ , руб.}$$

«Ступенчатая закалка с отпуском. Упрочнение опытного долота ВЧ50.

$$ЗП_{О} = 0,22 \cdot 120 \cdot 1,03 = 27,19 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{Д} = 27,19 \cdot 0,07 = 1,9 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{У} = 27,19 + 1,9 + 7,56 = 37,36 \text{ руб.},$$

$$H = 200 / 100 (27,19 + 1,9) = 58,18 \text{ руб.}$$

$$C_{У} = 37,36 + 58,18 = 95,54, \text{ руб.},$$

Общая себестоимость долот будет:

$$C_{ДОЛОТА} = S_{ЗАГОТ.} + C_{О} + C_{У}, \text{ руб.},$$

Для долота из стали 65Г:

$$C_{ДОЛОТА} = 120 + 62,64 + 19,35 + 86,22 = 288,21 \text{ руб.}$$

Для долота из ВЧ50» [66]:

$$C_{ДОЛОТА} = 122,32 + 62,64 + 95,54 = 280,5 \text{ руб.}$$

5.5 «Технико-экономическая оценка эффективности применения чугунных рабочих органов чизельного орудия

Исходные и расчетные данные представлены в таблице 5.4:

Таблица 5.4

Исходные и расчетные данные, в ценах 2023 года.

№	Показатели	Усл. об.	Ед. изм.	МТА	
				ДТ 75М + ОЧО – 5 Ранчо (с серийными долотами)	ДТ 75М + ОЧО – 5 Ранчо (с экспериментальными долотами)
1	Стоимость агрегата, указанная по балансу	$C_{бэ}$	руб.	4090000	4088000
2	Амортизационные отчисления на трактор	$a_{ар.о}$	%	15	15
3	Норматив годовой загрузки на 1 МТА	$T_{гэ}$	ч	400	400
4	Тарифные ставки рабочего персонала	$f_{мех}$	руб/ч	195	195
5	Надбавка к заработной плате	$\mu_{мех}$	-	1,38	1,38
6	Почасовая потребность агрегата в диз. топливе	G_T	кг/ч	15	15
7	Стоимость ГСМ	C_k	руб/кг	49,2	49,2
8	Производительность	W_0	га/ч	1,021	1,059
9	Скоростные режимы работы МТА	V	км/ч	6,01	6,23
10	Коэффициент использования времени смены	τ	-	0,75	0,75
11	Параметр учитывающий транспортно-заготовительные расходы	m	-	1,1	1,1
12	Общие затраты на обработку 1 га	C_3	руб./га	4248,1	4098,4
13	Год. эконом. эффект	\mathcal{E}	руб	-	59880
14	Снижение экспл. расходов	ΔC	руб/га	-	149,7
15	Погектарный расход топлива	$q_{га}$	кг/га	14,69	14,16
16	Прямые энергетические затраты	$E_{п}$	МДж/га	775,63	747,64
17	Снижение энергетических затрат	ΔE	МДж/га	-	27,99

«Общие финансовые издержки произведённой работы (в расчёте на единицу объёма) рассчитываются по следующему выражению [96]:

$$C_3 = C_T + C_{3П} + C_{AO} + C_{КР} + C_{ТР}; \quad (5.25)$$

где C_3 – совокупность финансовых затрат на 1 га; C_T – затраты на ТСМ; $C_{3П}$ – денежные расходы на з/п; C_{AO} – затраты на амортизацию (ТО, ремонт); $C_{КР}$ – отчисления на кап. рем.; $C_{ТР}$ – отчисления на тек. рем.;

Затраты на ГСМ:

$$C_T = \frac{G_T}{W_0} Ц_K \quad (5.26)$$

Финансовые расходы на з/п сотрудникам:

$$C_{3П} = \frac{m_{\text{мех}} f_{\text{мех}} \mu_{\text{мех}}}{W_0} \quad (5.27)$$

Финансовые расходы на амортизацию – ТО и ремонт:

$$C_{AO} + C_{КР} + C_{ТР} = \frac{Ц_{бэ} m (a_{ap.o} + r + h)}{W_0 T_{гэ}} \quad (5.28)$$

где $r=0,05$, $h=0,11$ нормативы покрытия расходов на ремонты (КР, ТР)

Часовая производительность МТА:

$$W_0 = 0.1BV\tau \quad (5.29)$$

Приведенные затраты для МТА:

$$C_{ПР} = C_3 + E_H + K_{уд} \quad (5.30)$$

где $E_H = 0,15$ коэффициент эффективности капиталовложений.

