

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И. Т. ТРУБИЛИНА»

*На правах рукописи*

**КУЗЬМИН Виталий Викторович**



**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО  
АГРЕГАТА ДЛЯ ГЛАДКОЙ ВСПАШКИ  
ПОД ЗЕРНОВЫЕ КОЛОСОВЫЕ КУЛЬТУРЫ**

Специальность: 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование  
для агропромышленного комплекса

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, доцент  
Тарасенко Борис Федорович

Краснодар – 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ.....	10
1.1 Анализ существующих технологий обработки почвы.....	10
1.2 Анализ агрегатов для обработки почвы.....	15
1.3 Анализ рабочих органов в комбинированных агрегатов для гладкой вспашки.....	37
1.4 Научные исследования по изучению параметров и режимов работы комбинированных агрегатов для гладкой вспашки.....	40
1.5 Выводы. Цель и задачи исследования.....	46
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВЫ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА.....	48
2.1 Обоснование конструкции почвообрабатывающего агрегата.....	48
2.2 Определение тягового сопротивления дисковых рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего агрегата.....	55
2.3 Определение силы реакции чизеля на почву почвообрабатывающим агрегатом.....	60
2.4 Определение тягового сопротивления чизелей в почвообрабатывающем агрегате.....	67
2.5 Выводы по главе.....	74
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ.....	75
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	75
3.2 Методика определения энергетических показателей комбинированного агрегата для гладкой вспашки.....	76
3.3 Методика определения физико-механических свойств почвы в полевых условиях при выполнении гладкой вспашки под зерновые	

колосовые культуры комбинированным агрегатом.....	78
3.4 Методика проведения полевых испытаний разработанного комбинированного агрегата и априорного ранжирования факторов.....	80
3.5 Описание опытного образца комбинированного агрегата для гладкой вспашки.....	83
3.6 Методика обработки многофакторного эксперимента.....	89
3.7 Оптимизация основных параметров работы дисковой бороны.....	91
3.8 Результаты полевых испытаний комбинированного почвообрабатывающего агрегата АПУ-1 при гладкой вспашке.....	98
3.9 Выводы по главе.....	113
<b>4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ГЛАДКОЙ ВСПАШКИ.....</b>	<b>115</b>
4.1 Методика расчета экономической оценки.....	115
4.2 Экономическая эффективность внедрения комбинированного агрегата.....	117
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>127</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>130</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>146</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Затратной операцией в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур является вспашка, на которую приходится до 40 % энергетических и до 30 % трудовых затрат от всего объема работ [48, 101]. При изменении глубины вспашки на 1 см затраты топлива колеблются в пределах 1 кг/га. Ее обычно проводят на глубину 20–22 см, при этом затраты топлива составляют порядка 23–25 кг/га. Если проводить рыхление на такую глубину, то затраты топлива сократятся вдвое. При поверхностной обработке, расход топлива варьирует в пределах от 1 до 4 кг/га [61, 110].

При вспашке ухудшаются некоторые свойства почвенного слоя. В связи с этим охранение плодородия почвы является одной из основных задач. Глубокий структурированный гумусный пахотный слой (25–30 см и более) обеспечивает для растений питательный слой, повышая его воздухопроницаемость и регулирование водного режима. Благодаря высокой влагоемкости таких почв, в них создается резервный запас, используемый растением в засушливые периоды, что стабилизирует рост урожайности сельскохозяйственных культур [30].

Таким образом, вспашка является ключевым приемом обработки почвы. Основным требованием, которой является получение более ровной поверхности, без образования свально-развальных борозд, пропусков при проходе орудия, а также полное заделывание пожнивных остатков. Использование такой обработки позволяет значительно сократить количество проходов дополнительных орудий и приспособлений, повышая производительность машинно-тракторных агрегатов, как при данной операции, так и всех остальных последовательных. Кроме того, снижаются потери урожайности сельскохозяйственных культур при уборке. С каждым годом затраты на основную обработку увеличиваются и многим малым сельхозпроизводителям становится не выгодно производиться данную операцию [21, 33, 34].

В настоящее время актуально использование гладкой вспашки при помощи оборотных плугов (при челночном способе движения), при котором не происхо-

дит образование свально-развальных борозд. Однако металлоёмкость таких агрегатов по сравнению с плугами, на которых устанавливаются поворотные корпуса, в полтора раза больше [56, 86, 135, 136].

Применение поворотных корпусов с ромбовидным поперечным сечением позволяет в разы сократить все из вышеуказанных недостатков, в том числе уменьшает энергонасыщенность тракторов [55, 56, 85, 87].

Оборотные плуги по сравнению с обычными имеют следующие недостатки: большую массу и высокий расход топлива, а также сложную и менее надежную конструкцию. Исследования, выполненные в ВИМ, ТСХА, РосНИИТИМ и за рубежом показали возможность применения их для гладкой вспашки для всех видов пахотных земель, а также повышение производительности до 10 %. Ими выполняются вспашку без свальных гребней и развальных борозд с помощью двух комплектов рабочих органов и реверсивным устройством гидромеханического действия. По этой причине конструкция их усложнена, повышена материалоемкость и стоимость изготовления в 2–3 раза.

Диссертационное исследование выполнено в рамках тематического плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Кубанского ГАУ на 2021–2025 гг. раздел 17.11 «Усовершенствовать методы основной обработки почвы под зерновые культуры и в виноградарстве, и обосновать параметры и режимы технологического процесса».

**Степень разработанности темы.** Результаты проведенных научных исследований такими учеными, как С. И. Камбулов, В. Б. Рыков из ФГБНУ АНЦ «Донской», из Кубанской МИС, а также И. Б. Борисенко [11, 13], С. Н. Капов, А. А. Михайлин, Перфильев Н. В., П. Г. Свечников, Б. Ф. Тарасенко [89, 104], М. И. Чеботарев, В. И. Черноиванов, Г. С. Юнусов показали, что энергозатраты на вспашку составляют порядка 40–50 % при возделывании зерновых колосовых.

Серийные устройства для гладкой вспашки несовершенны по причине выполнения одной машиной нескольких операций и большим их многообразием. Технологические приемы характеризуются повышенными энергозатратами.

Для повышения эффективности сельскохозяйственного производства необходимой составляющей является их снижение. Наибольшее распространение эта проблема получила на юге России: в Краснодарском и Ставропольском краях, Ростовской области, так как данные регионы являются лидерами по поставкам зерновых [121].

На сегодняшний день в мировом машиностроении отмечаются две основные тенденции основной обработки почвы – отвальная и чизельная с возможностью использования комбинированных агрегатов. Все современные разработки направлены на повышение производительности и уменьшение металлоемкости конструкций при тех же затратах, а иногда и их частичное сокращение [46].

Применение современных ресурсосберегающих технологий возделывания и уборки различных сельскохозяйственных культур не исключают возможность использования различных комбинированных почвообрабатывающих агрегатов с возможностью смены рабочих органов для работы на других технологических операциях [22, 68].

**Научная гипотеза.** Обоснование параметров и режимов работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата со сменными рабочими органами – дисками и чизельными лапами позволит повысить производительность агрегата при сохранении качества обработки почвы при гладкой вспашке под зерновые колосовые культуры.

**Цель работы** – обоснование параметров и режимов комбинированного почвообрабатывающего агрегата с дисками и чизельными лапами для повышения его производительности при сохранении качества обработки почвы при гладкой вспашке под зерновые колосовые культуры.

**Объект исследования.** Технологический процесс гладкой вспашки почвы и технические средства для его осуществления.

**Предмет исследования.** Закономерности взаимодействия сменных рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего агрегата с почвой.

### **Задачи исследования.**

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему комбинированного почвообрабатывающего агрегата (КПА) для гладкой вспашки почвы под зерновые колосовые культуры;
2. Разработать математическую модель зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от его параметров;
3. Изготовить экспериментальный образец КПА;
4. Определить рациональные параметры КПА по критериям качества обработки почвы;
5. Провести полевые испытания экспериментального КПА;
6. Выполнить оценку сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований;
7. Выполнить расчеты экономической эффективности предлагаемого КПА.

**Методика исследования.** Теоретические исследования проводились с учетом основных положений высшей математики и теоретической механики. При проведении экспериментальных исследований применялись методы планирования многофакторного эксперимента. Обработка полученных данных осуществлена с использованием методов математической статистики.

### **Научную новизну работы составляют:**

1. Конструктивно-технологическая схема КПА для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры со сменными рабочими органами: дисками и чизельными лапами;
2. Математическая модель зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от его параметров;
3. Уравнение регрессии, позволяющее определить рациональные параметры предлагаемого КПА.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическую значимость работы представляют: математическая модель зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от его параметров, обосновывающая основ-

ные параметры предлагаемого агрегата; уравнение регрессии, определяющее рациональные параметры предлагаемого агрегата.

Практическую значимость работы представляют: соотношение между параметрами и режимом работы агрегата с показателями качества гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры; параметры и режимы работы предлагаемого агрегата.

**На защиту выносятся основные положения:**

- конструктивно-технологическая схема КПА для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры;
- математическая модель зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от его параметров;
- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивно-режимных параметров КПА;
- результаты оценки сходимости теоретических и экспериментальных исследований.

**Реализация результатов исследований.** Опытный образец комбинированного почвообрабатывающего агрегата прошел производственные испытания и внедрен в РПЗ «Красноармейский» – филиал ФГБНУ «ФНЦ риса» (Краснодарский край, поселок Октябрьский). Результаты исследований внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

**Апробация работы.** Основные положения и выводы диссертации доложены и одобрены на: научно-практической конференции по итогам НИР за 2018 г. «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (г. Краснодар, 2019); 26 Международной выставке сельскохозяйственной техники, оборудования и материалов для производства и переработки растениеводческой сельхозпродукции «ЮГАГРО» (г. Краснодар, 2019); Всероссийской научной конференции с международным участием «Растениеводство и луговодство» (г. Москва, 2020); Международной научной-технической конференции «Наука о земле» (г. Владивосток, 2021); Всероссийской научно-практической конференции «Год науки и техноло-

гий» (г. Краснодар, 2021); Международной научной конференции «Технические и естественные науки» (г. Санкт-Петербург, 2023).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 12 научных работ, из них: 3 статьи, включенная в текущий перечень ВАК; 1 – в международной базе данных *Scopus*; 3 – в статьях, опубликованных по результатам участия в конференциях; 5 – патентов РФ на полезные модели (№ 193872, 201758, 207705, 206517, 214422). Общий объем публикаций составляет 4,1 печатных листа, из них личный вклад автора 2,1 печатных листа.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Общий ее объем – 164 страницы машинописного текста, 13 таблиц, 54 рисунков, 9 приложений. Список литературы включает 139 наименований, из которых 19 на иностранном языке.

# 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

## 1.1 Анализ существующих технологий обработки почвы

Существует множество способов обработки почвы [90], из которых наиболее распространенными являются: минимальная (с использованием чизелей, плоскорезов) и традиционная – проводится при помощи обычных отвальных плугов. Развитие этих орудий направлено на минимизацию затрат труда и горюче-смазочных материалов, а также повышение качества выполняемой работы [37, 80, 81, 115].

В итоге установлены следующие проблемы: плохое и несвоевременное крошение пласта почвы в верхнем пласте почвы из-за отсутствия верхнего ротора, а также высокая вероятность сгуживания части пласта с рабочих органов, в результате чего значительно увеличивается тяговое сопротивление агрегата [2–4]. Практически во всех современных комбинированных почвообрабатывающих машинах [36] пласт почвы разрушается за счет сжатия между двумя встречно вращающимися ротационными рыхлителями, использование которых в значительной степени является энергоемким процессом, что приводит к дополнительным энергозатратам [111, 120, 121].

Альтернативой традиционной системе обработки почвы [112] являются разные конструкции машин для нулевой и минимальной и наиболее распространены среди сельхозпроизводителей машины, которые обрабатывают почву на глубину 8–15 см комбинированной, широкозахватной техникой. При этом создается биологически активный слой в верхней части перепревших и полуперепревших остатков культур [114].

Минимальная обработка направлена на снижение энергозатрат, потребность в топливе и рабочей силе по сравнению с традиционной [114].

Решение задач по их развитию заменяется в упрощенном виде минимизацией глубины, способом ее обработки под конкретные культуры при глубине согласно севообороту, чизелем или отвальной вспашкой один раз в 2–3 года.

По результатам проведенных исследований в ГНУ Ставропольском НИИСХ в шести районах края (2008 г.) минимизация обусловила:

- дефицит почвенной влаги в длительные острозасушливые периоды;
- увеличение численности грызунов, приводящее к снижению урожайности озимой пшеницы на 20–30 %;
- повышение степени пораженности посевов насекомыми (жужелица, корневая гниль, пшеничная муха), требующее дополнительных затрат на инсектициды в осенне-весенний период;
- технологию непригодную для распределения и глубокой заделки полосы, проведения посева, также в весенний сезон наблюдается пожелтение посевов за счет добавления азота, приводящее к голоданию растений.

А. М. Ленточкиным проведены исследования по эффективности поверхностной обработки на 10–12 см для снижения затрат порядка 20 % и сохранения урожайности при вспашке. Использование технологии минимизации и прямого посева позволяет снизить развитие эрозии [5, 54].

Произвольные «изыскания» производственников при отсутствии квалификации кадров приводят к резкому снижению урожайности зерновых и зернобобовых культур [122].

Энергосберегающая технология при минимальной обработке позволяет применять многофункциональные комбинированные машины, которые не уплотняют и распыляют, что не приводит к эрозии почвы. При этом сокращаются потребность в ТСМ на 8–27 %, снижаются затраты средств и труда на 18–35 % [15, 57, 114].

Вспашка поля отвальными плугами разрушает поверхностный слой, что позволяет уничтожить травяной покров и дерновый слой и запахать стерню, кото-

рые защищают почву от воздушной и водяной эрозии, происходит выворачивание плодородных слоев почвы [15].

Вспашка отвальная – экологически безопасная технология для химических средств, которое радикальное средство по борьбе с сорняками, вредителями и болезнями растений. Вспашка позволяет снизить применение минеральных удобрений за счет поддержания плодородия, которое необходимо для заделки разного рода остатков, качественной обработки сидеральных паров, что обеспечивает качественное ее крошение, рыхление и перемешивание [121].

Нулевая обработка почвы позволяет в значительной мере накапливать в почве влагу при вегетации [62].

Как известно, система обработки почвы в технологии выращивания яровой пшеницы (нулевая, отвальная, безотвальная, минимальная) не обеспечивает противодействие неблагоприятным метеорологическим условиям, в которых отсутствует влага, вследствие чего снижается урожайность (в четыре раза) с благоприятными условиями. Минимальная технология ее возделывания предусматривает максимальный урожай при отвальной системе, но затраты в два раза меньше [62].

В России, как и в других высокоразвитых аграрных странах преобладает основная обработка, а именно отвальный ее вид с одновременным оборотом пласта. Такой вид обработки позволяет эффективно накапливать питательные вещества в почве, позволяет произвести полную заделку пожнивных остатков вглубь почвы [131, 132].

Сегодня вспашка является самой энергоемкой операцией и занимает первое место по сравнению с остальными операциями, проводимыми в сельском хозяйстве. С ней может конкурировать только глубокое фрезерование. Если говорить о расходе топлива, то на одну вспашку требуется до 30 % топлива от всего объема работ по выращиванию сельскохозяйственных культур [121].

Плуги для ромбовидной вспашки отличаются от обычных лемешных тем, что отвал направлен в сторону не вспаханного поля и выполняет функцию ножа, отрезая пласт от наклонной стенки борозды (угол ромбовидности). Ромбовидной

называется вспашка, выполняемая корпусом плуга с наклоненным в сторону невспаханного поля полевым обрезом отвала, так как отрезаемый им пласт почвы имеет ромбовидное (параллелограммное) поперечное сечение [60].

Современные ученые стремятся разработать поворотные плуги для гладкой вспашки, которые могли бы работать челночным способом без образования свально-развальных борозд. У такой конструкции также есть свои недостатки, к ним относятся – несовершенство механизмов поворота право и левооборачивающих корпусов. Данные поворотные механизмы не способны обеспечить необходимую постановку корпуса к стенке борозды в  $42^\circ$  [121].

Использование чизельных рабочих органов ведет к увеличению влагосодержания в почве, эффективное рыхление верхнего пласта почвы способствует более качественному проникновению влаги и питательных веществ в глубину, а разрушение плужной подошвы приводит к хорошему укреплению корневой системы растений и лучшему насыщению питательными веществами. К плюсам данной технологической операции относят то, что чизелевание способствует уменьшению водной и ветровой эрозии, повышая водно-ветровой баланс в оптимальном состоянии. Задачи, которые ставятся перед чизельной обработкой следующие: создание оптимальных условий для произрастания сельскохозяйственных растений путем лучшего развития их корневой системы, повышение плодородных качеств почвы путем лучшей заделки пожнивных остатков и защиты почвы от водно-ветровой эрозии [11, 12]. В 80-х гг. XX в. по всей территории СССР активно проводились испытания и теоретические разработки основной обработки почвы без оборота пласта [100].

Основные рабочие органы, которые используются для чизельных агрегатов – чизельные стойки, они были спроектированы таким образом, чтобы обеспечивать качественное рыхление пласта почвы на заданную глубину обработки без ее оборота, при этом имея как можно меньшее тяговое сопротивление. При использовании таких орудий не происходит заделки пожнивных остатков и различного рода растительности вглубь почвы, а лишь ее подрезание и перемещение в качестве

мульчирующего компонента, что приводит к дополнительным проходам различных агрегатов и к повышению затрат на проведение основной обработки почвы.

Такую проблему можно решить, если использовать комбинированные агрегаты [24, 25] и различные конструкции, позволяющие выполнять несколько технологических операций за один проход агрегата.

Чизельные плуги проектировались в первую очередь для глубокого рыхления почвы (до 45–50 см) с одновременным разрушением плужного горизонта. Кроме того, данный вид обработки способствует проникновению минеральных удобрений вглубь почвы, что повышает урожайность.

Перспективным направлением является гладкая вспашка которая представляет собой процесс основной обработки почвы без образования свально-развальных борозд. После прохода пахотных агрегатов, предназначенных для гладкой вспашки, обработанное поле остается ровной поверхностью, что положительно сказывается на дальнейшем произрастании и урожайности сельскохозяйственных культур. Кроме того, гладкая вспашка менее энергоемкая, чем традиционная. [45].

Безотвальная вспашка впервые была использована в начале 60-х гг. XX в. Ее начал внедрять академик Т. С. Мальцев в местах, где преобладают сильные морозы (Западная Сибирь) и в местах с сильной ветровой эрозией (степи Казахстана).

В те времена попросту не было орудий, способных проводить данную технологическую операцию. Безотвальную вспашку стали проводить обычными лемешными плугами, со снятыми отвалами или культиваторами с усиленными плоскорежущими лапами, лишь потом им на смену пришли чизельные рабочие органы и др. [11, 14, 63, 64].

Технология обработки почвы комбинированными почвообрабатывающими агрегатами имеет высокие энергозатраты и трудоёмкость при наличии разной их номенклатуры [5, 50], что влияет на качество ее обработки.

## 1.2 Анализ агрегатов для обработки почвы

С. Л. Дёмшиным был предложен почвообрабатывающий агрегат КПА-2,2 (рисунок 1.1). Недостатком его являются – низкая надежность работы, высокие энергозатраты технологического процесса.

При использовании активных рабочих органов в почвообрабатывающей части комбинированных машин (рисунок 1.2) добиваются необходимой степени рыхления и перемещения почвы, что редко удается агрегатам с пассивными рабочими органами. Однако такие агрегаты очень энергоемки и нуждаются в частой замене рабочих органов из-за их интенсивного износа [9].



а



б



в



г

Рисунок 1.1 – Общий вид комбинированного почвообрабатывающего агрегата КПА-2,2



а



б



в

Рисунок 1.2 – Общий вид многофункционального стерневого культиватора *Vomet* (Польша)

На рисунках 1.3 (а) и (б) показана схема расположения плоскорежущих рабочих органов и дисковых батарей, в результате чего при работе данного комбинированного агрегата производится безотвальная почвообработка с одновременных дискованием на глубину до 8 см [5, 47, 72, 119].

На рисунке 1.3 (в) показано изменение угла атаки дисковых батарей при помощи шарнирного крепления к раме агрегата, благодаря которому можно регулировать глубину дискования.

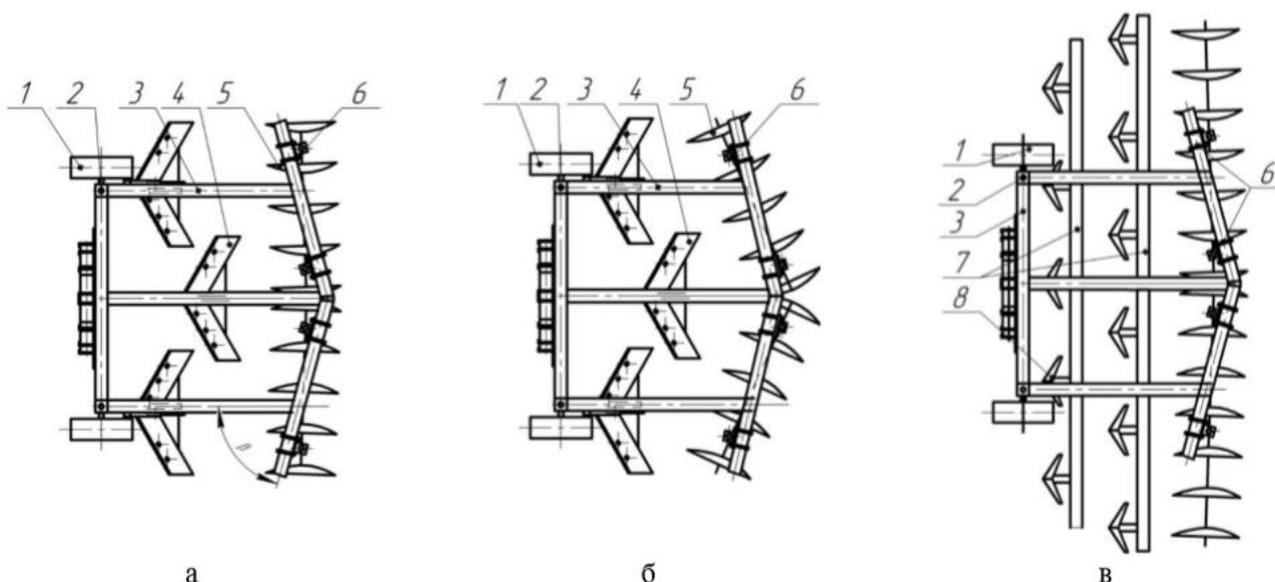


Рисунок 1.3 – Схема размещения сменных рабочих органов  
почвообрабатывающего агрегата

Недостатком почвообрабатывающего агрегата является отсутствие замены рабочих органов, высокие энергозатраты. Комбинированные универсальные многофункциональные машины (рисунок 1.4) созданы и за рубежом [106, 137].