Удельные капиталовложения вычисляем по выражению:

$$K_{уд} = \frac{m Ц_{бэ}}{T_{гэ} W_0} \quad (5.31)$$

Ежегодную экономическую эффективность, определили по выражению» [96]:

$$\mathcal{E}_r = (C_{пр}^{m.б} - C_{пр}^m) W_0 T_{гэ} \quad (5.32)$$

Расчеты по данному алгоритму показали, что применение чизельного плуга, оборудованного рабочими органами, поверхность которых получена методами параболической интерполяции, позволяет получить снижение эксплуатационных расходов на 149,7 рублей с одного гектара обработки.

При этом погектарный расход топлива составит:

серийный вариант $q_{га1} = G_T/W_0 = 15/1,021 = 14,69$ кг/га

экспериментальный вариант: $q_{га2} = G_T/W_0 = 15/1,059 = 14,16$ кг/га

Прямые энергетические затраты:

серийный вариант: $E_{П1} = q_{га} * a_T = 14,69 * 52,8 = 775,63$ МДж/га

экспериментальный вариант: $E_{П2} = q_{га} * a_T = 14,16 * 52,8 = 747,64$ МДж/га,

где $a_T = 52,8$ МДж/кг – теплосодержание дизельного топлива [146].

Таким образом, имеем снижение энергетических затрат: $\Delta E = E_{П1} - E_{П2} = 775,63 - 747,64 = 27,99$ МДж/га.

В пересчёте на 100 га снижение энергетических затрат составит 2799 МДж.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Долото воспринимает основную нагрузку по деформации пласта, геометрическая форма долота может быть в различном исполнении и определяет 80-95% энергетических затрат рабочего процесса чизелевания. Профиль рабочего органа чизельного орудия, обеспечивающий минимальное значение энергетических затрат процесса обработки, должен отвечать принципу взаимосвязи и взаимоперехода форм поверхностей: вогнутый профиль при переходе через прямолинейную форму должен сменяться выпуклым профилем, и наоборот.

2. На основании исследования дифференциальных уравнений движения частицы почвы по поверхности рабочего органа получено уравнение траектории движения с наименьшими энергетическими затратами. Образующая кривая линия поверхности рабочего органа чизельного плуга получена путем сопряжения расчетных парабол при условии, что они проходят через реперные точки, принадлежащие поверхности рабочего органа. В качестве базовых реперных точек приняты: точка P1 (0;24), находящаяся на верхней границе долота в левой её части; точка P2 (80;12), находящаяся в зоне второго крепления долота к стойке орудия; точка P3 (168;24), находящаяся на границе двух функциональных зон долота, рабочей зоны и зоны крепления; точка P4 (240;6), находящаяся в носовой части долота. Указанные точки, в целом, определяют геометрическую область существования рабочего органа. На основании параболической интерполяции аналитически заданных параболических линий получены параметрические уравнения образующей кривой и поверхности моделируемого рабочего органа (патент RU 2792117 C1)

3. В процессе разработки программы экспериментальных исследований чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками, предложено устройство для изме-

рения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор (патент RU 2776191 C1), а также способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины (патент RU 2801775 C1).

4. Использование экспериментальных долот позволяет снизить среднее значение тягового сопротивления рабочей секции чизельного орудия, наибольший эффект наблюдается при скоростях движения до 4 км/ч. Снижение тягового сопротивления секции, на почвах влажностью 8-12%, составило: на скоростях до 4 км/ч – 12 %; на скоростях свыше 4 км/ч – 8%. При использовании экспериментальных долот на почвенных фонах влажностью более 16% эффективность их применения несколько снижается. Данное явление можно объяснить тем, что при увеличении влажности почвы происходит рост её липкости и связности, что приводит к некоторому налипанию частиц почвы на вогнутую часть долота. В этом случае движение почвенного пласта происходит не только по сопряжению сталь - почва, а частично по сопряжению почва - почва, что увеличивает коэффициент трения, а, главное, уменьшается степень изгибных деформаций пласта. Общее уменьшение нагрузки на крюке, при использовании экспериментальных рабочих органов, составило: 11% при работе на скоростях до 4 км/ч; 8% при работе на скоростях 4-7 км/ч. Использование экспериментальных долот, на почвенных фонах влажностью до 14%, способствует увеличению производительности чизельного агрегата на 5-7% по сравнению с серийными рабочими органами.

5. Применение чизельного плуга, оборудованного рабочими органами, поверхность которых получена методом параболической интерполяции, позволяет получить снижение эксплуатационных расходов на 149,7 рублей с одного гектара обработки, при этом снижение энергетических затрат составляет 27,99 МДж/га.

Рекомендации производству. В сельскохозяйственных предприятиях Волгоградской области рекомендуется для снижения эксплуатационных за-

трат при обработке «тяжелых» почв применение чизельных орудий, оснащенных рабочими органами, поверхность которых получена методом параболической интерполяции (патент RU 2792117 C1).

Перспективы дальнейшей разработки темы. Необходимо исследовать процессы налипания частицами почвы почвообрабатывающих органов различных форм поверхностей на влажностях почвы свыше 16%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, В.А. Введение в планирование эксперимента / В.А. Адлер. - М.: Металлургия, 1999. 159 с.
2. Акимов, А.П. Влияние свойств почвы и глубины хода дискового ножа на его сопротивление / А.П. Акимов, Ю.В. Константинов, И.Н. Аквильянова // Тракторы и сельхозмашины. - 2011. - №11. - С. 38 - 41.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Аналитическое обоснование системы автоматического контроля глубины обработки почвы / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов, М. А. Мосяков // Агроинженерия. – 2021. – № 3(103). – С. 19-23. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-3-19-23. – EDN FWCRIM.
7. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. - М.: Наука, 1988. - 640 с.
8. 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 YOQXAH.
9. 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.

10. Бараев, А.И. Теоретические основы почвозащитного земледелия /А.И. Бараев // Проблемы земледелия. - М., 1978. - С.212-220.

11. Бартенев, И.М. Ударное разрушение и активный оборот почвенного пласта при вспашке / И.М. Бартенев // Лесотехнический журнал. - 2013. - № 1. - С. 98-110.

12. Бебутов, Н. С. Определение площади поперечного сечения разрушенного слоя почвы. Молодой ученый. - 2019. - № 4(242). - С. 18-21.

13. Белоусов С.В. Параметры и технологические режимы работы отвального плуга с дополнительными плоскорежущими рабочими органами. Дис. канд. техн. наук. Ростов-наДону-2020 г - 161 с.

14. 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.

15. Божко И. В. Расчет тягового сопротивления чизельного рабочего органа для послонной безотвальной обработки почвы // Научный журнал КубГАУ. 2014. №98.

16. Божко, И.В. Методика выбора схемы и параметров рабочего органа для безотвальной послонной обработки почвы в условиях недостаточного увлажнения / И.В. Божко // Омский научный вестник. - 2014. -№ 3 (133). - С. 111-114.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. Борисенко И.Б. Совершенствование технологического процесса чизелевания за счет применения рабочего органа для минимальной обработки почвы с полосным углублением. Дис.... докт. техн. наук. Волгоград-2016 г - 190 с.

23. 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.

24. 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 SNJJFZ.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. 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.

29. 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 TNSCOR.

30. 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.

31. Васьков, А.А. Графическое построение рабочих поверхностей корпусов плугов / А. А. Васьков, А. С. Дорохов, Л. Н. Трушина // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2012. – № 2(53). – С. 51-53. – EDN RBFFND.

32. Васьков, А.А. Применение методов начертательной геометрии для графического построения развертывающихся рабочих поверхностей плугов / А.А. Васьков, А.С. Дорохов, В.Н. Романенко // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". — 2012. — № 1(52). — С. 42–44.

33. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. - М.: Колос, 1973. - 199 с.

34. 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.

35. 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

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

37. 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.

38. Вильямс, В.Р. Общее земледелие с основами почвоведения / В.Р. Вильямс // М.: «Новый агроном». - 1931. - 376 с.