Рисунок 1.4 – Общий вид дисковой бороны *DXRV* и *SL DTD*

Недостатком комбинированных многофункциональных машин является высокие удельные энергозатраты, затраты труда. Конструктивное устройство приведенных машин на рисунке 1.5 не обеспечивает требуемую мобильность их переоборудования на различные технологические схемы для выполнения любых технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур.

Их наличие не исключает необходимости содержания в хозяйствах дисковых борон, лушильников, агрегатов для финишной обработки почвы под посев и других машин [106].



Рисунок 1.5 – Агрегат почвообрабатывающий *Centaur* и *SL DDT*

При работе чизельными орудиями существенным недостатком является то, что на всю глубину пахотного горизонта образуется большая глыбистость, что приводит к плохому развитию корневой системы растений и получения влаги почвой и растениями.

При обработке почвы с помощью чизельных рабочих органов до сих пор остается открытым вопрос внесения органических удобрений и подрезания сорной растительности, которые в активной мере способствуют развитию различных болезней [121].

Инженеры-конструкторы Б. Н. Нуралин, С. В. Олейников, М. С. Галиев разработали собственную конструкцию симметричного оборотного плуга для гладкой вспашки с ромбовидными отвальными корпусами для челночного способа движения (рисунок 1.6, 1.7) [87].

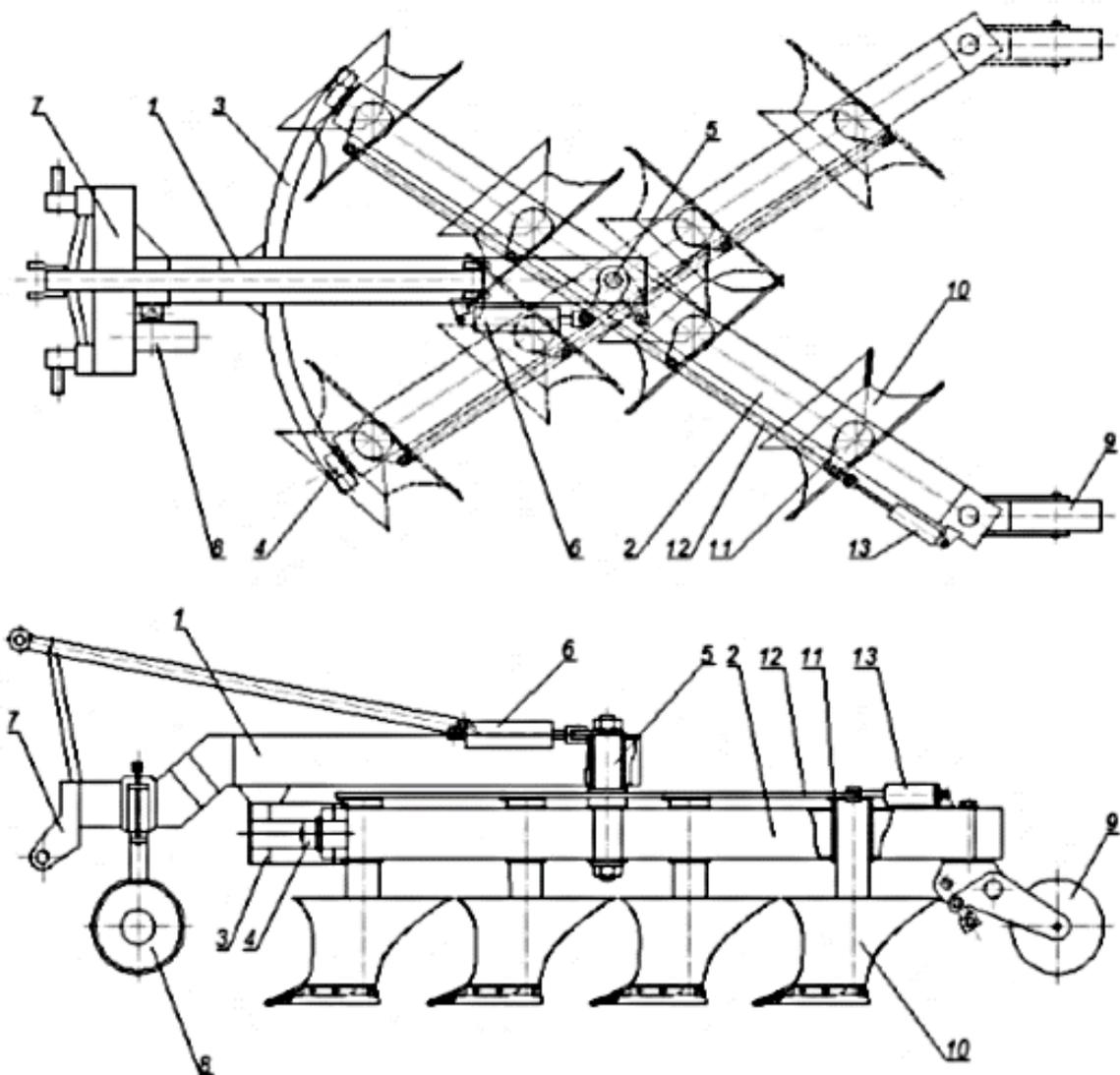


Рисунок 1.6 – Схема поворотного плуга

Разработанная ими конструкция состоит из следующих узлов и деталей: рамы 1 с шарнирно закрепленным на ней дугообразным передним русом 2 и поперечным 3. На раме 1 имеется навеска 4 и прикатывающий каток 5 с шарнирным креплением для создания возможности регулировки глубины обработки. Брус 2 имеет кронштейны крепления 6 для установки державок 7.

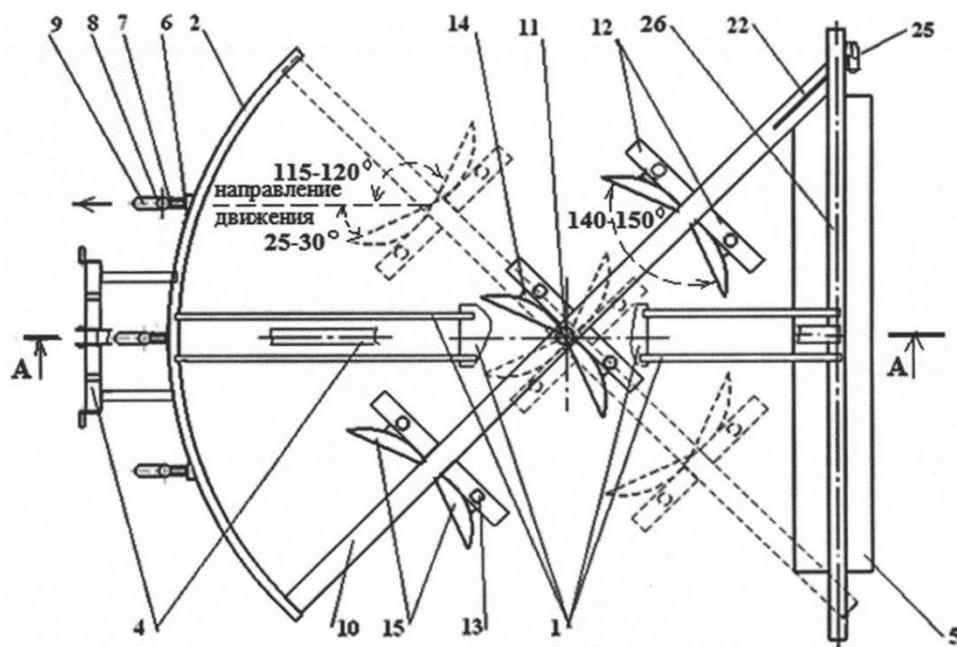


Рисунок 1.7 – Схема плуга с поворотным брусом по Патенту РФ №184196

Державки 7 жестко приварены к стойке 8 на которых смонтированы долото 9. На раме 1 шарнирно закреплен поворотный брус 10, выполненный в виде квадратного профиля с осью 11. К поворотному брусу 10 приварены кронштейны 12, на которые смонтированы жесткие стойки 13 с подшипниками 14 для установки дисковых орудий 15.

Навеска 4 крепления к трактору жестко приварена к неподвижной раме 1, на которой установлен специальный шарнир для изменения высоты установки прикатывающего катка 5, который крепится в задней части неподвижной рамы 1. К неподвижной раме 1 приваривается передний дугообразный брус 2, по краям которого имеются специальные кронштейны 6, на которые крепятся чизельные рабочие органы, представляющие собой плоскорежущие лапы. На кронштейнах 6 крепления чизельных рабочих органов имеются пластинчатые перфорируемые державки 7, благодаря наличию которых возможно изменять положение чизельных рабочих органов по высоте. Данные перфорируемые державки 7 используются в случае необходимости для установки дополнительных рабочих органов, например плоскорежущих лап, S-образных лап и иных рабочих органов, удовлетворяющих агротребованиям проводимой сельскохозяйственной операции.

К переднему брусу 2 крепятся трубные стойки 8, на которые устанавливаются державки 7 для крепления чизельных рабочих органов. Кроме того, на стойки 8 монтируются долота 9 с плоской подошвой, которые устанавливаются на стойку под углом в  $35^\circ$  ко дну борозды и выполняются в виде клина с заострением в  $10...15^\circ$ . Для того чтобы изменять угол атаки дисковых орудий 15, к переднему брусу 2 крепится подвижная секция 10, представляющая собой квадратную трубу с осью 11, которая жестко закреплена на неподвижной раме 1.

Поворотный брус 10 имеет кронштейны 12, на которые крепятся подшипниковые узлы 14, монтируемые на стойках 13, при помощи жестких связей. На подшипниковые узлы 14 устанавливаются сферические диски 15, служащие средством для оборота пласта почвы.

Работает этот агрегат по следующей технологической схеме: при движении трактора по полю с навешенным на его заднюю навеску с проектируемым плугом, чизельные рабочие органы 7 заглубляются в почву и рыхлят его. Рабочие органы установлены в два ряда и стоят в шахматном порядке, они предназначены для рыхления почвы от 20 до 30 см. После прохода чизельных орудий следом за ними следует два ряда сферических дисков 7, которые устанавливаются под разным углом в зависимости от типа почвы и обрабатываемой культуры, производящие крошение верхнего пласта почвы и его частичное выравнивание. Последней операцией данного комбинированного пахотного агрегата является прикатывание и уплотнение обработанного слоя почвы (рисунок 1.8).

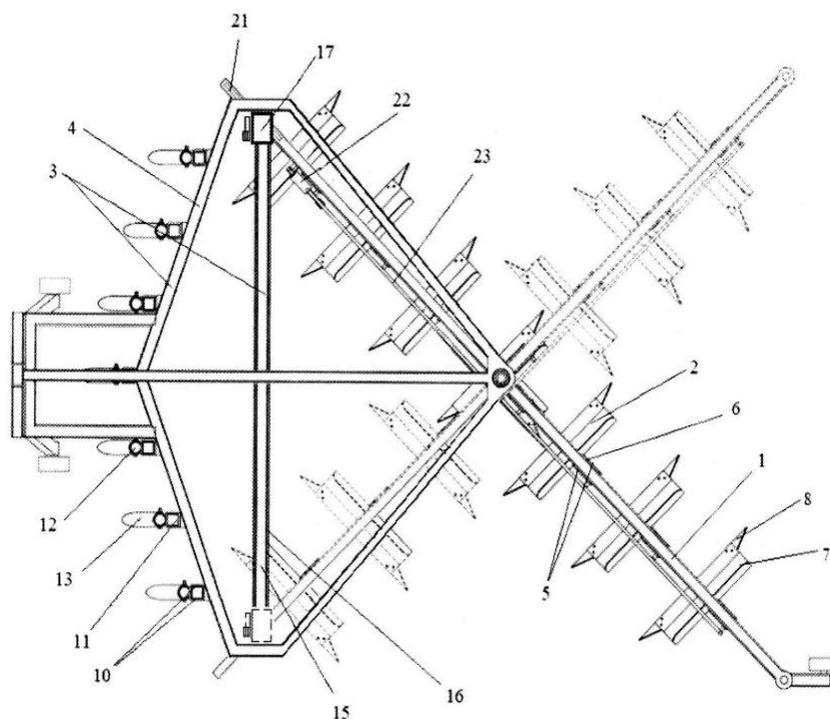


Рисунок 1.8 – Схема многофункционального плуга с поворотным брусом, вид сверху

Многофункциональный плуг с поворотным брусом представляет собой раму, которая состоит из двух секций – неподвижной рамой 3 и подвижной рамой 1, которые соединены между собой при помощи шарнирной связи. Неподвижная рама 3 и подвижная рама 1 представляют собой трубу квадратного профиля. На подвижной раме 1 крепятся отвальные корпуса 2 для гладкой вспашки, а на подвижной раме 3 имеются крепления для переднего бруса 4, который является точкой крепления чизельных рабочих органов, передний брус 4 имеет механизм поворота. К неподвижному бруску 1 монтируются симметричные парные кронштейны 5, на которые устанавливаются отвальные корпуса 2, представляющие собой отвалы 7, закрепленные на специальных стойках 6.

Отвал 7 выполнен в виде вогнутых прямоугольных пластин, к которым монтируются симметрично расположенные двухсторонние лемеха 8, у которых с тыльной стороны имеются зубовые пальцы 9.

На неподвижном бруску 4 имеются кронштейны 10, при помощи которых к неподвижному бруску 4 стыкуются безотвальные рабочие органы, имеющие пластинчатые перфорируемые державки 11, которые жестко крепятся к трубным

стойкам 12. Они устанавливаются на стойку под углом в  $35^\circ$  ко дну борозды и выполняются в виде клина с заострением в  $10...15^\circ$  (рисунок 1.9).

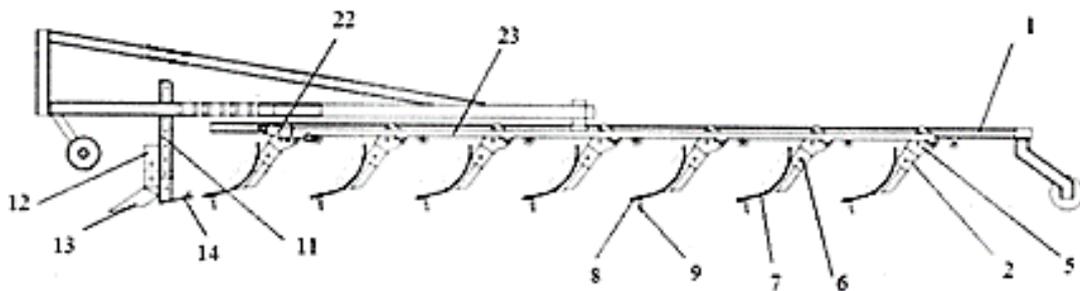


Рисунок 1.9 – Схема многофункционального плуга с поворотным брусом

На переднем неподвижном бруске 4 можно заметить поперечину 15, на которую устанавливается специальная каретка 17, при помощи зубчатой рейки 16 располагающейся по всей длине поперечины 15. На каретки 17 имеется водило 18, которое приводится в действие электродвигателем посредством червячного привода 19. Червячный привод 19, который устанавливается на каретки 17 имеет кинематическую связь с зубчатой рейкой 16, при помощи установленной на нем шестерни 20 (рисунки 1.10, 1.11).

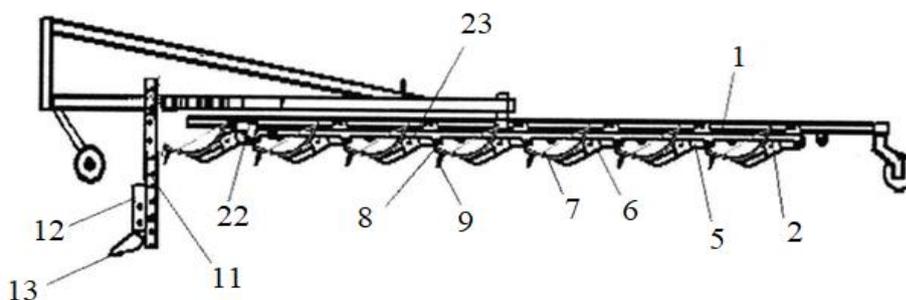


Рисунок 1.10 – Общий вид многофункционального плуга с поворотным брусом

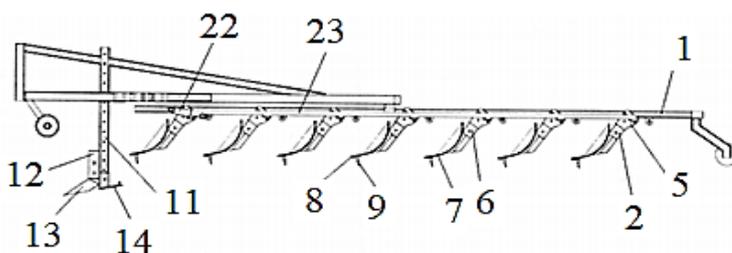


Рисунок 1.11 – Общий вид многофункционального плуга с поворотным брусом для рыхления и боронования

Недостатком многофункционального плуга считают невозможность регулирования глубины обработки, а также обработки разного типа почв. Орудие комбинированное почвообрабатывающее КПО-4 (рисунок 1.12) предназначено для предпосевного рыхления на глубину до 16 см с одновременным прикатыванием, а также борьбы с сорной растительностью. КПО-4 применяют при осенней обработке почвы и обработки пара. Машина получилась действительно универсальной. Недостатком можно считать – необходимость в тракторе класса 3 и выше для гусеничных и 4 для колесных энергосредств.



Рисунок 1.12 – Общий вид, комбинированного почвообрабатывающего агрегата КПО-4 (Сибгромаш)

Орудие, комбинированное почвообрабатывающее КПО-4 комплектуется сразу тремя разными типа почвообрабатывающих орудий. Это стрельчатые лапы, расположенные в два ряда с перекрытием, сдвоенные сферические диски [121, 124, 133, 139] и прикатывающие роторные катки.

При необходимости одни виды орудий могут заменяться другими для расширения функционала работы данного агрегата.

Недостатком такого орудия является не приспособленность для засушливого земледелия, повышенные энергозатраты технологического процесса. Агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6 (рисунок 1.13) был спроектирован для минимальной обработки почвы на глубину до 16 см. Он используется практически на всех работах будь то культивация стерни или подготовка па-

ра с одновременной предпосевной культивацией, и обработка почвы после уборки картофеля и сахарной свеклы.



Рисунок 1.13 – Агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6

Недостатком агрегата является не приспособленность для засушливого земледелия, повышенные энергозатраты технологического процесса и габариты, необходимость подбора марки тракторов.

Компания *KUNH* разработала комбинированный, позволяющий в сжатые сроки совершать 4 операции за один проход агрегат [126, 127] (рисунок 1.14). К данным операциям относятся измельчение стерни при помощи установки двух рядов сферических наклоненных дисков, четырех рядов стоек для рыхления почвы с одновременным закрытием влаги и одного ряда выравнивающих дисков с предохранительными клапанами и катка *HD-Liner 700*, который обеспечивает своевременное и равномерное прикатывание за счет равномерно распределенной нагрузки в 225 кг/м.



Рисунок 1.14 – Общий вид комбинированного агрегата *KUNH Performer*

Недостаток агрегата является не подходит для разного типа почв, высокие энергозатраты. Все из вышеперечисленных орудий можно использовать как по отдельности для различных операций, так и совместно в различных сочетаниях, что обеспечит возможность своевременного и быстрого выполнения различных операций.

Агрегат универсальный комбинированный ПАУК-4,5 (рисунок 1.15) используется многими хозяйствами для безотвальной основной обработки стерни, а также предпосевной обработки с последующим посевом колосовых-зерновых и пропашных культур. Данный агрегат разработан с целью замены обычной отвальной обработки почвы на глубокое рыхление, в результате чего повышается производительность за смену до трех раз, а себестоимость работы такого агрегата почти в 3,5 раза ниже, чем у отвального плуга за счет меньшего сопротивления почвы и менее энергонасыщенного трактора.

Технологический процесс комбинированного универсального агрегата ПАУК-4.5 состоит из следующих операций: два ряда плоскорежущих лап производят подрезание пласта почвы, с последующим его рыхлением. Такие ножи предназначены для подрезания сорной растительности. После чего один ряд дисковых ножей [52] обеспечивает полное крошение пласта и его частичное выравнивание с одновременным измельчением и заделкой в почву пожнивных остатков и вредоносных растений. Затем при помощи роторного катка происходит окончательное выравнивание и уплотнение верхнего слоя почвы.



Рисунок 1.15 – Общий вид агрегата универсального комбинированного ПАУК-4.5

Конструктивно данный агрегат выполнен следующим образом: на цельно-сварную раму крепятся передний и задний продольные брусья, крайние из которых изготавливаются из труб поперечного сечения для обеспечения жесткости конструкции, а оставшиеся восемь изготовлены из уголков, сваренных между собой и представляющих T-образное сечение. В каждом из десяти продольных брусьев имеется по два отверстия, одно из которых выполнено круглым, а второе серповидным для возможности регулировки наклона стреловидных стоек. К переднему брусу приварены быстросъемные кронштейны трехточечной навески, для его навешивания на трактор.

В качестве основного рабочего органа ПАУК-4.5 комплектуется 11 плоско-режущими стреловидными лапами, жестко закрепленными на стойках, которые представляют собой клинообразное сечение для лучшего крошения пласта почвы и уменьшения коэффициента сопротивления почвы.

К раме при помощи шарнирного механизма крепится дисковая батарея под углом по ходу движения. На шарнирном механизме предусмотрены пружины, для создания необходимого прижимного усилия дисков к почве.

Роторный каток представляет собой сварную конструкцию из дисков и дугообразных полос, которая крепится к раме при помощи специальной рамки с установленными на ней подшипниковых опорах. Недостатком агрегата ПАУК-4.5 является высокая металлоемкость и энергоемкость.

Представленный на рисунке 1.16 агрегат служит для безотвальной пахоты с разрушением плужной подошвы. Кроме того, предназначен заменить весеннюю и осеннюю пахоту. Поэтому данный агрегат возможно использовать как средство для глубокого рыхления и обработки склонов. Плуг ПЧ-4 способен обеспечивать рыхление почвы на глубину до 45 см и может работать в следующих условиях: твердость почвы до 4 МПа, влажность в пределах 22–25 % и удельным сопротивлением почвенного фона до 0,12 Мпа [97].

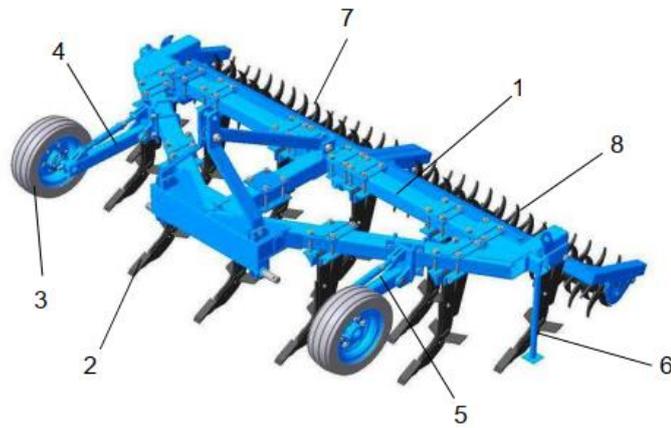


Рисунок 1.16 – Общий вид плуга чизельный ПЧ-4

Такой агрегат комплектуется катком, который устанавливается на раму в задней части при помощи подъемных кронштейнов. Он разрабатывался с целью разрушения плужной подошвы, наличие которой препятствует проникновению в глубь как корневой системы растений, так и затрудняет проход капиллярной жидкости в результате чего получается сухая почва. Помимо того, что при чизельной обработке поверхности почвы не происходит заделка стерни и пожнивных остатков, что способствует влагозадержанию в недрах земли и как следствие лучшей урожайности сельскохозяйственных культур.

Чизельный плуг ПЧ-4 состоит из следующих основных частей: рама 1, на которую при помощи хомутов крепятся одиннадцать рабочих органов, которые представляют собой чизельные стоки 2 с установленными на них долотами, при помощи шарнирного механизма 4 и 5 к раме 1 крепятся два опорных колеса 3.

По краям поперечной балки рамы 1 с помощью кронштейнов устанавливаются две опорные лапы 6, а в задней части поперечной балки 1 при помощи шарниров укрепятся два прикатывающих катка левый 7 и правый 8.

Недостатком плуга чизельного ПЧ-4,0 является неприменимость его для обработки тяжелых почв, высокие энергозатраты технологического процесса.

Инженеры-конструкторы Д. А. Голованов, В. Ф. Клюстер была предложена конструкция чизельного плуга рыхлителя (рисунок 1.17).

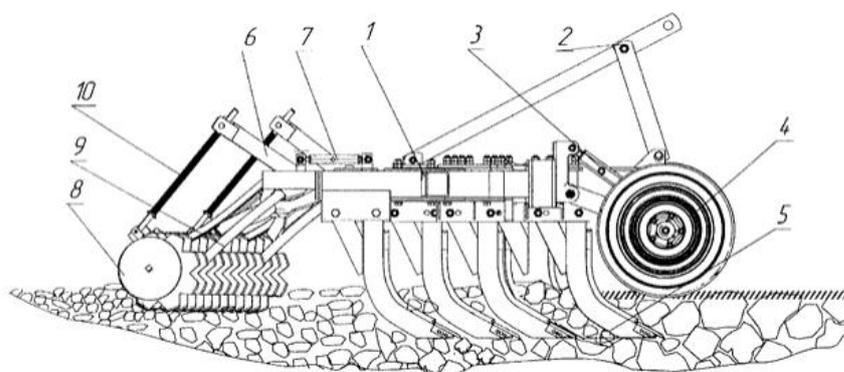


Рисунок 1.17 – Схема чизельного плуга рыхлителя (патент RU58004)

Данный чизельный плуг рыхлитель был разработан для качественного крошения верхнего пласта почвы старопахотных солонцов, а также крошение плужной подошвы, которая образовывалась при ранее проводимых на данных участках лемешных и гладких вспашек.

На треугольной раме 1 хомутами крепятся рабочие органы 5, которые представляют собой чизельные стойки с установленными на них долотами. Для навешивания на трактор у данной конструкции имеется трехточечная навеска 2, обеспечивающая жесткое и надежное соединение с транспортирующим агрегатом. Для уменьшения нагрузки на заднюю навеску трактора у чизельного плуга рыхлителя имеются два опорных колеса 4, при помощи которых можно изменять глубину обработки благодаря наличию механизма регулировки 3 высоты установки опорных колес 4.

Для эффективного крошения и выравнивания верхнего слоя почвы к задней части треугольной рамы 1 крепится с помощью дополнительной рамы 6, дисковая батарея 9. Фиксация дисковой батареи 9 на дополнительной раме 6 осуществляется посредством шарнирного крепления при помощи подшипникового узла.

Для необходимости изменения угла атаки дисковых борон на раме 1 предусмотрены специальные регуляторы 7, которые способствуют изменению угла постановки дисковых орудий относительно продольной оси движения пахотного агрегата в диапазоне значений от 0...25°. Для того, чтобы дополнительно нагрузить

дисковую батарею 9 в целях создания необходимого эффекта прижимания орудий к почве на дополнительной раме 6 предусмотрены подпружиненные штанги 10.

Недостатком чизельного плуга рыхлителя является отсутствие возможности регулирования глубины обработки, только при помощи прижимных штанг создается эффект прижатия. После прохода данного агрегата появляется необходимость производить прикатывание почвы.

Представленный на рисунке 1.18 комбинированный почвообрабатывающий агрегат представляет собой несущий брус 1, на который крепятся рабочие органы агрегата, параллельно которому при помощи двух навесок 2 и 3 монтируется измельчитель 4.

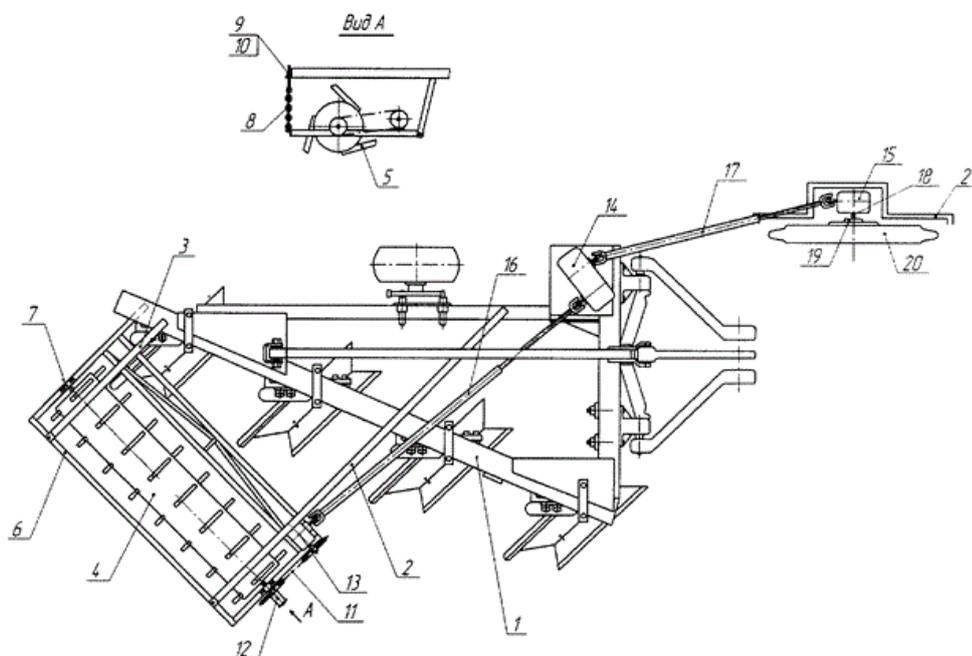


Рисунок 1.18 – Схема комбинированного почвообрабатывающего агрегата  
(патент RU125014)

Измельчитель 4 представляет собой конструкцию, которая состоит из цилиндрического барабана, к которому по его поверхности крепятся рабочие органы, представляющие собой режущие ножи 5, изготавливаемые из рессорной стали, и монтируемые между собой под углом  $120^\circ$ . При помощи рамы 6 измельчитель 4 устанавливается, так чтобы вращаться только вокруг своей продольной оси, благодаря установке подшипниковых узлов 7 на раме 6 измельчителя 4. При помощи

шарнирной связи кронштейн 2 соединяет между собой раму 6 измельчителя 4 несущий брус 1. Данная шарнирная связь позволяет производить регулировку в вертикальной плоскости установки рамы 6 измельчителя 4.

Далее задний конец рамы 6 измельчителя 4 с помощью гибкой связи 8 общается с кронштейнами 2 и 3 крепления рамы 6 измельчителя 4, благодаря чему имеется возможность регулировки высоты установки рамы 6 измельчителя 4. Глубина обработки ножей 5 задается при помощи установки рамы 6 измельчителя 4 на нужной высоте при помощи двух регулировочных болтов 9 и 10. Перевод измельчителя 4 из рабочего в транспортное положения осуществляется при помощи гидроцилиндра подъема и опускания. В результате конструкторами был выбран диапазон установки угла наклона измельчителя 4 относительно несущего бруса 1 в интервале от 20...25 °, данный угол зависит от параметров и типов обрабатываемой почвы.

Конструктивно для лучшего крошения обработанного пласта почвы на приводе измельчителя 4 имеется возможность изменять передаточное число на следующие значения 0,1 и 0,2, при этом измельчитель 4 будет вращаться в 5 или 10 раз быстрее, чем ведущая звездочка гусеничного трактора. Это сделано для необходимости проводить качественное крошение глыб и выравнивания поверхности поля, а также для уменьшения тягового сопротивления измельчителя 4. Изменение передаточного числа измельчителя 4 становится возможным благодаря цепной передаче 11, на которой установлена предохранительная муфта 12, а также трех конических и цилиндрических редукторов 13, 14 и 15. Они монтируются на двух телескопических валах 16 и 17, имеющих квадратное поперечное сечение.

При помощи разъемного соединения к ведущей звездочки 20 левой гусеницы трактора при помощи металлической планки 19 монтируется конический редуктор 15, выходной вал которого сообщается с валом 18. При работе данного комбинированного почвообрабатывающего агрегата происходит следующий технологический процесс.

При подъезде к полю механизатор опускает комбинированный почвообрабатывающий агрегат на почву, после чего при помощи гидроцилиндра подъема и опускания измельчитель 4 устанавливается таким образом, чтобы ножи 5 не касались поверхности почвы.

При первом проходе агрегата измельчитель 4 отключен от привода, а когда агрегат начинает второй проход, то механизатор при помощи болтового соединения возвращает металлическую пластину 19 в первоначальное положение, прикрепляя ее к ведущей звездочке 20 трактора. При помощи болтового соединения устанавливает высоту измельчителя 4 таким образом, чтобы ножи 5 входили во вспаханную часть поля на глубину 8–10 см.

Недостаток комбинированного почвообрабатывающего агрегата – высокие энергетические затраты технологического процесса. Дискатор-глубококорыхлитель ДГР-5.7 используется в качестве орудия для основной обработки почвы без оборота пласта на глубину до 12 см (при использовании плоскорежущих лап) и на глубину до 40 см (при комплектовании дискатора-глубококорыхлителя ДГР-5.7) глубококорыхлящими лапами (рисунок 1.19).



Рисунок 1.19 – Общий вид дискатора-глубококорыхлителя ДГР-5.7

Данная машина одновременно комплектуется дисковыми батареями, способными производить обработку почвы на глубину до 10 см, глубококорыхлителями или плоскорежущими лапами и прикатывающими катками. Благодаря этим рабо-

чим органам удастся за один проход дискатора-глубококорыхлителя ДГР-5.7 выполнять следующие технологические операции: измельчение и перемешивание пожнивных остатков, разрушение плужной подошвы и уплотненного пласта почвы его крошение и прикатывание с одновременным выравниванием.

Конструктивно данный аппарат выполнен следующим образом: дисковые секции состоят из сферических дисков, которые монтируются на индивидуальной подпружиненной стойке, так пружина выполняет роль предохранителя, обеспечивая при этом защиту от перегрузок и излома плоскорезов. Все рабочие органы за исключением катков крепятся к раме посредством разъемного соединения. Два ряда прикатывающих катков монтируются на раму при помощи специальных кронштейнов посредством установки осей катков в подшипниковые узлы [67].

Недостаток дискатора-глубококорыхлителя ДГР-5.7 – высокие удельные энергозатраты, не обрабатывающие тяжелые почвы с коэффициентом сопротивления почвы 150 МПа.

Агрегат комбинированный чизельный АКЧ-4 (рисунок 1.20) был спроектирован для безотвальной обработки всех типов почв с одновременным рыхлением на глубину до 18 см. Данный агрегат также за один проход способен выполнять ряд различных сельскохозяйственных операций, к которым можно отнести: глубокое рыхление, подрезание сорной растительности и ее заделка в почву, прикатывание обработанного участка.

По сравнению со своими аналогами имеет меньшее тяговое сопротивление за счет оптимально подобранной конструкции S-образных стоек, благодаря чему удастся добиться меньшего расхода топлива при той же производительности. Благодаря росту производительности удастся добиться выполнения заданной технологической операции в более короткие сроки, что приводит к увеличению количества влаги в почве.



Рисунок 1.20 – Общий вид агрегата комбинированного чизельного АКЧ-4

Недостаток агрегата – подходит не для всех типов почв, повышенные энергозатраты. Многофункциональный комбинированный почвообрабатывающий агрегат, представленный на рисунке 1.21 предназначен для дискования с одновременным глубоким рыхлением на глубину до 45 см. Такое приспособление может комплектоваться различными вариациями рабочих органов, которые могут выполнять как основную обработку почвы с оборотом пласта, так и основную обработку почвы без ее оборота при комплектовании данного агрегата чизельными стойками.



Рисунок 1.21 – Многофункциональный комбинированный почвообрабатывающий агрегат

Если говорить о скорости обработки почвы, то у данного многофункционального комбинированного почвообрабатывающего агрегата сменная производительность почти в три раза выше, по сравнению с обычными отвальными плугами при той же ширине захвата и глубине обработки.

Дискаторы, которые устанавливаются на данный агрегат, не имеют способности изменять глубину обработки в зависимости от твердости и влажности почвы, как это происходит у обычных дисковых орудий.

Дисковые орудия данного агрегата позволяют производить заделку пожнивных остатков на глубину до 12 см, тем самым повышая анаэробные свойства почвы и, как следствие, повышает урожайность будущих культур.

В дисковых глубокорыхлителях данной конструкции используются диски, представляющие собой вращающийся корпус с установленным на нем фланцем, при помощи которого диски [130] крепятся к корпусу болтовым соединением.

Чизельные рабочие органы, как и их долота выполнены из легированной закаленной стали твердостью 60–65 HRC.

Недостаток многофункционального комбинированного почвообрабатывающего агрегата – высокие энергетические затраты.

Далее для выравнивания и уплотнения обработанной поверхности поля на многофункциональном комбинированном почвообрабатывающем агрегате (рисунок 1.22) предусматривается установка винтовых или трубнопанчатых катков.



Рисунок 1.22 – Многофункциональный комбинированный почвообрабатывающий агрегат АДЛ-3

ВИМе конструкторами была разработана конструкция комбинированного почвообрабатывающего агрегата АДЛ-3, который предназначен для предпосевной и осенней обработки почвы под сев озимых и яровых культур с максимальной глубиной обработки до 30 см. Конструктивно в качестве рабочих органов были выбраны двухдисковые секции диаметром 510 мм в первом ряду и 560 мм на втором ряду, которые имеет возможность регулировки угла атаки в диапазоне от 16 до 28 ° [94].

Данная конструкция имеет возможность комплектования как стрелчатými лапами с возможностью обработки почвы на глубину 16 см и чизельными стойками для безотвальной обработки почвы с обработкой на глубину до 30 см. Все рабочие органы имеют шарнирное крепление и монтируются на раме плуга, на которую устанавливаются катки. Рама представляет собой трубчатую конструкцию, которая шарнирно соединяется с основной рамой агрегата.

Недостаток агрегата АДЛ-3 – отсутствие возможности регулировать глубину обработки почвы, высокую металлоемкость. Представленный на рисунке 1.23 культиватор плоскорез КПШ-9 используется преимущественно в степных районах России и Казахстана, где значение влажности и твердости почвы колеблется в различных пределах и уклонах местности до 8 °.

Конструктивно данный агрегат выполнен следующим образом: к передней раме 1 жестко привариваются поперечные брусья 2, к которым, с другой стороны, приваривается задний брус 3. Для соединения трактора и агрегата КПШ-9 на передней раме 1 предусматривается установки снiцы 4, с установленной на ней гидроцилиндром 10 подъема-опускания рабочих органов. На поперечные брусья 1 при помощи болтового соединения жестко крепятся рабочие органы 5, которые представляют собой стреловидные культиваторные лапы с возможностью обработки почвы на глубину до 18 см.

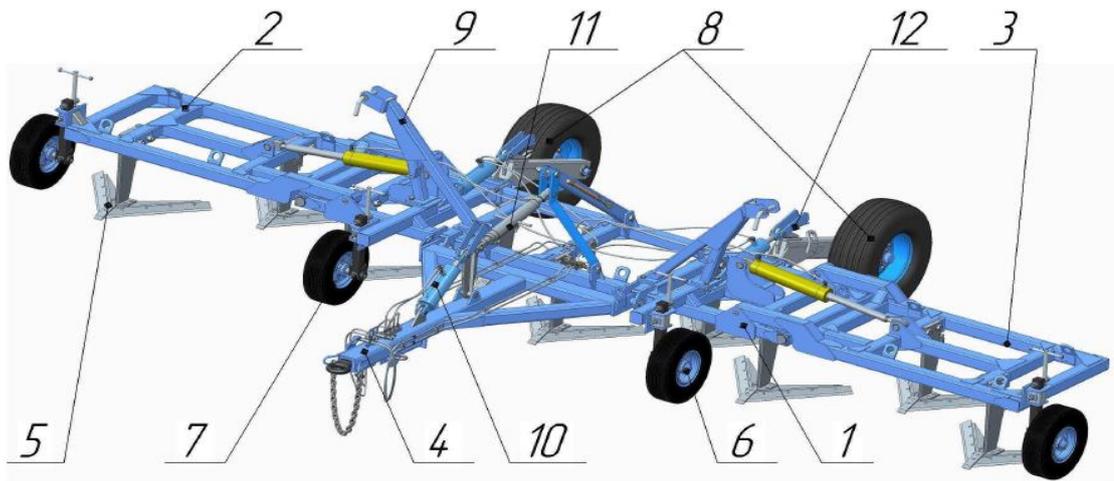


Рисунок 1.23– Общий вид культиватора плоскореза КПШ-9

Для установки глубины обработки на передней раме 1 устанавливаются четыре опорных колеса 6 при помощи подшипникового узла 7. При транспортировке культиватора плоскореза КПШ-9 по дорогам общего пользования часть массы машины приходится на заднюю навеску трактора, а оставшаяся большая часть массы приходится на шасси 8 данного агрегата, которые монтируются к регулируемым распоркам 12. Далее, для того, чтобы перевести культиватор плоскорез КПШ-9 из рабочего положения в транспортное, механизатору необходимо при помощи гидроцилиндров подъема поднять боковые секции агрегата в транспортное положение и опереть их на ловители 9.

Недостаток культиватора плоскорез КПШ-9 – отсутствие механизма, регулирующего заглубление рабочих органов.

Анализ большинства серийных агрегатов для обработки почвы показал повышенные энергетические затраты и металлоемкость конструкций, отсутствие регулирования глубины обработки, невозможность обработки разных типов почв.

### **1.3 Анализ рабочих органов в комбинированных агрегатах для гладкой вспашки**

Дисковые рабочие органы устанавливаются на плугах, луцильниках, боронах [23], сеялках, комбинированных машинах и дискаторах (рисунок 1.24).

Рабочие органы, устанавливающиеся на культиваторы и иные почвообрабатывающие машины и механизмы принято разделять на: подрезающие вычесывающие, присыпающие и органы специального назначения.



Рисунок 1.24 – Классификация дисковых рабочих органов по С. И. Старовойтову

На данный момент времени все современные производители сельскохозяйственной техники оборудуют плуги обратными лемехами с долотообразным лемехом, большая часть из которых выполнена в виде цельных долот без выступающих элементов.

Как показывает практика сегодня большее предпочтение отдается составным лемехам, которые устанавливаются на плуги, представленные в литературе [65, 129, 128, 122].

Учеными В. В. Бледных, Н. К. Мазитовым и Р. С. Рахимовым были разработаны почвообрабатывающие машины (таблица 1.1), которые начали выпускать на заводах АО «Варнаагромаш» и ЗАО ИПП «ТехАртКом» универсальные и лемешно-роторные плуги, а также плуги-рыхлители с чизельными рабочими органами для тракторов класса I, II, III, IV и V.

Таблица 1.1 – Почвообрабатывающие машины, выпускаемые заводами АО «Варнаагромаш» и ЗАО ИПП «ТехАртКом»

Тип плугов	Тип рабочего органа	Особенности	Преимущества
Универсальные	Сменные, отвальный корпус	Меняются в зависимости от погодных условий, типа почвы и вида обработки	Экономия материала на изготовление орудий, сокращает затраты на содержание парка сельскохозяйственных машин, улучшает технико-экономические показатели
Плуг-рыхлитель [70]	Чизельные стойки	Разуплотняют почву, устраняют плужную подошву	Уменьшает их длину, улучшает устойчивость агрегата при транспортировке, снижает нагрузку на навеску и ходовую систему трактора
Лемешно-ротторные	Лемешно-отвальный корпус с укороченным отвалом и лемехом, ротор с вертикальной осью вращения [69]	Обрабатывают почву под овощные и технические культуры, внутрипочвенная заделка мелиорантов, навоза и сидератов на глубину 25–27 см с дополнительным крошением пласта на полях со стерней колосовых и др. культур сплошного сева	В 2 раза и более сокращается потребность в тракторах и топливе, сохраняется влага

В целях совершенствования и создания новых эффективных комбинированных рабочих органов В. А. Шмонин, Н. В. Вольф изучали процесс взаимодействия отдельных элементов с почвой и исследовали факторы, влияющие на агротехнические показатели и изменение затрат энергии [40].