39. 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.
40. 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.
41. Гапич Д. С. Гуйбадулин Д. С., Швабауэр Ю. А., Субботин С. И./ Тяговое сопротивление глубокорыхлителя Ecolo-Tiger 870 на различных кинематических режимах// Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию победы в Сталинградской битве, г. Волгоград, 16-17 февраля 2023 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2024. – Том IV. – с. 115-119.
42. Гапич Д. С., Швабауэр Ю. А., Субботин С. И., Губайдулин Д. С. Снижение тягового сопротивления чизельных орудий. Известия НВ АУК. 2023. 4(72). 398-409. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-40.
43. Гапич Д.С. Металлографические исследования легированной режущей кромки лемеха плуга / Гапич Д.С., Моторин В.А., Новиков А.Е., Олейников Р.Н. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 369-378.
44. Глубококорыхлитель Wil-Rich 357 [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.agrobase.ru/catalog/machinerv/machinerv_f54d4af5-b846-43e6-a402-2a12778e4a14
45. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в 3 т. / В. П. Горячкин. - М.: Колос, 1965. - т.1 - 720 с.
46. Горячкин, В.П. Собрание сочинений. М: Колос, 1965 - т.2 - 480 с.
47. ГОСТ 20915 - 2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. - М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2013.
48. ГОСТ 23729 - 88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки специализированных машин. - Введ. 30.03.1988. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 12 с.
49. ГОСТ Р 52778 - 2007 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. - М.: Стандартинформ, 2008.

50. ГОСТ Р 53056 - 2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. - Введ. 17.12.2008. - М.: Стандартиформ, 2009. - 10 с.
51. ГОСТ Р 53489 - 2009 Система стандартов безопасности труда. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности. - М.: Стандартиформ, 2011.
52. Губайдулин Д. С., Швабауэр Ю. А., Гапич Д. С., Фомин С. Д. Результаты экспериментальных исследований силовой нагруженности чизельного агрегата. Известия НВ АУК. 2024. 1(73). 357-365. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-40.
53. Гячев, Л.В. Теория лемешно-отвальной поверхности / Л.В. Гячев. -Зерноград, 1961. - 317 с.
54. 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.
55. 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.
56. Ермольев Ю. И., Основы проектирования сельскохозяйственных машин и предприятий/ А. Д. Чистяков, В. И. Пахомов, А. В. Бутовченко; под общ. ред. Ю. И. Ермольева; Донской государственной технической университет. -Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2016. - 553 с.
57. 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.
58. Каличкин В.К., Ким С.А. Безотвальная и комбинированная обработка почвы в Западной Сибири // Земледелие. - 1996. - № 6. - С. 14-15.
59. 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
60. Камбулов С.И. Снижение энергоемкости процесса почвообработки/С.И. Камбулов//Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 1. С. 32-34. EDN: IJONEB

61. Капов С.Н. Механико-технологические основы разработки энергосберегающих почвообрабатывающих машин: дисс. ... д-ра техн. наук - Челябинск, 1999. - 356 с.
62. Кобяков, И.Д. Взаимодействие лезвия ножа с разрезаемым материалом / И. Д. Кобяков // Вестник ОмГАУ. - 1997. - № 3. - С. 37-38.
63. 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.
64. Костылева, Л. В. Проблемные вопросы эксплуатации рабочих органов чизельных орудий и пути их решения / Л. В. Костылева, Д. С. Гапич, И. Б. Борисенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 3(39). – С. 176-179. – EDN UMEIJL.
65. Кулен А. Современная земледельческая механика. / Кулен А., Куиперс Х. - М.: Агропроиздат, 1986. -349 с.
66. Курбанов Д.Б. Повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий. Дисс. ... канд. техн. наук. Волгоград –2019.
67. 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.
68. 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.
69. 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.
70. 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.