Анализ различных направлений развития почвообрабатывающих орудий показал эффективность и перспективность средств и способов обработки почвы, что позволит применить в комбинированных плужных корпусах и повысить урожайность сельскохозяйственных культур на 15–20 % [116, 117].

Конструктивно данный элемент (рисунок 1.25) выполнен следующим образом. К лапе 1 при помощи заклепочного соединения монтируются лемеха правый 3 и левый 4, а в передней части лапы размещается долото 1, которое также при

помощи заклепочного соединения монтируется на лапу 5. Для установки угла атаки плоскорежущей лапы на стойке 2 имеется специальный упор 6, монтируемый к стойке 2 при помощи болта 7, перемещая который удастся изменять смещения продолговатого отверстия, расположенного в верхней части стойки 2.

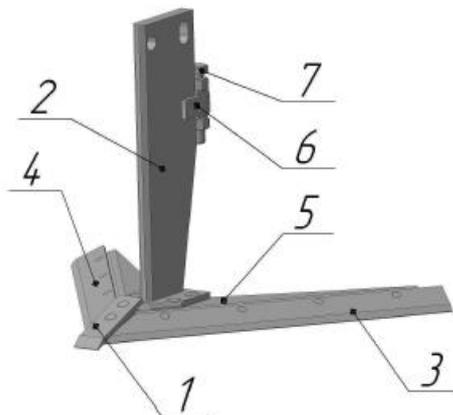


Рисунок 1.25 – Плоскорежущая лапа

#### **1.4 Научные исследования по изучению параметров и режимов работы комбинированных агрегатов для гладкой вспашки**

Ю. А. Кузыченко основную обработку по общепринятой в зоне технологии на Ставрополье проводили отвальным плугом ПП-9-35+БИГ-3+ККШ на глубину 20–22 см, дисковой бороной БД-6,6 на 8–10 см и чизельным плугом ПЧН-4 на глубину до 35 см. Для осуществления ресурсосберегающей технологии  $P_1$  авторы использовали комбинированный агрегат АКМ-6 (глубина обработки до 16 см), для  $P_2$  – тяжелый культиватор КРГ-8.6 (глубина обработки 12–14 см) [58, 59, 62].

С. Л. Дёмшин, Д. А. Черемисинов, Е. А. Владимиров в НИИСХ Северо-Востока [26] для основной обработки почвы разработали плуг-плоскорез ППН-3-35/2-70 для тракторов тягового класса I, IV (рисунок 1.26).



Рисунок 1.26 – Общий вид плуга-плоскореза ППН-4-35/3-70

Развитию исследований в области механизации процессов обработки почвы [10] и посева семян способствовали классические труды основоположника земледельческой механики академика В. П. Горячкина. Б. Д. Докин [38] рекомендует диаметр барабана увеличить по сравнению с  $h_{OBmax}$  на 3–4 см, т. е. для пропашных фрез следует исходить из соотношения [118]:

$$\frac{h_{OBmax}}{D_B} = 0,35 \dots 0,40, \quad (1.1)$$

где  $h_{OBmax}$  – максимальная глубина обработки почвы, м;  $D_B$  – диаметр барабана рабочего органа активного действия комбинированного пахотного агрегата, м.

И. С. Полтавцев [92] для ротационных машин, имеющих небольшую частоту вращения, описывает формулу:

$$\frac{2h_{OBmax}}{D_B}. \quad (1.2)$$

Для предлагаемого рабочего органа барабана можно принять  $D_B = 40 - 50$  см [103]. Согласно данным Ю. И. Матяшина, И. М. Гринчука, Г. М. Егорова для попутного фрезерования цилиндрическим барабаном, ось которого горизон-

тальна и фронтальна,  $\gamma = 0$ ,  $\beta = 0$  высота гребня находится по следующим формулам [94]:

$$\frac{\pi}{z} = \lambda \cdot \sin \alpha_2 \mp \alpha_2, \quad (1.3)$$

$$\frac{h_2}{R} = (1 - \cos \alpha_2), \quad (1.4)$$

где  $h_2$  – высота гребня, м;  $R$  – радиус диска по концам ножей.

Уравнения (1.4), (1.5) позволяют приближено определять угол  $\alpha_2$ , высоту гребня  $h_2$  или соотношение  $\frac{h_2}{R}$  [121].

В своих трудах профессор А. С. Путрин подробно изложил проблему уменьшения тягового сопротивления плуга. Он рассмотрел взаимодействие почвенных с различными поверхностями рабочих органов, начиная от плуга и заканчивая комбинированными агрегатами [95, 96].

А. С. Путрин пришел к аналитической модели перемещения рабочего органа плуга в пространстве. Данные исследования используются современными конструкторами для расчета энергетических и технологических затрат и выявления их характеристик [95].

И. М. Панов, В. И. Ветохин определили, что при работе плуга ПРН-5-35 наибольшее усилие было направлено на деформацию растяжения S-образного долота, а предел его прочности был снижен на 35–40 %. Это явление описал в своей работе Баушингер. Он отметил, что S-образный нож, врезаюсь в почвы рыхлит ее, создавая деформацию сдвига, при которой достигается минимальное сжатие [39].

Для объективной оценки эффективности технологического процесса основной обработки почвы И. Т. Ковриков, Д. П. Юхин ввели формулу [53]:

$$P = m \cdot g \cdot f + ab \cdot (k + \varepsilon \cdot v^2)^2, \quad (1.5)$$

где  $P$  – тяговое сопротивление плуга, Н;  $m$  – масса плуга, кг;  $f$  – коэффициент пропорциональности (сопротивления протаскиванию плуга в открытой борозде);

$k$  – коэффициент, характеризующий сопротивление пласта различных почв деформации (удельное сопротивление почвы),  $H/m^2$ ;  $a$  – глубина пахоты, м;  $b$  – ширина захвата плуга, м;  $\varepsilon$  – коэффициент скоростного сопротивления, зависящий от параметров (геометрической формы) рабочего органа почвообрабатывающего орудия и свойств почвы,  $H \cdot c^2 / m^4$ ;  $v$  – скорость, м/с.

Она позволяет определить переменные-составляющие тягового сопротивления: выбор размеров сечения пласта, характеристику почвы, геометрические параметры почвообрабатывающего органа скоростного режима технологического процесса [121].

И. Т. Ковриков, Д. П. Юхин получили основные законы изменения основных углов, характеризующих лемешно-отвальную поверхность джойнтера, обуславливающую минимальную энергоемкость отвальной обработки верхнего корнеобитаемого слоя пахотного горизонта [53].

И. М. Бартенев на основе анализа различных способов динамического воздействия на почвенный пласт определил менее энергоемкий и эффективный способ разрушения, который совмещает кинетически ударное и ударно-отражательное крошения. Ударно-отражательное крошение следует за кинетическим ударным, а в качестве его преграды выступает пахотный слой от предыдущего прохода пахотного агрегата [8, 91].

В. А. Романенко, Е. И. Трубилин в своих научных трудах описали усилие необходимое для того, чтобы подобрать необходимый трактор, который будет способен с легкостью эксплуатировать тестируемый плуг. Данное усилие принято называть тяговое сопротивление плуга. Этот фактор зависит от многих факторов: конструктивных характеристик плуга (формы, размера, ширины захвата как отдельно взятого корпуса плуга, так и всего плуга, глубины обработки почвы), физико-механические свойства почвы (тип грунта, его влажность, твердость, прочность и другие), технические характеристики выполняемой работы (рабочая скорость движения трактора), а также многие другие факторы.

Ими было установлено, что усилие, которое тратится на отрезание пласта почвы, его крошение и оборот называется полезным сопротивлением.

Усилия, которые возникают в результате сил трения стенки борозды о полевою доску, сил трения дна борозды о носок лемеха, сил трения почвы о поверхность отвала и другие силы трения, возникающие при прохождении корпуса плуга в пахотном слое – вредные сопротивления.

Экспериментальным путем В. А. Романенко и Е. И. Трубилин вывели формулу, по которой можно примерно рассчитать вредное сопротивление плуга [44]:

$$P_1 = 9,8 \cdot f \cdot m, \quad (1.6)$$

где  $f$  – коэффициент пропорциональности, который определяется типом почвы и почвенном агрофоне.

При расчете полезного сопротивления его удобнее разделить на две составляющих, одна из которых  $P_2$  – сопротивление, которое возникает при деформации пласта и  $P_3$  – сопротивление при обороте пласта и отбрасывании его в сторону.

Сопротивление  $P_2$  опытным путем было найдено как произведение площади поперечного сечения пласта на коэффициент деформации:

$$P_2 = k \cdot a \cdot b \cdot n, \quad (1.7)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий сопротивление пласта различных деформаций,  $k = 20 \dots 50$  кН/м<sup>2</sup>;

$a$  – глубина вспашки, м;

$b$  – ширина захвата одного корпуса, м;

$n$  – число корпусов.

Сопротивление  $P_3$  было установлено опытным путем и равняется произведению квадрата рабочей скорости пахотного агрегата на площадь поперечного сечения обрабатываемого пласта почвы:

$$P_3 = k \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2, \quad (1.8)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий форму рабочей поверхности корпуса плуга и свойств почвы кН/м<sup>2</sup>;

$V^2$  – скорость движения агрегата, м/с.

Исходя из выше представленных формул, общее тяговое сопротивление плуга можно найти по формуле:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 9,8 \cdot f \cdot m + k \cdot a \cdot b \cdot n + k \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2. \quad (1.9)$$

Данную зависимость установил известный профессор В. П. Горячкин, тогда эта зависимость приобрела название – рациональная формула силы тяги плуга. При помощи этого выражения можно определить основные факторы, влияющие на общее тяговое сопротивление пахотного агрегата, а также способы его снижения. Такие факторы как глубина вспашки, неправильная регулировка всех технологических настроек плуга в значительной степени влияют на его тяговое сопротивление и как результат в сильной мере повышают затраты на проведение данной технологической операции.

При проведении пахотных работ общее сопротивление плуга непрерывно изменяется и имеет скачкообразный характер, поэтому при подборе трактора пользуются усредненной формулой:

$$P = k_c \cdot a \cdot b \cdot n, \quad (1.10)$$

где  $k_c$  – коэффициент, характеризующий сопротивление почвы.

Проведенные исследования В. Ф. Клеина, А. И. Михайлова, В. А. Щербакова показывают, что повышение производительности почвообрабатывающих агрегатов происходит за счет оптимизации соотношения массы трактора и мощности двигателя [49].

Производительность при отсутствии ограничений (теоретическая производительность) агрегата ( $W$ , га/ч) определяется по формуле (1.12):

$$W = C_w \cdot B_k \cdot V_m = C_w \cdot \frac{P_{кр} \cdot V_p}{K \cdot K_6} \quad (1.11)$$

где  $C_w$  – коэффициент размерности;

$B_k$  – конструктивная ширина захвата агрегата;

$V_m$  – скорость движения агрегата без учета буксования движителей трактора;

$P_{кр}$  – тяговое усилие трактора;

$V_p$  – рабочая скорость движения агрегата;

$K$  – удельное сопротивление рабочего органа;

$K$  – коэффициент буксования движителей трактора.

Таким образом, отсутствуют теоретические исследования по определению тягового сопротивления почвы дисковых рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов для гладкой почвы с учетом разных значений коэффициента сопротивления почвы и скорости его движения, а также силы реакции чизеля его на почву, обоснованию их конструкции.

### 1.5 Выводы. Цель и задачи исследования

На основе проведенных научных исследований и их анализ можно сделать следующие выводы:

1. Анализ большинства серийных комбинированных почвообрабатывающих агрегатов показал, что они обладают повышенными энергетическими затратами и металлоемкостью;

2. Наиболее распространенным и менее энергоемким по сравнению с остальными приемами обработки почвы является гладкая вспашка, позволяющая снизить расход топлива;

3. Для выполнения гладкой вспашки применяются комбинированные почвообрабатывающие агрегаты, которые не приемлемы для работы в условиях рискованного засушливого земледелия;

4. Отсутствуют теоретические исследования по определению тягового сопротивления рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего агрегата для гладкой вспашки в зависимости от его конструктивных параметров и условий их работы.

**Цель исследований** – обоснование параметров и режимов комбинированного почвообрабатывающего агрегата с дисками и чизельными лапами для повышения его производительности при сохранении качества обработки почвы в технологии.

Для достижения поставленной цели исследований были поставлены следующие **задачи исследований:**

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему комбинированного почвообрабатывающего агрегата (КПА) для гладкой вспашки почвы под зерновые колосовые культуры;

2. Разработать математическую модель зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от его параметров;

3. Изготовить экспериментальный образец КПА;

4. Определить рациональные параметры КПА по критериям качества обработки почвы;

5. Провести полевые испытания экспериментального КПА;

6. Выполнить оценку сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований;

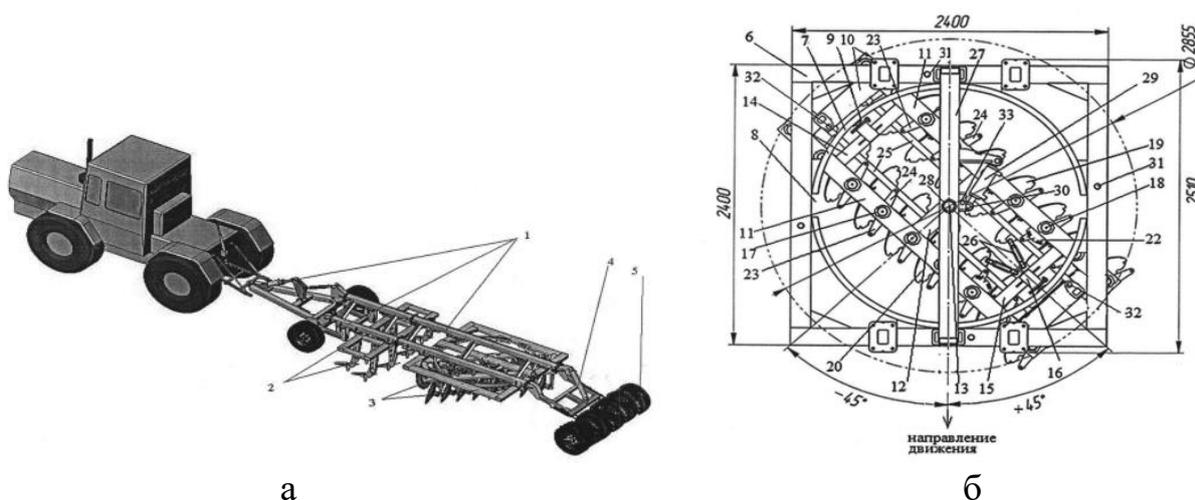
7. Выполнить расчеты экономической эффективности предлагаемого КПА.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВЫ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

### 2.1 Обоснование конструкции почвообрабатывающего агрегата

В результате проведенного анализа патентных источников можно прийти к выводу, что плуг с поворотной балкой имеет низкие функциональные возможности блока с поворотной балкой, так как им возможно осуществление только одной операции – гладкой вспашки. Нет возможности повышения производительности, так как нельзя удлинить балку, также невозможно перемещение блока с поворотной балкой по дорогам общего пользования без согласования с соответствующими надзорными органами, потому что не указан поперечный габарит «Блока с поворотной балкой» в транспортируемом положении.

Для устранения данного недостатка был предложен агрегат почвообрабатывающий универсальный (рисунок 2.1) содержит оснащенные системой навески 1 и агрегатированные между собой, передний с чизельными рабочими органами брус 2, поворотную балку 3 и прикатывающий, установленный с возможностью изменения высоты благодаря механизму подъема-опускания 4, каток.



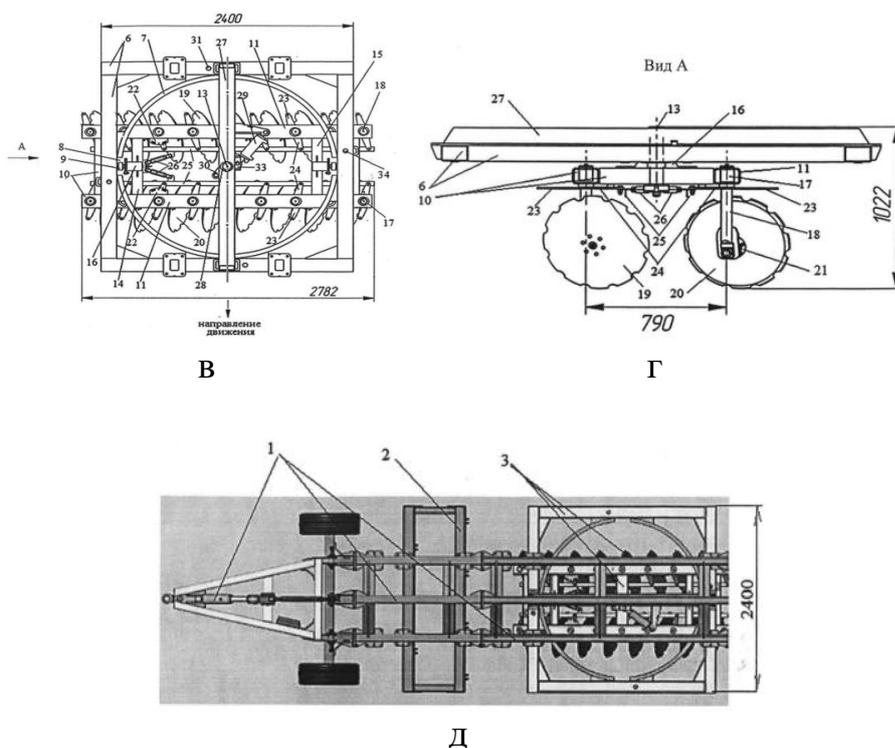


Рисунок 2.1 – Агрегат почвообрабатывающий универсальный

Рама *б* неподвижной секции выполнена в виде сваренного из стальной трубы квадратного профиля квадрата с размерами  $2400 \times 2400$  мм. В квадрат вписано направляющее кольцо *7* швеллерообразного сечения, с разрывом *8* в зоне поперечного диаметра. Разрыв *8* необходим для обеспечения монтажа роликов *9* блоков движения подвижной секции. Подвижная секция оснащена рамой *10* в виде сваренного из стальной трубы квадратного профиля прямоугольника, содержащего два параллельных бруса *11*, центральной поперечины *12*, со шкворнем *13* в центре, поперечин *14*, *15* для крепления на них кронштейнов *16* с блоками движения с роликами *9*, размещаемых в направляющем кольце *7*.

На левом и правом бруске смонтированы симметрично стаканы *17*, в них шарнирно размещены стойки *18* рабочих органов. Кроме этого, стойки *18* рабочих органов оснащены подшипниковыми узлами *21*, содержащих корпус, ось, крышку, уплотняющий элемент и расположенные рядом стоящие и непосредственно прилегающие друг к другу одноразмерные три шариковых подшипника (на схеме не показаны). Для регулировки угла атаки дисков *19*, *20* применены два сектора-регулятора *22*, являющиеся указателем необходимых углов, также рычаги *23*, *24*

приваренные диаметрально противоположно к стойкам 18, две тяги 25 с отверстиями и фиксирующими штифтами, оснащенные для облегчения регулировки двумя талрепами 26. На центральной балке 27 приваренной к неподвижной секции рамы 6 имеется шарнирный узел 28 для шкворня 13, а также смонтирован механизм поворота поворотной балки 3 в виде гидроцилиндра 29 связанного с рычагом 30, которым оснащен шкворень 13. Рама 6 неподвижной секции оснащены отверстиями 31, а рама 10 подвижной секции ответными отверстиями 32 для фиксации стопорными пальцами 33 в продольном положении и в поперечном положении. Центральная балка 27 на раме 6 размещена продольно и оснащена кронштейном для закрепления гидроцилиндра 29 и фиксатором-подхватом 34 при его переводе в нерабочее положение, при трансформации подвижной секции для транспортирования и для выполнения операции дискования.

В поле при движении трактора с навешенным при помощи навески 1 агрегатом, его чизельные рабочие органы, размещенные на переднем бруске 2, осуществляют безотвальное рыхление на глубину от 20 см и более (30–40 см) [109, 107, 138]. С помощью поворотной балки 3 этот взрыхленный слой почвы подвергается гладкой вспашке, а затем дополнительно разрыхляется и уплотняется, имея возможность изменения высоты благодаря механизму подъема-опускания 4, катком 5. Гладкая вспашка осуществляется за счет того, что в раме 6 неподвижной секции, в направляющих в виде швеллерообразного кольца 7 с разрывом 8, размещена на роликах 9 блоков движения 16 рама 10 подвижной секции, которая с помощью гидроцилиндра 29, рычага 30 и установленного шарнирно в центральной балке 27 шкворня 13 может поворачиваться на угол  $\alpha$  в пределах от  $+45^\circ$  до  $-45^\circ$  в обе стороны относительно направления движения поворотной балки 3.

При этом на левом и правом бруске 11 в стаканах 17 смонтированы стойки 18 рабочих органов в виде парно размещенных сферических дисков 19, 20 типа «ромашка» под углом  $140\text{--}150^\circ$  друг к другу, а точки пересечений их проекций размещены по следу долот чизельных рабочих органов бруса 2. Причем переход подвижной секции поворотной балки 3 из левого положения в правое осуществляется при выведенных из почвы всех рабочих органов в момент разворота в конце за-

гона. Для выполнения операции дискования (дискового боронования) необходима трансформация поворотной балки 3. При трансформации для дискования гидроцилиндр 29 отсоединяется от рычага 30 шкворня 13 и закрепляется в фиксаторе-подхвате 34. Далее от тяги 25 с одной стороны рамы 10, т. е. на любом одном брусе 11 отсоединяются рычаги 23 стоек 18, которые затем разворачиваются в стаканах 17 с помощью приваренных диаметрально противоположно рычагов 24 на 180 °. Далее уже рычаги 24 фиксируются на тяге 25, а с помощью талрепов 26, секторов-регуляторов 22 осуществляется регулировка углов атаки дисков 19 или 20. Рама 10 с помощью роликов 9 в кольце 7, шкворня 13 в шарнирном узле 28 вручную поворачивается в поперечное положение к направлению движения и фиксируется стопорными пальцами 33 в отверстиях 32 рам 10 и 6 соответственно подвижной и неподвижной секций.

Таким образом, с помощью трансформации получаем вместо плуга двухрядный дискатор, с помощью которого вместо вспашки можно осуществлять дисковое лущение или боронование. В полезной модели предусмотрена возможность транспортировки поворотной балки 3 по дорогам общего пользования без согласования с соответствующими надзорными органами. Для чего производится ее трансформация. При этом гидроцилиндр 29 также отсоединяется от рычага 30 шкворня 13 и закрепляется в фиксаторе-подхвате 34 на центральной балке 27.

Далее рама 10 устанавливается продольно и фиксируется стопорными пальцами 33 в отверстиях 32 рам 6 и 10 соответственно неподвижной и подвижной секций. При этом нет зависимости, на какие технологические операции трансформирована поворотная балка 3, так как ее ширина равна 2400 мм. Благодаря тому, что рама 10 содержит центральную поперечину 12, на которой закреплен шкворень 13, и поперечины 14 и 15, на которых закреплены кронштейны с блоками движения 16, оснащенных роликами 9. Благодаря тому, что в раме 6 в направляющем кольце 7 имеются разрывы 8 необходимые для монтажа роликов 9. Кроме того, шкворень вставляется в шарнирный узел 28 на центральной балке 27, подвижная секция выполнена съемной. Ее можно выполнить взаимозаменяемой с более длинной рамой 10 с увеличенным количеством рабочих органов в виде

стаканов 17, стоек 18, дисков 19 и 20 (на схемах не показано). Таким образом, можно регулировать производительность в зависимости от ширины захвата. Другой конструкции является поворотная балка агрегата почвообрабатывающего (рисунок 2.2), которая содержит оснащенные системой навески и с агрегатированные между собой передний брус с чизельными рабочими органами, поворотную балку и прикатывающий каток, установленный с возможностью изменения высоты благодаря механизму подъема опускания.

Поворотная балка представляет собой шарнирно соединенные между собой две секции – неподвижную и подвижную. Рама 1 неподвижной секции выполнена в виде сваренного из стальной трубы квадратного профиля квадрата с размерами 2400×2400 мм, в который вписано направляющее кольцо 2 швеллерообразного сечения с разрывом 3 в зоне поперечного диаметра для обеспечения монтажа роликов 4 блоков движения подвижной секции. Рама 1 оснащена кронштейнами 5 для крепления бруса с чизелями, прикатывающим катком и системой сцепления с энергетическим средством (на схемах не показаны). На раме 1 установлен механизм поворота, содержащий смонтированный на центральной приваренной к ней балке 6 шарнирный узел шкворня 7, гидроцилиндр 8 с зубчатой рейкой 9 кинематически связанной с зубчатым колесом 10, которым оснащен шкворень 7.

Гидроцилиндр 8 запитан и управляется от гидросистемы трактора (на схемах не показано). Рама подвижной секции выполнена в виде сваренного из стальной трубы квадратного профиля прямоугольника, содержащего два параллельных бруса 11 и 12 со стаканами, стойками 13 и смонтированных на подшипниковых узлах сферических дисков типа «ромашка» 14.

Стойки 13 расставлены в шахматном порядке и закреплены жестко с помощью шпоночных соединений так, чтобы диски 14 были размещены перпендикулярно брусам 11 и 12. Рама подвижной секции содержит также центральную поперечину 15 со шкворнем 7, приваренным в центре и поперечины 16 и 17 для крепления на них блоков движения с роликами 4, размещаемых в направляющем кольце 2. В стенке швеллерообразного направляющего кольца 2 выполнены диаметрально противоположно 6 пар отверстий 18 прямоугольного сечения как впра-

во 3 пары, так и влево 3 пары от продольной оси агрегата для обеспечения фиксации подвижной секции под углами соответственно 45, 30 и 15 °.

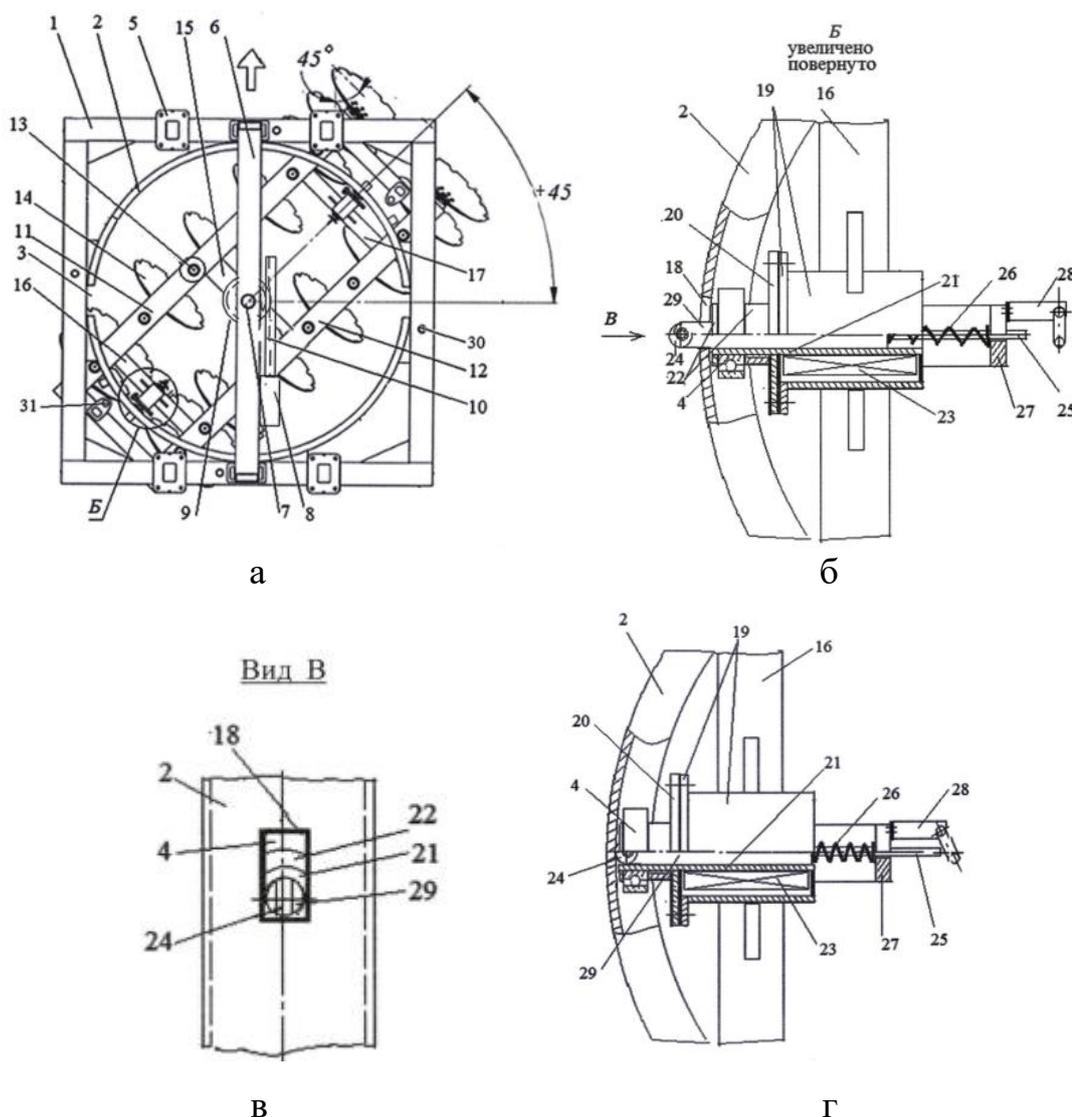


Рисунок 2.2 – Поворотная балка агрегата почвообрабатывающего:

- а* – поворотная балка без системы навески на трактор, без бруса с чизелями, без прикатывающего катка, поворотная секция, которой соответствует положениям равному +45 ° к направлению движения;
- б* – блок движения с роликом, в положении, когда подвижная секция зафиксирована;
- в* – вид В;
- г* – блок движения с роликом, в положении, когда подвижная секция поворачивается

Блоки движения с роликами 4 выполнены в виде приваренных к поперечинам цилиндрических с фланцами корпусов 19, в которых закреплены посредством фланцев 20, приваренные к ним патрубки 21. Соленоидные катушки 23 и концевые выключатели с выдержкой времени 28 запитаны от электрической системы трактора

(на схемах не показано). Рама 1 неподвижной секции оснащены отверстиями 30, а рама подвижной секции ответными отверстиями 31 для фиксации стопорными пальцами, чтобы в поперечном положении подвижная секция размещалась под углом 5 °.

Борона с поворотной дисковой секцией (рисунок 2.3) содержит оснащенные системой навески и агрегатированные друг с другом передний брус с чизельными рабочими органами (на схемах не показаны), блок с поворотной балкой и прикатывающий каток (на схемах не показано), где блок с поворотной балкой представляет шарнирно соединенные между собой две секции – неподвижную и подвижную (поворотную).

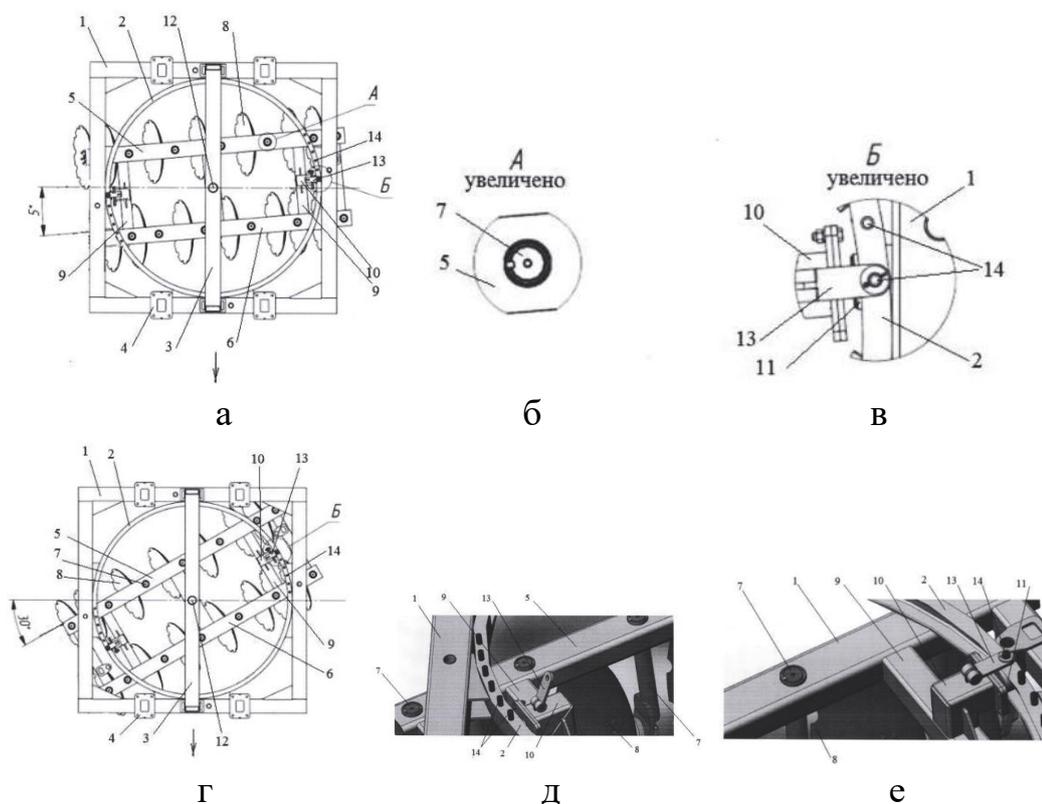


Рисунок 2.3 – Борона с поворотной дисковой секцией:

- a* – в плане борона без системы навески на трактор; *б* – в плане борона без бруса с чизелями;
- в* – в плане борона без прикатывающего катка с поворотной секцией, находящейся в исходном положении, равном 5 ° к направлению движения;
- г* – тоже, но когда секция повернута на 30 ° к направлению движения;
- д* – с видом при расфиксированной накладке; *е* – с видом при зафиксированной накладке

Неподвижная секция выполнена в виде сварной квадратной рамы 1, оснащенной направляющим кольцом 2 швеллерообразного сечения и средней балкой 3. Рама 1 оснащена кронштейнами 4 для крепления бруса с чизелями, прикатывающего катка и системы сцепления с энергетическим средством (на схемах не

показаны). Подвижная поворотная секция выполнена в виде прямоугольной рамы, на ее боковых балках 5 и 6 смонтированы стойки 7 с дисками 8 типа ромашки, а на торцевых балках 9 приварены кронштейны 10 с блоками движения в виде роликов 11 на осях, размещаемых в дугообразной направляющей 2.

## 2.2 Определение тягового сопротивления дисковых рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего агрегата

При движении в почве дисков, дно борозды оказывается неровным, так как каждый диск образует борозду желобчатого или эллипсовидного профиля [92], который определяется следующими параметрами [16, 95, 121, 122, 123] – диаметром  $D$ , радиусом кривизны сферической поверхности  $R$ , толщиной диска  $\delta$ . (рисунок 2.4).

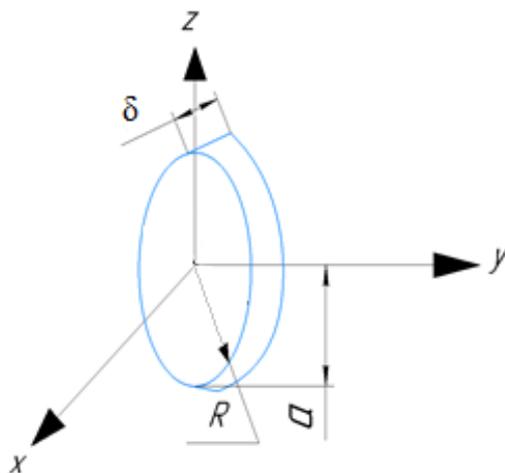


Рисунок 2.4 – Схема диска рабочего органа почвообрабатывающего агрегата (ПОА) в системе координат  $xuz$ :

$\delta$  – толщина диска;  $R$  – радиус диска;  $a$  – глубина заделки

Слой почвы, который отрезает диск ПОА представлен на рисунке 2.5 и определяется по выражению:

$$t = b + \delta \cdot \cos \beta \quad (2.1)$$

или

$$t = 2R \cdot \sin \beta + \delta \cdot \cos \beta \quad (2.2)$$

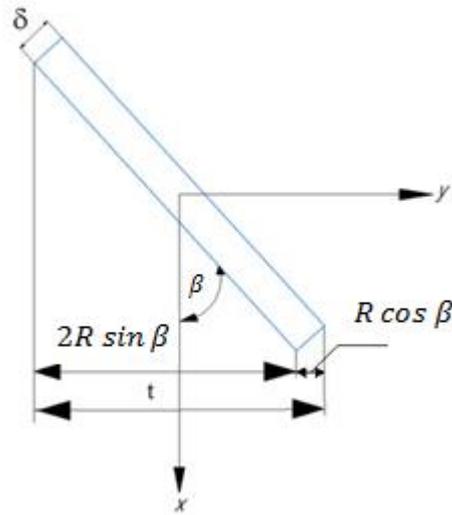


Рисунок 2.5 – Ширина захвата пласта диском ПОА

В. П. Горячкин предложил формулу, по которой можно приблизительно вычислить значение силы тяги почвообрабатывающего агрегата (рисунок 2.6), при некоторых известных [42, 121, 134].

$$P = f \cdot G + k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot v^2. \quad (2.3)$$

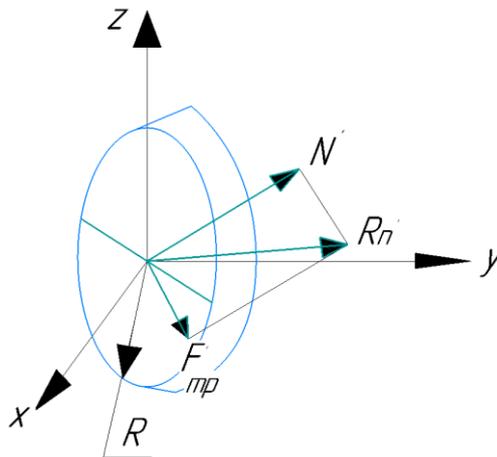


Рисунок 2.6 – Расчетная схема с указанием сил, действующих на диск ПОА

В целях определения силы сопротивления почвы допускается, что сила реакции почвы действует равномерно на глубину заделки диска в почву и будем определять силу сопротивления почве диска почвообрабатывающего агрегата экспериментальным путем (рисунок 2.7).

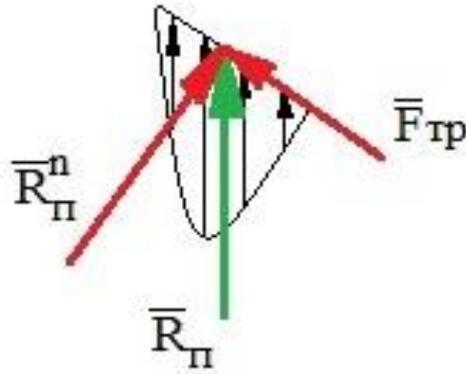


Рисунок 2.7 – Эпюра реакций почвы в поперечном направлении

С учетом соотношения глубины обработки, диаметра диска и угла атаки радиус сферы диска равен [71]:

$$R = \frac{D}{k_2} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{\sin^2 \beta} + \left(\frac{1}{2}k_2 - 1\right)^2}, \quad (2.4)$$

где  $D$  – диаметр диска, м;

$k_2$  – коэффициент соответствия глубины обработки и диаметра диска;

$\beta$  – угол атаки, в  $^\circ$ .

Для борон коэффициент соответствия глубины обработки и диаметра диска составляет  $k_2 = 4 - 6$  [71].

Принимаем  $k = 4$  в формуле (2.4):

$$R = \frac{D}{4} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sin^2 \beta} + 1} \quad (2.5)$$

и выразим  $D$ :

$$D = \frac{(R - 1)}{0,433} \cdot \sin \beta. \quad (2.6)$$

Одним из оценочных показателей качества работы дисковых орудий является коэффициент равномерности глубины обработки почвы  $\eta$ , т. е. отношение площади сечения взрыхленной полосы почвы к сумме площадей сечения необработанного гребня и взрыхленной полосы. При батарейной системе этот показатель вычисляется по выражению [18]:

$$\eta = 1 - \frac{c}{2a} \quad (2.7)$$

где  $a$  – глубина хода дисков;

$c$  – высота необработанных гребней.

Из выражения (2.7) выразим  $c$ :

$$c = 2a \cdot (1 - \eta) \quad (2.8)$$

В свою очередь, высота необработанных гребней может быть вычислена в зависимости от расстояния  $b$  между дисками в батарее [18]:

$$c = \frac{1}{2}D - \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - b^2 \cdot \operatorname{ctg}\beta} \quad (2.9)$$

Подставим выражения (2.8) и (2.6) в (2.9), преобразуем и получим расстояние  $b$  между дисками в батарее:

$$2a \cdot (1 - \eta) = \frac{1}{2} \cdot \frac{(R - 1)}{0,433} \cdot \sin \beta - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{(R - 1)}{0,433} \cdot \sin \beta\right)^2 - b^2 \cdot \operatorname{ctg}\beta} \quad (2.10)$$

$$2a \cdot (1 - \eta) = 1,155 \cdot (R - 1) \cdot \sin \beta - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{(R - 1)}{0,433} \cdot \sin \beta\right)^2 - b^2 \cdot \operatorname{ctg}\beta} \quad (2.11)$$

$$b = \sqrt{\frac{(2a \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg}\beta}} \cdot n_1, \quad (2.12)$$

В результате вычислений ширина захвата батареи зависит от глубины их хода, коэффициента равномерности глубины обработки почвы, радиуса диска и угла атаки дисков.

Известно, что сила тяжести бороны определяется по выражению [92]:

$$G = 0,001 \cdot \mu \cdot g \cdot b, \quad (2.13)$$

где  $\mu$  – удельная конструкционная масса бороны, кг/м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Подставим выражение (2.12) в (2.13) и получим:

$$G = 10^{-3} \cdot g \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{(2a \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} \cdot n_1, \quad (2.14)$$

Подставим выражения (2.12) и (2.14) в (2.3) и получим силу сопротивления дисковой бороны:

$$\begin{aligned} P_{\text{диск}} = & f \cdot 10^{-3} \cdot g \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{(2a \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} + \\ & + k'' a \cdot \sqrt{\frac{(2a \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} + \\ & + \varepsilon q \cdot \sqrt{\frac{(2a \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} \cdot v^2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

и тогда получим:

$$P_{\text{диск}} = \sqrt{\frac{(2a \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} \cdot [g \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot \mu + k'' \cdot a + \varepsilon \cdot a \cdot v^2]. \quad (2.16)$$

При величине  $a = 15$  см выражение (2.16) примет вид:

$$P = \sqrt{\frac{(0,3 \cdot (1 - \eta))^2 - 0,0015 \cdot (R^2 - 1) \cdot \sin^2 \beta}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} \cdot \sqrt{[g \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot \mu + 0,15 \cdot k'' + 0,15 \cdot \varepsilon \cdot v^2]}. \quad (2.17)$$

На основе рациональной формулы В. П. Горячкина было получено выражение для определения тягового сопротивления дискового орудия, которое зависит от коэффициента равномерности глубины обработки почвы, угла его наклона, радиуса дисков, удельной конструктивной его массы и коэффициентов его формулы.

### **2.3 Определение силы реакции чизеля на почву почвообрабатывающим агрегатом**

По данным исследователей из Беларуси использование чизельных плугов уменьшает плотность почвы по сравнению с обычными отвальными плугами до 1,15...1,3 г/см<sup>3</sup>, также повышает воздухоемкость почвы до 25...30 %, что способствует лучшей фильтрации водных потоков, исключая возможность переувлажнения почв. Использование чизельной обработки почвы позволяет существенно повысить влагонакопление в почве, способствует равномерной плотности почвы на всю глубину и поддержание на постоянном значении воздушно-водный и минеральный баланс веществ в почве, чем не может похвастаться технология «*no-till*» и различные другие технологии с минимальной и поверхностной обработкой почвы. Если сравнивать с обычной отвальной вспашкой, то метод чизелевания обладает следующими преимуществами: защищает почву от различных видов эрозии, значительно повышает влагосодержание в ней, стабилизирует тепловой баланс и уменьшает потери питательных веществ.