71. Максимов, И.И. Обоснование параметров рабочего органа для глубокой безотвальной обработки почвы на склонах: дис. ... канд. техн. наук. - Чебоксары, 1984. - 180 с.
72. Мардонов Б. Волновые процессы в упруго-пористых средах. Ташкент: Изд-во ФАН, 1989. 175 с.
73. 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..
74. Михайлин, А.А. Обоснование рациональной формы наральника стоек глубокорыхлителей / А.А. Михайлин, В.П. Максимов // Вестник НГИ-ЭИ. - 2021. -№ 8 (123). - С. 21-32.
75. Михайлин, А.А. Разработка новой ресурсосберегающей технологии обработки склоновых земель / А.А. Михайлин // Инженерный вестник Дона. - 2013. - № 1 (24). - С. 31-35.
76. Михайлов А.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А.С. Михайлов. – Вологда - Молочное: ФГБОУ ВО ГМХА, 2019. -134 с.
77. Моделирование поверхности рабочего органа чизельного плуга / Ю. А. Швабауэр, С. И. Субботин, Д. С. Гапич, С. Д. Фомин // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 1(73). – С. 365-373. – DOI 10.32786/2071-9485-2024-01-41. – EDN JMIAZS.
78. 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.
79. Мударисов С.Г. Аналитический обзор и обоснование конструктивной схемы посевной секции для посева по нулевой технологии / С.Г. Мударисов, И.М. Фархутдинов, Р.Ф. Юсупов // В сборнике: Достижения науки - агропромышленному производству материалы LIII международной научно-технической конференции. - Челябинск, 2014. С. 202-208.
80. Мударисов С.Г. Рабочий орган для внесения удобрений в технологии Strip-till при выращивании технических культур / Мударисов С.Г., Аминов Р.И., Фархутдинов И.М., Ямалетдинов М.М. //Сельский механизатор. - Уфа, 2017. № 9. С. 10-11.
81. Мударисов С.Г. Результаты агротехнической и энергетической оценки культиватора для полосовой обработки почвы под технические куль-

туры / 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.

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

83. 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.

84. 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.

85. 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.

86. 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.

87. 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.

88. 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.

89. 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..

90. Определение себестоимости выполнения операций механической обработки [Электронный ресурс]. URL:

https://studopedia.ru/5_133582_opredelenie-sebestoimosti-vipolneniya-operatsiyemehanicheskoy-obrabotki.html (Дата обращения 05.05.2019)

91. 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.

92. Основные характеристики движения почвенных частиц по криволинейной поверхности рабочего органа / А. С. Путрин, О. Н. Терехов, В. В. Циклер, Г. Л. Утенков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2008. – № 1(17). – С. 93-98. – EDN MHVTWD.

93. Панов И.М. Современное состояние и перспективы развития земледельческой механики в свете трудов В. П. Горячкина / И.М. Панов, В.И. Ветохин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ №2. - Москва, 2008. С.9 - 14.

94. Панов, И.М. Физические основы механики почв / И.М. Панов, В.И. Ветохин. - Ростов н/Д: Феникс, 2008, - 266 с.

95. Пановко Я.Г. Механика деформируемого твёрдого тела: Современные концепции, ошибки и парадоксы / Я.Г. Пановко. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. - 288 с.

96. Панчишкин А.П. Технологическая адаптация тракторов в составе почвообрабатывающих агрегатов к зональным условиям эксплуатации. Дис. ... канд. техн. наук Волгоград-2024

97. 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 WZXKWT.

98. 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.

99. Патент № 2801775 С1 Российская Федерация, МПК G01L 5/13, A01B 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.

100. Патент на полезную модель № 188108 U1 Российская Федерация, МПК A01B 35/20. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы: № 2018114404: заявл. 19.04.2018: опубл. 28.03.2019 / Д. Б. Слинко, А. С. Дорохов, Н. М. Ожегов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). – EDN BIQTTF.

101. Патент на полезную модель № 192231 U1 Российская Федерация, МПК A01B 35/20. Рабочий орган, упрочненный комбинированной наплавкой: № 2019113482: заявл. 06.05.2019: опубл. 09.09.2019 / Д. Б. Слинко, Я. П. Лобачевский, А. С. Дорохов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). – EDN AWLZAA.

102. Плескачев Ю. Н., Ксыкин И. В., Басакин М. П., Кандыбин С. С. Способы обработки светло-каштановых почв // Известия НВ АУК. 2013. №4 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-obrabotki-svetlo-kashtanovyh-roshv> (дата обращения: 18.04.2022).

103. Плющев, Г.В. Исследование процесса глубокого рыхления почвы и выбор оптимальных параметров рабочего органа пропашного культиватора-глубокорыхлителя для южной орошаемой зоны земледелия: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Плющев Г.В. - Алма-Ата, 1973. - 20 с.

104. Повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин дуговой наплавкой твёрдыми сплавами / Д. Б. Слинко, А. С. Дорохов, В. А. Денисов, Д. А. Добрин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 6(332). – С. 77-81. – EDN YRMSIP.

105. Пындак, В.И. Тяговое сопротивление чизельно - отвального орудия / В.И. Пындак, А.Е. Новиков // Тракторы и сельхозмашины. - 2010. - № 8. - С. 3436.

106. 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.

107. 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.

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

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

110. Результаты лабораторных исследований почворежущих 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 UZLCМО.

111. 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.

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

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

114. Рыхляще - подрезающий рабочий орган (стойка СибИМЭ): буклет / РАСХН. Сиб. отд-ние; сост.: М. К. Ягупов. - Новосибирск, 1985. - 4 с.

115. Рябов, Е.И. Почвозащитная система земледелия на основе минимальной обработки / Е.И. Рябов, А.М. Белозеров. С.И. Бурыкин // Земледелие. -1992. -№1. - С.31-35.

116. Сафиуллин, М.Р. Опыт США: Технология полосовой обработки / М.Р. Сафиуллин // Ресурсосберегающее земледелие. - 2011. - №2. - С.17 - 19.

117. 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 но-

ября 2020 года. Том 2. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. – С. 9-12. – EDN EODUOE.

118. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. — М.: Машиностроение, 1977. — 328 с.)

119. Синеоков, Г.И. Теория и расчет почвообрабатывающих машин /Г.И. Синеоков, И.М. Панов. М.: Машиностроение, 1977. -326 с.

120. 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.

121. Совершенствование технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин / Д. Б. Слинко, А. С. Дорохов, В. А. Денисов, Д. А. Добрин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2018. – № 8. – С. 26-31. – EDN YAQTCH.

122. 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.

123. Соколова, М.В. Рабочий орган для полосной глубокой обработки почвы / М.В. Соколова // Научное обозрение. - 2014. - №6. - С.34-36.

124. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М.: Физматгиз, 1960. 121 с

125. Спирин, А.П. Почвозащитные технологии / А.П. Спирин. // Земледелие. -1999. - №2. - 22-23 с.

126. 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.

127. 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.

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

129. 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.

130. Рашидов Т.Р., Джураева Н.Б., Уринов А.П. Моделирование процесса деформирования и движения почвы в зоне воздействия глубокорыхлителя Вестник томского государственного университета 2021 Математика и механика № 73 с 81-91

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

132. Тихонов В.В. Исследование чизельного рабочего органа с дополнительным крошителем / Давлетшин М.М., Тихонов В.В. // Материалы 19-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Агро-комплекс-2009». Часть 1. - Уфа: Изд-во БГАУ, 2009. - С.60-61.

133. Тихонов В.В. Обзор и обоснование конструктивной схемы рабочего органа для полосовой обработки почвы под технические культуры / В.В. Тихонов, И.М Фархутдинов, Р.Ф. Юсупов, И.Э. Валиуллин. // В сборнике: Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники Материалы Международной научно-практической конференции. - Уфа, 2013. - С. 358-364.

134. Тихонов В.В. Совершенствование рабочего органа чизеля для дополнительного крошения почвы и обоснование его параметров: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.В. Тихонов. - Уфа, 2012. - С. 40-43.

135. Тихонов, В.В. Совершенствование рабочего органа чизеля для дополнительного крошения почвы и обоснование его параметров: дис. ... канд. техн. наук. - Уфа, 2012. - 162 с.

136. Труфанов, В.В. Глубокое чизелевание почвы / В.В. Труфанов // Всесоюз. акад.с.-х. наук имени В.И. Ленина. - М.: Агропроиздат, 1989.- 140 с.

137. Фархутдинов И.М., Реймер В.В. Известия оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (82). С. 141-144.

138. Фомин С. Д., Гапич Д. С., Субботин С. И., Швабауэр Ю. А. Тяговое сопротивление секции чизельного плуга с рабочими органами различной геометрической формы. Известия НВ АУК. 2024. 2(74). 358-367. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-42

139. 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.

140. Цытович, Н.А. Механика грунтов: крат. курс / Н.А. Цытович. - 3-е изд., доп.- М.: Высш. шк., 1979. - 272 с.
141. Чекмарев, А.А. Начертательная геометрия и черчение / А.А. Чекмарев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ВЛАДОС, 2002. - 472 с.
142. 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 научнопрактической конференции, г. Волгоград, 9 ноября 2022 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2023. – Том III. – с.416-421
143. 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.
144. 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
145. Шевлягин, А.И. Реакция сельскохозяйственных культур на различную плотность сложения почвы / А.И. Шевлягин // Теоретические вопросы обработки почв. - Л., 1968. - С.32-39.
146. Эвиев В.А., Мучкаева Г.М. Техническое обеспечение почвозащитных энергосберегающих технологий. Элиста : Издательство Калмыцкого университета, 2010. - 167 с.
147. Электронный ресурс <https://agrospecsmash.ru/>
148. Электронный ресурс <https://kammz.ru/>
149. Электронный ресурс <https://prom-dt75.ru/>
150. Электронный ресурс <https://quivogne.ru/>
151. Электронный ресурс <https://t-snab.com/>
152. 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.
153. Ayadi Ibrahmi, 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.
154. Ayadi Ibrahmi¹, 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.