При использовании чизельных орудий повышается энергоемкость работы и требуются большие количество затрат для успешного выполнения данной технологической операции. Вследствие чего вопрос совершенствования существующих

на сегодняшний день агрегатов и разработка новых конструкций, становится все более актуальным, ведь снижение затрат на выполнение чизелевания при все тех же агротехнических требованиях [82]. Одним из существенных недостатков разрушения почвы на весь пахотный горизонт является большая глыбистость при проходе орудия, что в значительной степени затрудняет прорастание корневой системы сельскохозяйственных растений, что приводит к недостаточному влагообмену и как следствие к потере урожайности сельскохозяйственных культур.

Еще одной немаловажной проблемой при использовании чизельной обработки почвы является отсутствие возможности внесения органических удобрений, и наличие эффективных мер борьбы с сорной растительностью. Для борьбы с сорняками и пожнивными остатками необходим дополнительный проход орудий другого типа, либо использование комбинированных агрегатов.

Перечисленные выше недостатки могут быть устранены благодаря, комбинированию чизельных лап и дисковых агрегатов [125]. При использовании чизелей в качестве орудий для основной обработки почвы появляется функция сохранения расположения почвенных слоев по горизонтали, а лишь производит их крошение.

Если речь идет об объединении чизелевания и отвальной вспашки в одну технологическую операцию с целью упрощения деятельности машинно-тракторного парка, то следует отметить, что при тех же затратах и соблюдении всех агротехнических требований повышается качество основной обработки почвы [121]. За последнее десятилетие многими учеными был внесен неоценимый вклад в развитие теоретической базы по изучению и описанию работы различных плоскорезущих комбинированных агрегатов, неоднократно доказана эффективность их использования, что приводит к значительной экономии материальных средств [99].

Применение на чизелях стрельчатых лап проблематично, так как у них есть ряд существенных недостатков.

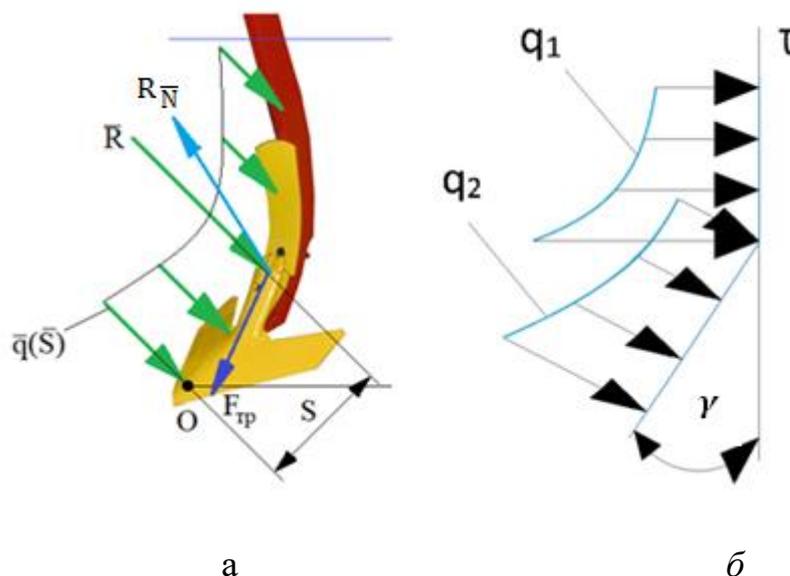
Щелевание почвы наряду с чизеливанием способствует росту таких немаловажных характеристик почвы как водопроницаемость, водный баланс, уменьшает

тяговое сопротивление орудий и агрегатов, которые следуют за ними. В связи с этим использование чизельных орудий с почвенными разуплотнителями становится все более актуальнее.

При взаимодействии долота с почвой возникает максимальное сопротивление со стороны почвы на чизельный рабочий орган. При заглублении рабочего органа ниже критической глубины образуется «блокированное резание», которое сопровождается отсутствием выноса почвенной стружки с глубины на поверхность.

Теоретические предпосылки данного явления пока не разработаны, но это не дает повода заметить, что использование данного явления в значительной степени повышает тяговое сопротивление всего агрегата [13, 98]. Отечественные ученые выяснили, что при появлении эффекта «блокированное резание» на одно только долото затрачивается на 60 % больше нагрузки, чем при работе агрегата без эффекта «блокированное резание» [121].

Определим тяговое сопротивление чизеля лапы при действии силы реакции на почву (рисунок 2.8).



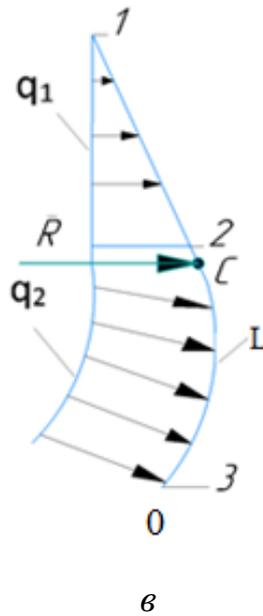


Рисунок 2.8 – Лапа чизеля:

*a* – силы, действующие на лапу; *б* – нагрузка упрощенная;

*в* – направление действия нагрузки

Исходя из рисунка 2.8 *в*) определяем силу реакции *R* на чизель:

$$R = \int_L \bar{q}(S) \cdot d\bar{S} = \int_L q(S) \cdot \cos \gamma \cdot dS, \quad (2.18)$$

где  $\bar{q}(S)$  – интенсивность распределенной нагрузки со стороны почвы на рабочий орган, Н/м;

$\gamma$  – угол между направлением силы  $\bar{q}(S)$  и касательной к точке приложения силы, град.

Величина и направление  $\bar{q}(S)$  зависит от координаты *S*. Для упрощения вычислений принято на участках: 1-2 нагрузка соответствует по линейному распределению  $q(S) = q_0 + k_1 \cdot S$ , где  $k_1$  – коэффициент линейной зависимости *q* от *S*, а 2-3 – по равномерному распределению. Найдена точка приложения (рисунки 2.8 *б*) силы реакции *R*. Момент силы, действующий на чизель для участка  $(0, z_c)$  будет равен:

$$\int_0^{z_c} q(z) \cdot dz = \int_{z_c}^H q(z) \cdot dz. \quad (2.19)$$

Угловой коэффициент нагрузки (рисунок 2.8 б) будет:

$$q(z) = q_1 + k_1 \cdot z. \quad (2.20)$$

где  $k_1$  – коэффициент, показывающий изменение интенсивности нагрузки от глубины нагружения, Н/м<sup>2</sup>.

Подставим выражение (2.20) в (2.19), имеем:

$$\int_0^{z_c} (q_1 + k_1 \cdot z) \cdot dz = \int_{z_c}^H (q_1 + k_1 \cdot z) \cdot dz. \quad (2.21)$$

Проинтегрируем выражение (2.21) и преобразуем:

$$\left( q_1 \cdot z + \frac{k_1 \cdot z^2}{2} \right) \Big|_0^{z_c} = \left( q_1 \cdot z + \frac{k_1 \cdot z^2}{2} \right) \Big|_{z_c}^H \quad (2.22)$$

$$q_1 \cdot z_c + \frac{k_1 \cdot z_c^2}{2} = q_1 \cdot H + \frac{k_1 \cdot H^2}{2} - q_1 \cdot z_c - \frac{k_1 \cdot z_c^2}{2} \quad (2.23)$$

$$k_1 \cdot z_c^2 + 2q_1 \cdot z_c - \left( q_1 \cdot H + \frac{k_1 \cdot H^2}{2} \right) = 0, \quad (2.24)$$

где

$$\begin{cases} z_{c1} = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a} < 0, \\ z_{c2} = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a} \end{cases} \quad (2.25)$$

$$z_{c1} = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a} < D = 4q_1^2 + 4k_1 \cdot \left( q_1 \cdot H + \frac{k_1 \cdot H^2}{2} \right). \quad (2.26)$$

$$b = 2q_1. \quad (2.27)$$

Подставим выражения (2.26) и (2.27) в (2.25), определим точку приложения силы реакции  $R$ :

$$z_{c_1} = \frac{-2q_1 - \sqrt{4q_1^2 + 4k_1 \cdot \left(q_1 \cdot H + \frac{k_1 \cdot H^2}{2}\right)}}{2k_1}. \quad (2.28)$$

После преобразований окончательно получим:

$$z_{c_1} = \sqrt{\frac{-H \cdot \left(q_1 + \frac{k_1 \cdot H}{2}\right)}{k_1}} \quad (2.29)$$

$$z_{c_2} = \frac{-2q_1 + \sqrt{4q_1^2 + 4k_1 \cdot \left(q_1 \cdot H + \frac{k_1 \cdot H^2}{2}\right)}}{2k_1} \quad (2.30)$$

$$z_{c_2} = \frac{-2q_1 + \sqrt{4q_1^2 + 4k_1 \cdot \left(q_1 \cdot H + \frac{k_1 \cdot H^2}{2}\right)}}{2k} \quad (2.31)$$

$$z_{c_2} = \sqrt{\frac{2q_1^2}{k_1^2} + \frac{H \cdot \left(q_1 + \frac{k_1 \cdot H}{2}\right)}{k_1}}. \quad (2.32)$$

один из корней из выражений отрицательный, то оставляем выражение (2.28).

Преобразуем выражение (2.32) и определим точку приложения силы реакции, при  $q_1 = 0$  имеем:

$$z_{c_2} = \sqrt{0,5 \cdot H^2} \quad (2.33)$$

$$z_{c_2} = 0,71 \cdot H \quad (2.34)$$

Определим нагрузку в системе координат при минимальной и максимальной глубине обработке, которая описывается уравнением:

$$q(x) = q_1 + k_1 \cdot x \quad (2.35)$$

Определим силу реакции при разной глубине обработки по формуле:

$$R = \frac{1}{2} \cdot q_{max} H \quad (2.36)$$

подставляя значения величин, найдем ее максимальное и минимальное значение:

$$R = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 0,15 = 15H,$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot 500 \cdot 0,35 = 87,5H.$$

Сила реакции (рисунок 2.9 а) определяется по выражению:

$$R = \sqrt{F_{TP}^2 + R_N^2} \quad (2.37)$$

или

$$R = \sqrt{f_{TP}^2 \cdot R_N^2 + R_N^2} \quad (2.38)$$

$$R = \sqrt{1 + f_{TP}^2} \cdot R_N. \quad (2.39)$$

Нормальная сила реакции определится по выражению:

$$R_N = \frac{R}{\sqrt{1 + f_{TP}^2}} \quad (2.40)$$

или с учетом выражения (2.21) имеем:

$$R_N = \frac{R}{\sqrt{1 + f_{TP}^2}}. \quad (2.41)$$

Нормальная сила реакции повышается с увеличением силы реакции.

Например, тип почв в Приморско-Ахтарском, Старовеличковской, Тимашевском, Кропоткине, Армавире тяжелосуглинистые, у которой коэффициент трения о сталь (чизель) согласно В.В. Тихонова составляет 0,33. Тогда минимальное и максимальное значение нормальной силы реакции с учетом сил реакций составит:

$$R_{N_{min}} = \frac{15}{\sqrt{1 + 0,33^2}} = 14,24 \text{ Н},$$

$$R_{N_{max}} = \frac{87,5}{\sqrt{1 + 0,33^2}} = 83,09 \text{ Н}$$

В результате проведенных исследований определена:

– сила реакции на почву чизелем в нормальных условиях работы с учетом разной глубины обработки и нагрузки в системе координат, которая составила соответственно 15 Н и 87,5 Н (формула 2.36);

– точка приложения силы реакции  $\bar{R}$  в зависимости от глубины обработки, которая составляет 0,71 (формула 2.34);

– нормальная сила реакции по выражению 2.41 с учетом сил реакций изменяется от 14,24 до 83,09 Н при коэффициенте трения 0,33.

## 2.4 Определение тягового сопротивления чизелей в почвообрабатывающем агрегате

Суммарное тяговое сопротивление рабочих органов в почвообрабатывающем агрегате будет складываться из дисковой бороны ( $P_{диски}$ ) и чизельного орудия ( $P_1$ ) и определяется по выражению:

$$P = P_{диски} + P_1. \quad (2.42)$$

Общее тяговое сопротивление чизельных лап с прямыми стойками по В. В. Труфанову на основе рациональной формулы акад. В. П. Горячкина определяется по формуле (2.43):

$$P_1 = f_1 \cdot G_1 + (k + \varepsilon \cdot \vartheta_p^2) \cdot \left[ a_1 \cdot B_k - \frac{1}{4} \cdot (n - 1)(M_n - b_n)^2 \right] + (k' + \varepsilon' \cdot \vartheta_p^2) \cdot n \cdot b_n \cdot (a - h_k), \quad (2.43)$$

где  $f_1$  – коэффициент сопротивления передвижению плуга в борозде;

$G$  – вес чизельного орудия, кН;

$k, k'$  – коэффициент, который характеризует способность почвенного пласта сопротивляться деформации, кН/м<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  – коэффициент, зависящий от формы поверхности рабочего органа, свойств почвы и размеров почвенного пласта, (кН·с<sup>2</sup>)/м<sup>4</sup>;

$a$  – глубина обработки, м;

$b_n$  – ширина захвата рабочего органа (наральника), м;

$B_k$  – конструктивная ширина захвата чизельного орудия, м;

$n$  – число рабочих органов;

$M_n$  – ширина междуследия рабочих органов, м;

$h_k$  – критическая глубина рыхления, м;

$\varepsilon'$  – коэффициент деформации почвы, (кН·с<sup>2</sup>)/м<sup>4</sup>;

$v_p^2$  – скорость движения агрегата, м/с.

Конструктивную ширину захвата чизельного орудия (рисунок 2.9) представим в виде [14]:

$$B_k = (n - 1) \cdot M_n + b, \quad (2.44)$$

где  $b$  – ширина углубления дна борозды, формируемая долотом ( $b = 0,06$  м).

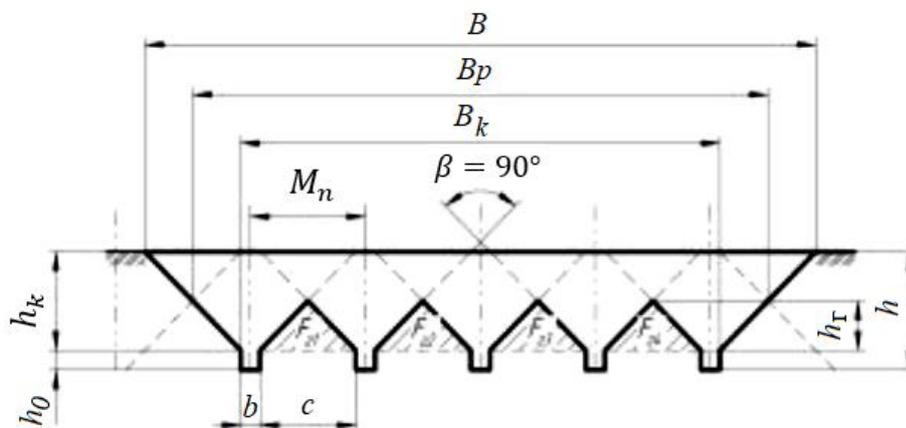


Рисунок 2.9 – Схема к расчету общей площади поперечного сечения взрыхленной части пласта при чизелевании почвы [14]

При  $\beta = 90^\circ$  высота гребня, которая получается при проходе чизельного орудия определяется по формуле:

$$h_r = \frac{M_n - b}{2}, \quad (2.45)$$

Из выражения (2.45) выразим  $M_n$ , получим:

$$M_n = 2(h_r + 0,03) \quad (2.46)$$

и подставим в выражение (2.44):

$$B_k = (n - 1) \cdot (2h_r + 0,06) + 0,06 \quad (2.47)$$

$$B_k = 2h_k \cdot n + 0,06 \cdot n - 2h_k. \quad (2.48)$$

Ширина  $b_{\Pi}$ , деформированной полоски почвенного пласта в поперечном сечении при  $a > h_k$  имеет зависимость не от заданной глубины обработки  $a$ , а от критических ее значений  $h_k$ , что можно представить в виде выражения [102] (рисунок 2.10):

$$b_{\Pi} = b_{\text{н}} + 2h_k \cdot \text{tg}(0,5 \cdot \theta) \quad (2.49)$$

где  $\theta$  – угол между сечениями, ограничивающими деформацию почвенного пласта с боковых сторон, который представляется в виде:

$$0,5 \cdot \theta = \varphi_2 \quad (2.50)$$

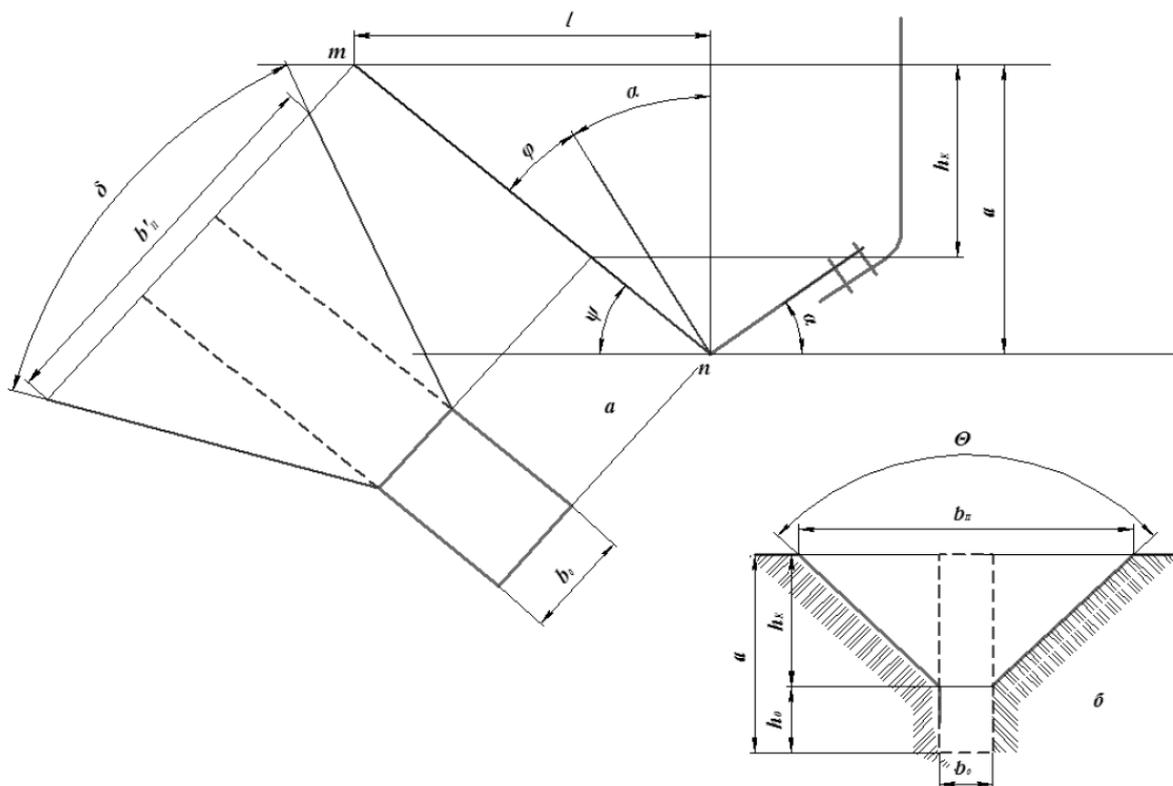


Рисунок 2.10 – Схема распределения деформируемого почвенного пласта при работе чизельного рыхлителя в двух направлениях [102]:

*a* – продольном; *б* – поперечном

Тогда с учетом выражения (2.50) выражение (2.49) будет иметь вид:

$$b_{\pi} = b_n + 2h_k \cdot \operatorname{tg}(\varphi_2). \quad (2.51)$$

За пределами критической глубины  $h_k$ , образуется уплотненный слой толщиной  $e$  (рисунок 2.11) из-за больших реактивных нагрузок в зоне блокированного резания, под действием которых почвенный пласт уплотняется, сминается и задерживается на почворезущей его рабочей поверхности.

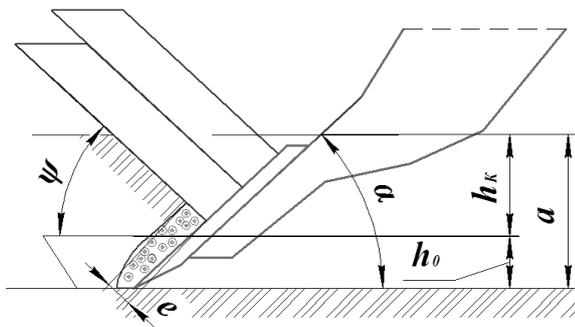


Рисунок 2.11 – Схема рыхления почвенного пласта во время процесса деформации почвы чизельным рыхлителем при  $a > h_k$  [102]

При определенных условиях слой становится прочным и тогда дальнейшее резание почвенного пласта производится им, а не рабочей поверхностью чизельного рыхлителя [102].

Угол скалывания  $\psi$  может быть определен по формуле В. П. Горячкина [102]:

$$\psi = 90^\circ - \frac{(\alpha + \varphi_1 + \varphi_2)}{2}, \quad (2.52)$$

где  $\varphi_1$  – угол трения обрабатываемого почвенного пласта по материалу чизельного рыхлителя;

$\varphi_2$  – угол внутреннего трения почвы.

Из выражения (2.52) определим  $\varphi_2$  тогда получим:

$$\varphi_2 = 90^\circ - \frac{(\alpha + \varphi_1)}{2} - \psi \quad (2.53)$$

$$\varphi_2 = 180^\circ - \alpha - \varphi_1 - \psi \quad (2.54)$$

Выражение (2.54) подставим в (2.51) и определим  $b_{\text{н}}$ :

$$b_{\text{п}} = b_{\text{н}} + 2h_{\text{к}} \cdot \text{tg}(180^\circ - \alpha - \varphi_1 - \psi) \quad (2.55)$$

Критическая глубина чизелевания  $h_{\text{к}}$  [14] согласно рисунка (2.12) будет:

$$h_{\text{к}} = h - h_0 \quad (2.56)$$

где  $h_0$  – размер углубления, формируемого долотом при проходе орудия, м.

Величина определяется из конструктивных размеров долота орудия и параметров его установки на стойке орудия согласно данным приведенных в работе [14]:

1. Долото состоит из двух рабочих плоскостей  $l_1 = 0,078$  м и  $l_2 = 0,171$  м, общая длина долота –  $l = 0,249$  м;
2. Угол установки долота (угол резания)  $\alpha = 25^\circ$ ;
3. Высота его  $d = 0,02$  м.

Таким образом,  $h_0$  или проекцию долота на вертикальную плоскость можно определить из тригонометрических свойств прямоугольного треугольника [14]:

$$h_0 = l \cdot \sin \alpha + d \quad (2.57)$$

$$h_0 = 0,4226 \cdot 0,249 + 0,02 = 0,125 \text{ м.}$$

Тогда,  $h_k$  принимаем:

$$h_k = h - 0,125 \quad (2.58)$$

Выражение (2.55) с учетом выражения (2.58) окончательно будет иметь вид:

$$b_{\Pi} = b_{\text{н}} + 2 \cdot (h - 0,125) \cdot \operatorname{tg}(180^\circ - 25^\circ - \varphi_1 - \psi) \quad (2.59)$$

$$b_{\Pi} = b_{\text{н}} + 2 \cdot (h - 0,125) \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - \varphi_1 - \psi) \quad (2.60)$$

$$b_{\text{н}} = b_{\Pi} - 2 \cdot (h - 0,125) \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - \varphi_1 - \psi) \quad (2.61)$$

Коэффициент  $\varepsilon$ , зависящий от формы рабочей поверхности отвала, свойств почвы и размеров почвенного пласта равен [41]:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{2g \cdot (\cos \theta + f \cdot \sin \theta)} \quad (2.62)$$

где  $\delta$  – удельный вес почвы, кг/см<sup>3</sup>;

$\theta$  – угол наклона тягового сопротивления к горизонту, в °.

Тяговое сопротивление при глубине обработки  $a_1 = 0,25$  м согласно выражениям (2.13) применительно к чизельному орудью, (2.46), (2.48), (2.61) и (2.62) определяется по формуле (2.64).

Тяговое сопротивление чизельного орудия зависит от критической глубины чизелевания, конструктивной ширины его захвата, коэффициента, который определяет форму рабочей поверхности отвала, свойств почвы и размеров почвенного

пласта, а также угла скалывания и ширины деформированной полоски почвенного пласта в поперечном сечении.

$$\begin{aligned}
 P_1 = & f_1 \cdot 10^{-3} \cdot \mu \cdot g \cdot (b_n - 2 \cdot (h - 0,125) \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - \varphi_1 - \psi)) + \\
 & + \left( k + \frac{\delta}{2g(\cos \theta + f \cdot \sin \theta)} \cdot \vartheta_p^2 \right) \cdot [a_1 \cdot (2h_\Gamma \cdot n + 0,06 \cdot n - 2h_\Gamma) - \\
 & - \frac{(n-1)}{4} \cdot (2 \cdot (2h_\Gamma + 0,03) - (b_n - 2 \cdot (h - 0,125) \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - \varphi_1 - \psi)))^2] + \\
 & + (k' + \varepsilon' \cdot \vartheta_p^2) \cdot n \cdot (b_n - 2 \cdot (h - 0,125) \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - \varphi_1 - \psi)) \cdot \\
 & \cdot (a_1 - (h - 0,125)) \quad (2.63)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_1 = & f_1 \cdot 10^{-3} \cdot \mu \cdot g \cdot (b_n - 2 \cdot (h - 0,125) \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - \varphi_1 - \psi)) + \\
 & + \left( k + \frac{\delta}{2g(\cos \theta + f \cdot \sin \theta)} \cdot \vartheta_p^2 \right) \cdot [(0,015 - b_n - 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - \varphi_1 - \psi) - \\
 & - 0,25 \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - \varphi_1 - \psi))^2] + (k' + \varepsilon' \cdot \vartheta_p^2) \cdot n \cdot (b_n - 2 \cdot (h - 0,125) \times \\
 & \times \operatorname{tg}(155^\circ - \varphi_1 - \psi)) \cdot (0,375 - h). \quad (2.64)
 \end{aligned}$$

Тогда тяговое сопротивление рабочих органов почвообрабатывающего агрегата с учетом выражения (2.17) составит:

$$\begin{aligned}
 P = & \left( \sqrt{\frac{(0,3(1-\eta))^2 - 0,0015 \sin \beta \cdot (R^2 - 1)}{0,25 \cdot \operatorname{ctg} \beta}} \right) \cdot \\
 & \cdot [10^{-3} \cdot g \cdot \mu \cdot f \cdot n + 0,15 \cdot k'' + 0,15 \cdot \varepsilon \cdot v^2] \\
 & + (f_1 \cdot 10^{-3} \mu \cdot g \cdot (b_n - 2 \cdot (h - 0,125) \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - (\varphi_1 + \psi)))) + \\
 & + \left( k + \frac{\delta}{2g \cdot (\cos \theta + f \cdot \sin \theta)} \cdot \vartheta_p^2 \right) \times [0,015 - b_n - 2h \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - (\varphi_1 + \psi)) - \\
 & - 0,25 \cdot \operatorname{tg}(155^\circ - (\varphi_1 + \psi))^2] + (k' + \varepsilon' \cdot \vartheta_p^2) \cdot n \cdot (b_n - 2 \cdot (h - 0,125) \times \\
 & \times \operatorname{tg}(155^\circ - (\varphi_1 + \psi)) \cdot (0,375 - h)). \quad (2.65)
 \end{aligned}$$

В результате проведенных расчетов были получены следующие значения тягового сопротивления чизелей в почвообрабатывающем агрегате в зависимости от угла наклона дисков:

- 62,8...66,9 кН при угле наклона – 15 °;
- 64,3...68,0 кН при угле наклона – 30 °;
- 85,7...93,0 кН при угле наклона – 45 °;

## 2.5 Выводы по главе

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема комбинированного почвообрабатывающего агрегата (КПА) со сменными рабочими органами, в качестве которых выступают диски и чизельные лапы, позволяющие выполнять гладкую вспашку каждым рабочим органом в отдельности или вместе за один его проход.

2. Получено уравнение для определения тягового сопротивления:

– дискового орудия, которое зависит от коэффициента равномерности глубины обработки почвы, угла его наклона, радиуса дисков, удельной конструкционной его массы и коэффициентов его формулы;

– чизельного орудия, зависящее от критической глубины чизелевания, конструктивной ширины его захвата, коэффициента, который определяет форму рабочей поверхности отвала, свойств почвы и размеров почвенного пласта, а также угла скалывания и ширины деформированной полосы почвенного пласта в поперечном сечении. В результате проведенных расчетов были получены следующие значения тягового сопротивления чизелей в почвообрабатывающем агрегате в зависимости от угла наклона дисков:

- 62,8...66,9 кН при угле наклона – 15 °;
- 64,3...68,0 кН при угле наклона – 30 °;
- 85,7...93,0 кН при угле наклона – 45 °;

## **3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ**

### **3.1 Программа экспериментальных исследований**

Для проведения экспериментальных исследований была разработана программа и методика. Цель программы – проверка сходимости результатов теоретических исследований с экспериментальными и их подтверждение. В программу экспериментальных исследований входила:

1. Обоснование рациональной схемы размещения сменных рабочих органов для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры на раме комбинированного агрегата;
2. Определение оптимальных параметров рабочих органов комбинированного агрегата;
3. Определение энергетических показателей комбинированного агрегата для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры в лабораторно-полевых условиях;
4. Исследование физико-механических свойств почвы в полевых условиях при выполнении гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры комбинированным агрегатом;
5. Проведение полевых испытаний разработанного комбинированного агрегата для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры и выявление его недостатков при испытаниях;
6. Определение тягового сопротивления разработанного комбинированного агрегата для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры;
7. Определение качественных показателей выполнения технологического процесса комбинированным агрегатом для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры в полевых условиях.

### 3.2 Методика определения энергетических показателей комбинированного агрегата для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры

Энергетическую оценку проводили по методике, приведенной в ГОСТ Р 52777–2007 [30].

При энергетической оценке комбинированного агрегата для гладкой вспашки с трактором определяли следующие показатели:

- часовой расход топлива;
- мощность, потребляемую сельскохозяйственной машиной или стационарным агрегатом;
- удельные энергозатраты;
- тяговое сопротивление навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору;
- мощность, потребляемую на привод рабочих органов навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору.

Мощность, потребляемая самоходным комбинированным агрегатом для гладкой вспашки с приводом от трактора, зависит от таких параметров как мощность двигателя самоходного энергосредства и удельного расхода топлива. Регуляторную характеристику двигателя определяют по ГОСТ 7057 и ГОСТ 18509, ГОСТ 33736-2016 [28] перед началом проведения экспериментальных работ на испытываемый агрегат устанавливают датчик расхода топлива, по данным которого строят регуляторную характеристику [30]:

$$G_t = 3,6 \cdot \frac{V_T \cdot \rho}{t} \quad (3.1)$$

где  $V_T$  – количество топлива, которое было израсходовано за время проведения испытания, см<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность топлива при стандартной температуре, г/см<sup>3</sup>.

Для машин без привода рабочих органов от трактора мощность по «ГОСТ Р 52777–2007 Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки», кВт, вычисляют по формуле [30]:

$$N_{\text{м. ср.}} = 10^{-3} \cdot R \cdot \vartheta \quad (3.2)$$

Среднюю мощность за время цикла  $N_{\text{м. ср.}}$ , кВт, вычисляют по формуле:

$$N_{\text{м. ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^{\ell} N_{\text{м.и}} \cdot t_i}{t_{\text{ц}}}, \quad (3.3)$$

где  $N_{\text{м. ср.}}$  – мощность, потребляемая сельскохозяйственным агрегатом при выполнении гладкой вспашки, кВт;

$t_i$  – время одной технологической операции, с;

$t_{\text{ц}}$  – время технологического цикла, с;

$\ell$  – число технологических операций в цикле.

Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины определяют по следующей формуле:

$$R_{\text{м}} = R_{\text{т.а}} - R_{\text{т.с}} \quad (3.4)$$

где  $R_{\text{т.а}}$  – тяговое сопротивление машинно-тракторного агрегата при выполнении технологических операций, Н;

$R_{\text{т.с}}$  – тяговое сопротивление трактора при его движении без сельскохозяйственной машины, Н.

Удельные энергозатраты вычисляют по формуле:

$$E_{\text{уд}} = 3,6 \cdot \frac{N_{\text{м}}}{W_0}, \quad (3.5)$$

где  $W_0$  – производительность агрегата за час основного времени, га/ч.

### **3.3 Методика определения физико-механических свойств почвы в полевых условиях при выполнении гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры комбинированным агрегатом**

Для определения параметров физико-механических характеристик почвы (твердость, плотность, влажность) были использованы общепринятые методики, приборы, представленные в работах [29, 31].

При использовании метода высушивания, определенного по ГОСТ 5180–15 была определена влажность почвы при испытаниях разрабатываемой конструкции. При проведении опытов нами использовались следующие приборы и принадлежности: сушильный шкаф, весы ГОСТ 24104, шпатель. Подготовка к испытанию осуществляется следующим образом по ГОСТ 5180–2015 [29].

Для определения влажности почвы берут грунт массой от 15 до 50 г, пробы помещают в подготовленные бюксы и герметично их закрывают. Одним немаловажным фактором при отборе проб грунта следует тщательно перемешать, для того чтобы почвенная влага равномерно распределилась по всему объему. Стоит удалить все примеси и различного рода включения.

Влажность грунта  $w$  (%) вычисляют по формуле:

$$w = 100 \cdot \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (3.6)$$

где  $m_1, m_0, m$  – массы влажного грунта с бюксом, высушенного грунта с бюксом и пустого бюкса соответственно, г.

При взятии образцов почвы для дальнейшего определения его плотности, в исследуемый образец ввинчивают бур, затем прокручивают несколько раз вокруг соевой оси и вынимают. После чего аккуратно ножом срезают навесающие части почвы и помещают в специальный контейнер плотно закрыв его с двух сторон. Далее этот контейнер отправляют в лабораторию, где на специальном стенде высушивают до постоянного объема при температуре 105...110 °С.

Объем высушенной массы вычисляют по формуле:

$$V_n = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h, \quad (3.7)$$

где  $d$  – диаметр цилиндра (со стороны заглубления), см;

$h$  – высота почвы в стакане, см.

Объемную массу почвы  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m_n}{V_n} \quad (3.8)$$

При измерении твердости почвы в нее погружают твердомер на глубины работы тестируемого агрегата, затем при помощи самописца получают диаграмму усилий необходимых для заглубления стержня в почву.

Перед началом измерения твердости почвы следует проверить работу самописца, карандаш должен быть заточен должным образом, а кончик карандаша должен быть на нулевой отметке, погрешность самописца должна составлять  $\pm 1$  мм. Затем полученную при помощи на самописце диаграмму обрабатывают в лабораторных установках.

Твердость почвы  $P_n$ , МПа вычисляют по формуле:

$$P_n = \frac{h_{cp} \cdot a_n}{10 \cdot S_n}, \quad (3.9)$$

где  $h_{cp}$  – значение средней ординаты диаграммы твердости, см;

$a_n$  – коэффициент сжатия пружины, кг/см;

$S_n$  – площадь сечения плунжера, см<sup>2</sup>.

### 3.4 Методика проведения полевых испытаний разработанного комбинированного агрегата и априорного ранжирования факторов

В начале вычислений следует установить все необходимые значения на оптимальные регулировки и записать значение установленных регулировок в журнал испытания.

Все измеренные показатели должны быть определены на двух скоростях движения (рабочая и повышенная) с последующим занесением показателей в журнал учета. Рабочую скорость движения машины определяют исходя из агротребований. Если при испытании машины на рабочей скорости получаются некачественные или нежелательные показатели (отклонение от прямолинейности, крошение пласта, глыбистость и т. д.), то испытания на повышенной скорости не проводятся.

Среднюю скорость движения машины по «ГОСТ 33687–2015 Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний» [27] (км/ч) вычисляют по формуле:

$$v_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{t_i} \cdot 3,6 \quad (3.10)$$

где  $L_i$  – длина учетной делянки в  $i$ -повторности, м;

$t_i$  – время прохождения делянки  $i$ -повторности, с;

$n$  – число повторностей, шт.

При определении размеров делянки, на которой будет проходить испытание, ее размечают специальными кольшками (вешка). Затем измеряют время, за которое машинный агрегат пройдет данный участок при помощи секундомера. Все опыты необходимо выполнять минимум в четырехкратной последовательности для более точного измерения. Погрешность измерения секундомером времени прохождения делянки не должны превышать 1 секунды.

При измерении глубины обработки в течение каждой повторности ее измеряют минимум 25 раз при помощи линейки.

Глубину измеряют точно по следу движения агрегата с интервалом около 1 м по направлению движения машинного агрегата. При определении ширины захвата агрегата измерения проводят равномерно по всей ширине захвата при определении гребнистости их глубину замеряют попарно с соседним гребнем. Если проводят испытания секционного агрегата, то измерения проводят отдельно для каждой секции. Повторность проведения замеров минимум четырехкратная и количество замеров должно быть одинаковое в обе стороны движения агрегата (по ходу движения, против хода движения).

Допускаемая погрешность измерения глубины обработки агрегата согласно агротребованиям не должна превышать 1 см. После чего собираются данные всех измерений и выводится среднее значение глубины обработки почвы, все вычисления проводят с округлением до первого знака после запятой. Для проверки поперечного профиля, по всей длине выбранного участка устанавливают специальные стойки, на которые монтируют координатную рейку, в перпендикулярном направлении по ходу движения агрегата.

Расстояние от наивысшей точки на поверхности обработанного поля до верхней плоскости измерительной рейки измеряют с интервалов в 10 см, при этом погрешность измерения должна составлять не более 1 см. При работе с широкозахватными агрегатами между крайними стойками устанавливают дополнительные опорные стойки, во избежание провисания измерительной рейки. После чего конструкцию закрепляют до неподвижного состояния, убирают в сторону и производят проход тестируемым агрегатом, после чего устанавливают конструкцию в заданное положение и проводят замер изменения высоты профиля поверхности поля. Крошение пласта почвы определяют по ГОСТ при помощи взятия четырех проб.

Подрезание сорной растительности определяют путем наложения на обработанную поверхность рамок длиной 0,5 м и шириной, равной ширине захвата тестируемого агрегата, после чего подрезают несрезанные растительные остатки и взвешивают на весах с точностью до 10 г. Заблаговременно до прохода агрегата при помощи такой самой рамки с поверхности поля срезают

абсолютно все растения и также взвешивают из, после чего находят процент неподрезанных растений при помощи отношения двух масс.

Гребнистость проверяют в четырехкратной повторности (два раза по направлению движения, два – против), для этого на случайно выбранной обработанной поверхности при помощи уровня устанавливают измерительную рейку в горизонтальное положение и при помощи линейки измеряют расстояние от измерительной рейки до дна борозды или наиболее удаленной точки на поверхности от измерительной рейки.

Измерения следует проводить минимум 40 раз, по 10 на каждой из повторностей, а максимальное отклонение измерений должно составлять не более 5 мм, после чего все данные заносят в специальную таблицу, по которой производят вычисления среднеарифметического значения и коэффициента вариации с округлением до целого числа по правилам математики.

Пожнивные остатки после прохода орудия неизменно будут измельчаться, а их измельчения (только крупностебельных культур) проверят с помощью измерения длины их резки. Для этого на обработанное поле устанавливают рамку равную одному погонному метру и выбирают все растительные остатки после прохода тестируемого агрегата, делят по фракциям согласно ГОСТ и измеряют вес каждой фракции с точностью до 10 г, после чего все данные заносят в специальную таблицу, по которой производят вычисления среднеарифметического значения и коэффициента вариации с округлением до целого числа.

Для того чтобы определить наличие стерни на поле и пожнивных остатков, а также различных вредоносных растений, берут рамку длиной 0,5 м и шириной 1 м кладут на поверхность поля.

При проведении априорного ранжирования факторов всем его участникам предлагается пройти специальное тестирование [77].

Коэффициент конкордации вычисляют по формуле [77]:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (k^3 - k)} \quad (3.11)$$

где  $S$  – сумма квадратов отклонений;

$m$  – число опрашиваемых специалистов ( $m = 10$ );

$k$  – число факторов ( $k = 7$ ).

Сумму квадратов отклонений вычисляли по формуле [77]:

$$S = \sum_{i=1}^k \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} - L \right)^2 \quad (3.12)$$

где  $a_{ij}$  – ранг (порядковый номер при опросе)  $i$ -го фактора у  $j$ -го специалиста;

$L$  – среднее значение сумм рангов по каждому фактору.

$$L = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}}{k} \quad (3.13)$$

Расчетное значение  $\chi^2$  распределения определили по формуле [77]:

$$\chi^2 = m \cdot (k - 1) \cdot W = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot m \cdot k \cdot (k + 1)} \quad (3.14)$$

После этого строят диаграмму рангов факторов, которые отражают коллективное мнение специалистов: по оси абсцисс – в порядке убывания их ранга, а по оси ординат – суммы рангов.

### **3.5 Описание опытного образца комбинированного агрегата для гладкой вспашки**

Для проведения научных исследований был разработан опытный образец комбинированного почвообрабатывающего агрегата (рисунки 3.1, 3.2), на котором были сняты диски и плоскорезные лапы (5 шт.).



Рисунок 3.1 – Общий вид комбинированного почвообрабатывающего агрегата

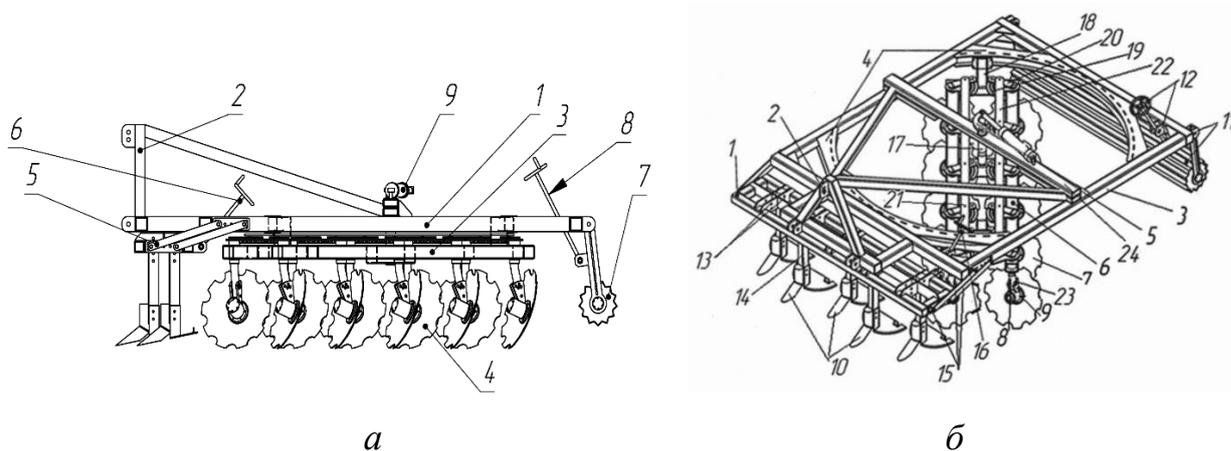


Рисунок 3.2 – Универсальный плуг с поворотной балкой:

*а* – вид сбоку; *б* – вид сверху

Рама выполнена в виде двух секций, одна из которых изготовлена в виде дугообразной направляющей 4, имеющей механизм поворота 5 для установки необходимого угла атаки дисковой батареи 9, которая установлена на подвижной секции 6. Подвижная секция 6 и неподвижная секции 3 соединены между собой – шарнирно. Сферических дисков 7, которые крепятся на стойках 8 при помощи подшипниковых узлов, сферические диски 7 монтируются симметрично относительно поворотной балки 6 и составляют с друг с другом угол равный  $140...150^\circ$ . Если мысленно построить проекции сферических

дисков 7, то точка пересечения проекций сферических дисков 7 будет находиться на следе, который образован долотом 10, чизельных рабочих органов 14, которые жестко крепятся к неподвижной секции 3.