155. 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.

156. 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)*

157. 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.

158. 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.

159. 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.

160. 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.

161. 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.

162. 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.

163. 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.

164. 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.
165. 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).
166. 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.
167. 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.
168. 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.
169. 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.
170. Walton, K., 1987. The effective elastic moduli of random packing of spheres. J. Mech. Phys. Solids 35 (3), 213-226.
171. 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.
172. 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
173. 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).
174. Zhiwei Zeng, Ying Chen, Xirui Zhang, Modelling the interaction of a deep tillage tool with heterogeneous soil, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 143, 2017, Pages 130-138, ISSN 0168-1699.

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



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),
Гачич 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, на-
вешиваемой на трактор



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 СЛУЖБА
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:
16.03.2023Приоритет(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



403027, Россия, Волгоградская обл., р-н Городищенский, с.п. Панышинское, пос. Сады Придонья
Тел.: (84468) 4-83-17; факс: (84468) 4-84-37; E-mail: referent@pridonic.ru

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательской и опытно-конструкторских работ
по теме **СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРОЦЕССА ЧИЗЕЛЕВАНИЯ ПОЧВЫ ЗА
СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГА**

аспиранта инженерно-технологического факультета ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ Швабауэра
Юрия Александровича

Использование экспериментальных долот, защищенных патентом RU (Рабочий орган чизельного плуга: патент на изобретение RU 2792117 С1 / Гапич Д.С., Моторин В.А., Швабауэр Ю.А., Субботин С.И), позволяет снизить среднее значение тягового сопротивления рабочей секции чизельного орудия. Снижение тягового сопротивления секции, на почвах влажностью 8-12%, составило: на скоростях до 4 км/ч – 12 %; на скоростях свыше 4 км/ч – 8%. При использовании экспериментальных долот на почвах с влажностью более 16% – эффективность применения не выявлена. Данный эффект вызван налипанием почвы на вогнутую часть долота. Общее уменьшение тягового сопротивления при использовании экспериментальных рабочих органов, составило: 11% при работе на скоростях до 4 км/ч; 8% при работе на скоростях 4-7 км/ч. Использование экспериментальных долот, на почвенных фонах влажностью до 14%, способствует увеличению производительности чизельного агрегата на 5-7% по сравнению с серийными рабочими органами. Применение чизельного плуга, оборудованного рабочими органами, поверхность которых получена методом параболической интерполяции, позволяет получить снижение эксплуатационных расходов на 149,7 рублей с одного гектара обработки.

Гл. инженер



В.Ю. Дашкевич



403027, Россия, Волгоградская обл., р-н Городищенский, с.п. Панышинское, пос. Сады Придонья
Тел.: (84468) 4-83-17; факс: (84468) 4-84-37; E-mail: referent@pridonic.ru

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРОЦЕССА ЧИЗЕЛОВАНИЯ ПОЧВЫ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГА

аспиранта инженерно-технологического факультета ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
Швабауэра Юрия Александровича

В сельскохозяйственных предприятиях Волгоградской области рекомендуется для снижения эксплуатационных затрат при обработке «тяжелых» почв применение чизельных орудий, оснащенных рабочими органами и защищенных патентом RU 2792117 С1, поверхность которых получена методом параболической интерполяции.

Использование экспериментальных долот на почвенных фонах влажностью до 14% способствует увеличению производительности чизельного агрегата на 5-7% по сравнению с серийными рабочими органами.

Применение чизельного плуга, оборудованного рабочими органами, поверхность которых получена методами параболической интерполяции, позволяет получить снижение эксплуатационных расходов на 149,7 рублей с одного гектара обработки.

В качестве перспектив дальнейшей разработки темы следует отметить необходимость исследования процессов налипания частицами почвы почвообрабатывающих органов различных форм поверхностей при высокой связности и липкости на влажностях почвы свыше 16%.

Гл. инженер



В.Ю. Дашкевич