На подвижной секции 6 помимо механизма поворота 5 имеет шкворни 17 необходимые для плавного и надежного изменения угла постановки дисковых батарей 9. Помимо шкворней 17 подвижная секция 6 имеет приваренные по краям кронштейны, на которые крепятся движители 18, которые перемещаются по дугообразным направляющим 4, которые приварены к раме 1 (рисунок 3.2, а).

На подвижной секции 6 при помощи стоек 8 монтируются сферические диски 7 типа ромашка с подшипниковыми узлами, которые монтируются на вогнутой стороне сферического диска 7.

Стойки 8, на которых размещаются сферические диски 7 монтируются в стаканы, в которых имеются устройства 19 для регулировки сектора установки дисковых батарей 9. Для необходимости регулировки угла постановки дисковых батарей 9 на стойке 8 сверху устанавливаются рычаги 20, которые при помощи штифтов 21 и тяг 22 (рисунок 3.2, б), выполненных в виде металлических пластин крепятся между собой. При помощи отверстий, которые расположены на рычагах 20, тяга 22 и стойка 8 фиксируются между собой при помощи неподвижного шарнира. При помощи данной конструкции удастся изменять угол атаки сферических дисков 7 в промежутке от 15 до 75 ° по направлению поперечной балки 1.

Специальные секторные регуляторы 19 представляют собой сектор с пластинчатыми элементами, в которых имеются 13 отверстий, которые располагаются с шагом в 5 °. Угол между первым и последним отверстиями составляет 60 °. Для фиксации стоек в отверстиях предусмотрены болты с гайками для того, чтобы зафиксировать дисковую батарею под определенным углом к поперечной балке 1. Помимо изменения угла по отношению к поперечной балке 1, сферические диски 7 можно наклонять и по отношению к поверхности поля при помощи трех отверстий, которые высверлены в

стойке, а на подшипниковых узлах имеются также 4 отверстия. Каждый из режущих аппаратов можно установить на индивидуальный угол при помощи четырех отверстий, в которые крепится кронштейн 23, благодаря которому сферические диски 7 устанавливаются с наклоном ко дну борозды. Шаг установки сферических дисков 7 в четырех отверстиях стойки 8 равен  $11^\circ$ .

Задняя часть рамы 3 с боковых сторон имеет кронштейны для крепления катка 11, а передняя часть рамы 3 оснащается механизмом подъема-опускания 12 катка 11. Механизм для поворота дисковой батареи 9 оснащается гидроприводом, который устанавливается на средней балке 24, которая крепится на неподвижной секции 3.

Работает предлагаемый нами агрегат по следующей технологической схеме (рисунок 3.3).

При движении трактора по полю с навешенным на его заднюю навеску с проектируемым плугом, чизельные рабочие органы 7 заглубляются в почву и рыхлят его [105].

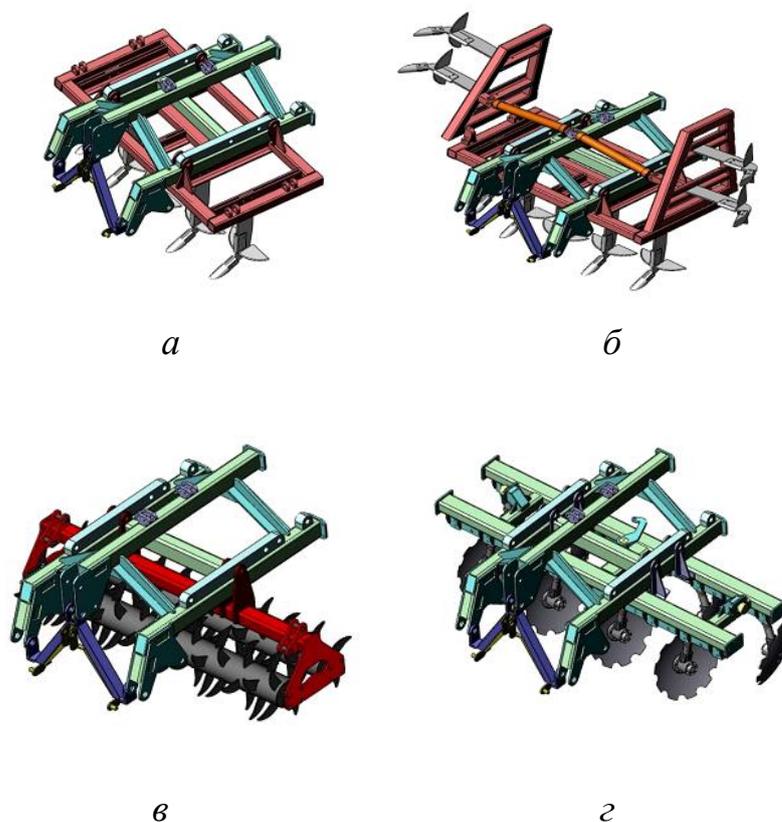


Рисунок 3.3 – Агрегат АПУ-1 (навесной вариант № 1)

Рабочие органы установлены в два ряда и стоят в шахматном порядке. Рабочие органы предназначены для рыхления почвы от 20 до 30 см. После прохода чизельных орудий следом за ними следует два ряда сферических дисков 7, которые устанавливаются под разным углом в зависимости от типа почвы и обрабатываемой культуры, производящих крошение верхнего пласта почвы и его частичное выравнивание. Последней операцией данного комбинированного пахотного агрегата является прикатывание и уплотнение обработанного слоя почвы.

Навесной вариант № 2 – рама состоит из двух модулей, навешиваемых на трактор по трёхточечной схеме (рисунок 3.4–3.6).

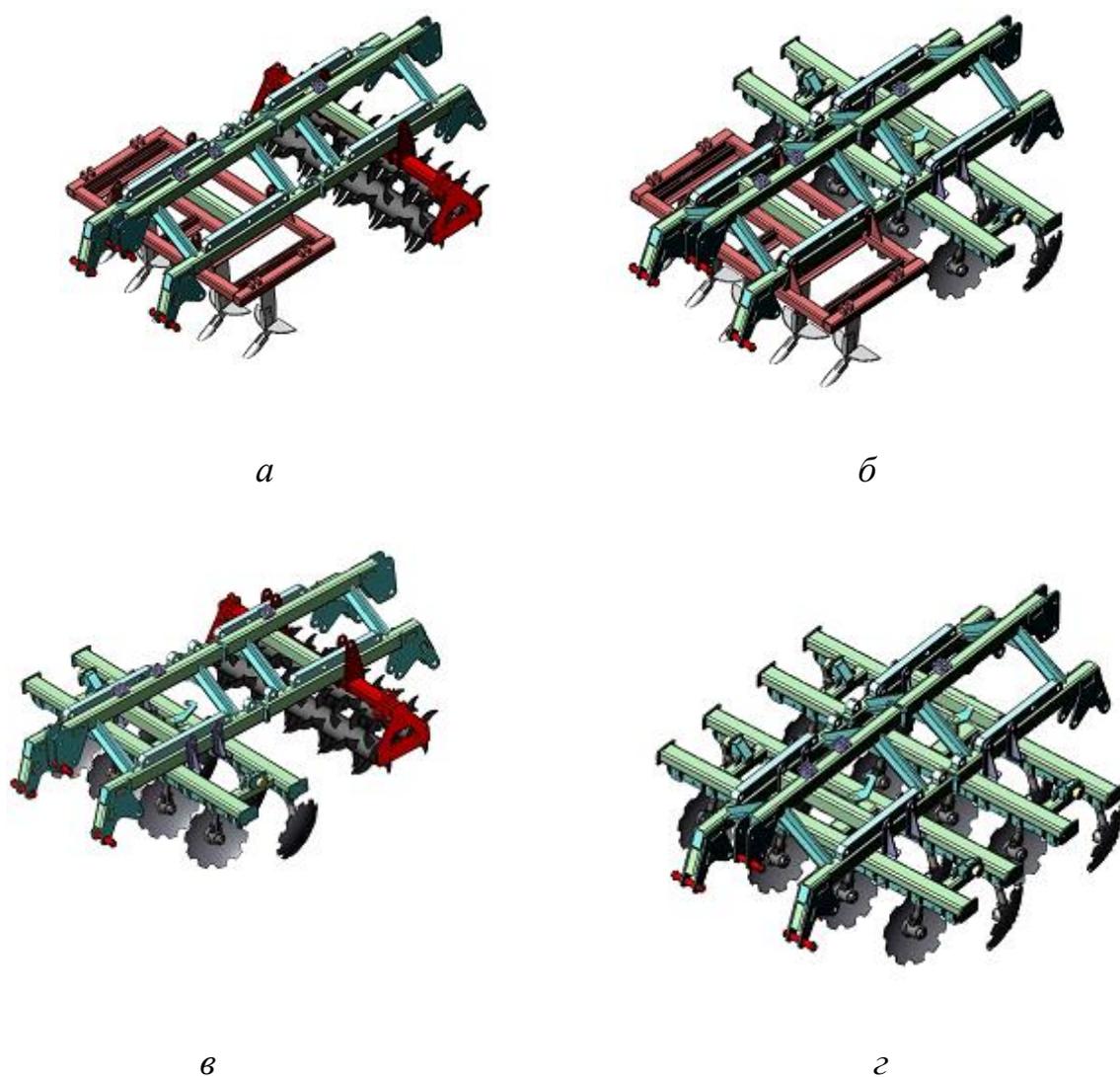
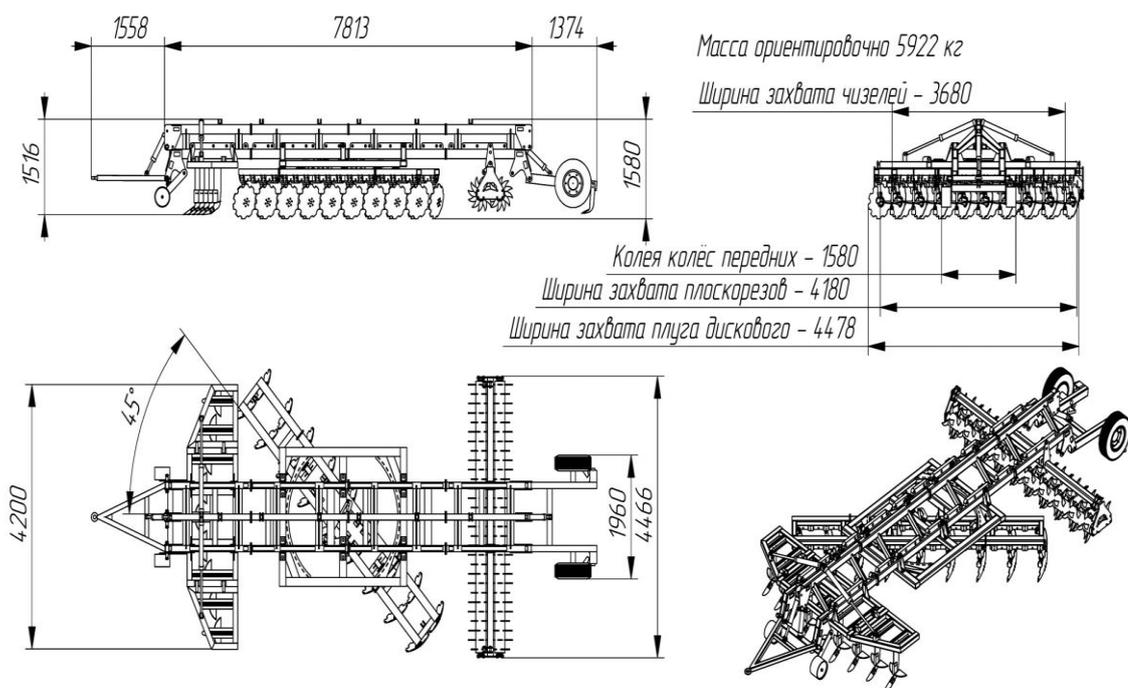
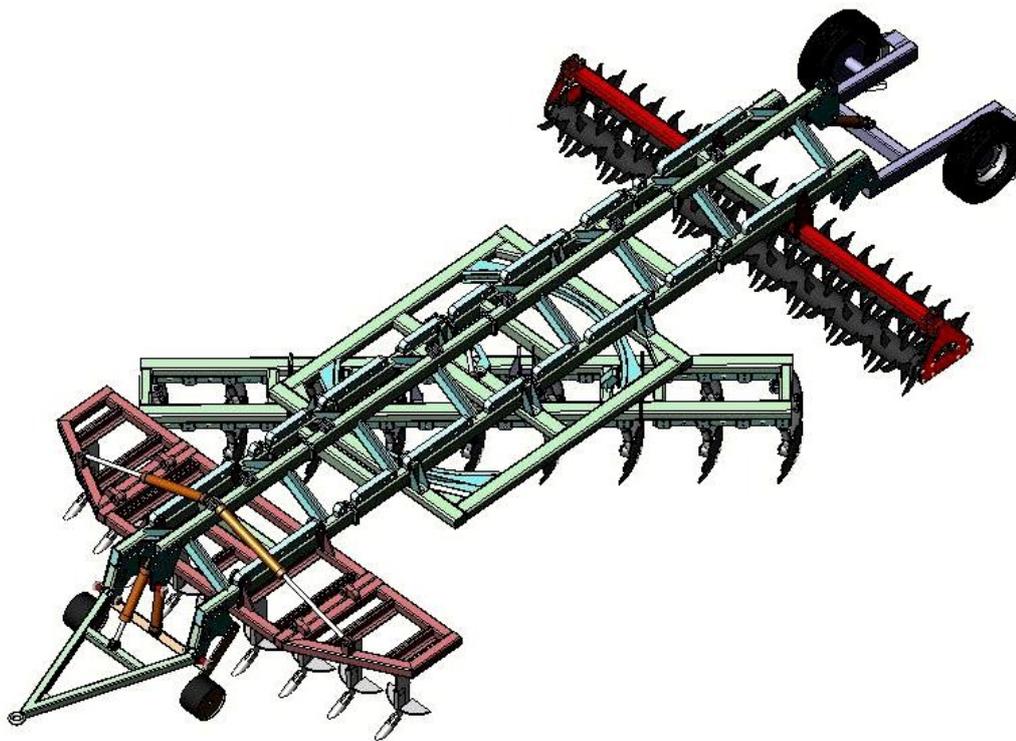


Рисунок 3.4 – Агрегат АПУ-1 (навесной вариант № 2)



а



б

Рисунок 3.5 – Прицепной вариант № 3 агрегата АПУ-1 с широкозахватным чизельным блоком и дисковым поворотным плугом

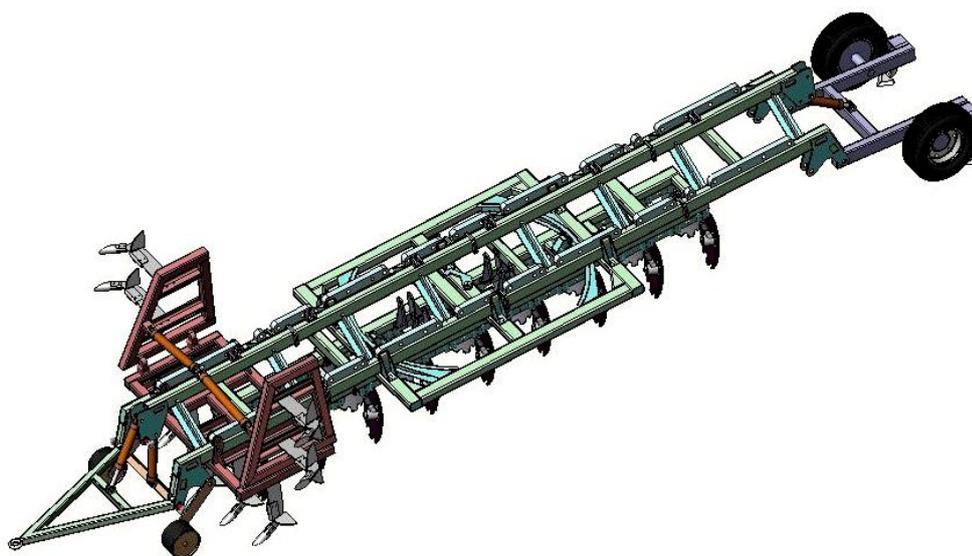


Рисунок 3.6 – Агрегата АПУ-1 в транспортном положении

### 3.6 Методика обработки многофакторного эксперимента

Планирование эксперимента – это комплекс мероприятий направленных на выбор условий и режимов, влияющих на работоспособность экспериментируемого агрегата, а также их достаточность и достоверность. Помимо вышеперечисленных показателей при планировании эксперимента также немаловажную роль играет удовлетворение всем требованиям, поставленным при проектировании опытного образца [1, 6, 32, 43, 83, 84].

Такие показатели как количество и значение факторов, их математическая модель, а также цели, поставленные перед настоящей работой, определяют не что иное как тип плана планирования эксперимента.

В процессе планирования эксперимента выдвигаются следующие задачи: получить как можно меньшую ошибку, а также оценку искажения основных факторов, которые были выбраны в качестве показателей в начале планирования эксперимента.

При планировании эксперимента задавались следующими величинами: надежностью результатов опыта –  $\alpha=0,95$  [43]; допустимой ошибкой –  $\varepsilon=\pm 3\sigma$  [63, 84].

Результаты эксперименты представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Формулы для обработки результатов эксперимента

Наименование параметра	Расчетная формула
Дисперсия, характеризующая ошибку опыта в матрице плана	$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{i=1}^m (y_{iu} - \bar{y})^2}{N \cdot (m - 1)}$
Дисперсия оценок коэффициентов регрессии	$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}$
Значимость различия разности $(b_0 - \bar{y}_0)$ по критерию Стьюдента	$t_{\text{расч}} = \frac{(b_0 - \bar{y}_0) \cdot \sqrt{N}}{\sqrt{S_y^2}}$
Величина доверительного интервала $\Delta b_i$	$\pm \Delta b_i = \pm t \cdot S_{bi}$
Проверка адекватности по F-критерию Фишера	$F = \frac{S_{LF}^2}{S_y^2} = \frac{SS_{LF}}{f_{LF}} : \frac{SS_y}{f_y}$
Дисперсия неадекватности математической модели	$S_{LF}^2 = \frac{m \cdot \sum_{u=1}^N (\bar{y} - \hat{y}_u)^2}{N - (k + 1)}$
Примечание – m – число повторностей одного опыта	

$$Y_S = b + \sum_{j=1}^k b_j \cdot x_j + \sum_{i < j}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2 \quad (3.15)$$

По методике, изложенной в литературе [77] нами была проведена проверка реальности полученных значений при расчете коэффициента регрессии каждой из моделей факторов.

Для проверки адекватности вычисляли F-критерий Фишера, приведенный в таблице 3.1.

Дисперсия неадекватности математической модели определяли по формуле, приведенной в таблице 3.1.

Для поиска оптимума использовали каноническое преобразование полученной математической модели. Для анализа и систематизации уравнение второго порядка приводили к типовой канонической форме вида:

$$Y - Y_S = B_{11} \cdot X_1^2 + B_{22} \cdot X_2^2 + \dots + B_{kk} \cdot X_k^2 \quad (3.16)$$

В результате канонического преобразования полученного уравнения регрессии произвели поворот начальных координат в некую точку  $S$ , при этом угол поворота составил некоторое значение  $\alpha$  во всем множестве факторов. Для этого были проведены дифференцирования всех функций отклика по частным производным, которые были приравнены к нулю и составлены в общую систему уравнений.

После канонического преобразования и определения вида поверхности отклика проводили ее анализ с помощью двумерных сечений [77].

### 3.7 Оптимизация основных параметров работы дисковой бороны

Для определения факторов, которые влияют на качество обработки почвы по агротребованиям агрегата, был проведен эксперимент, результаты представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Основные факторы, влияющие на качество обработки почвы по агротребованиям, обозначения и уровни их варьирования

Обозначение	Фактор	Уровень варьирования	
		нижний	верхний
$x_1$	Скорость движения агрегата, км/ч	6	12
$x_2$	Угол наклона дисков, град	15	45
$x_3$	Угол установки дисков относительно поворотного бруса, град.	140	150
$x_4$	Качество заделки зеленой массы, %	35	45
$x_5$	Пористость подпахотных слоёв почвы, %	44,4	49,8
$x_6$	Диаметр дисков, мм	550	700
$x_7$	Угол установки диска к вертикали, град.	0	18

Матрица рангов для качества обработки почвы по агротребованиям для комбинированного почвообрабатывающего агрегата приведена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Матрица рангов для качества обработки почвы по агротребованиям  
для комбинированного почвообрабатывающего агрегата

Специалист	Фактор						
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
1	2	1	1	4	1	1	1
2	2	2	2	5	1	1	2
3	1	2	4	4	2	1	1
4	1	2	2	1	5	5	1
5	1	1	5	6	1	2	3
6	2	3	4	1	7	4	2
7	1	1	1	1	5	2	1
8	1	1	1	1	1	6	6
9	1	1	2	1	4	2	1
10	1	1	1	2	1	1	6
Суммы $\sum_{j=1}^{j=m} a_{ij}$	13	15	23	26	28	25	24
Разности $\Delta_i = \sum_{i=1}^m a_{ij} - L$	-9,00	-7,00	1,00	4,00	6,00	3,00	2,00
$\Delta_i^2$	81,0	49,0	1,0	16,0	36,0	9,0	4,0
Квадраты отклонений	124,16	165,31	388,65	496,65	576	459,18	423,18

Согласно формуле (3.1), определяем коэффициент конкордации, который составил 0,94 для уровня значимости 0,05.

Значимость коэффициента конкордации проверяем по критерию Пирсона, используя выражение (3.4):

$$\chi^2 = 10 \cdot (7 - 1) \cdot 0,94 = 56,42, \quad (3.17)$$

для 5%-го уровня значимости при  $f = 6$  степеней свободы величина  $\chi_{\text{табл}}^2 = 12,592$ .

Для наглядности представления результатов априорного ранжирования факторов по данным таблицы 3.3 построим среднюю априорную диаграмму рангов распределения факторов, которые влияют на качество обработки поч-

вы по агротребованиям для комбинированного агрегата АПУ-1 при выполнении гладкой вспашки (рисунок 3.7).

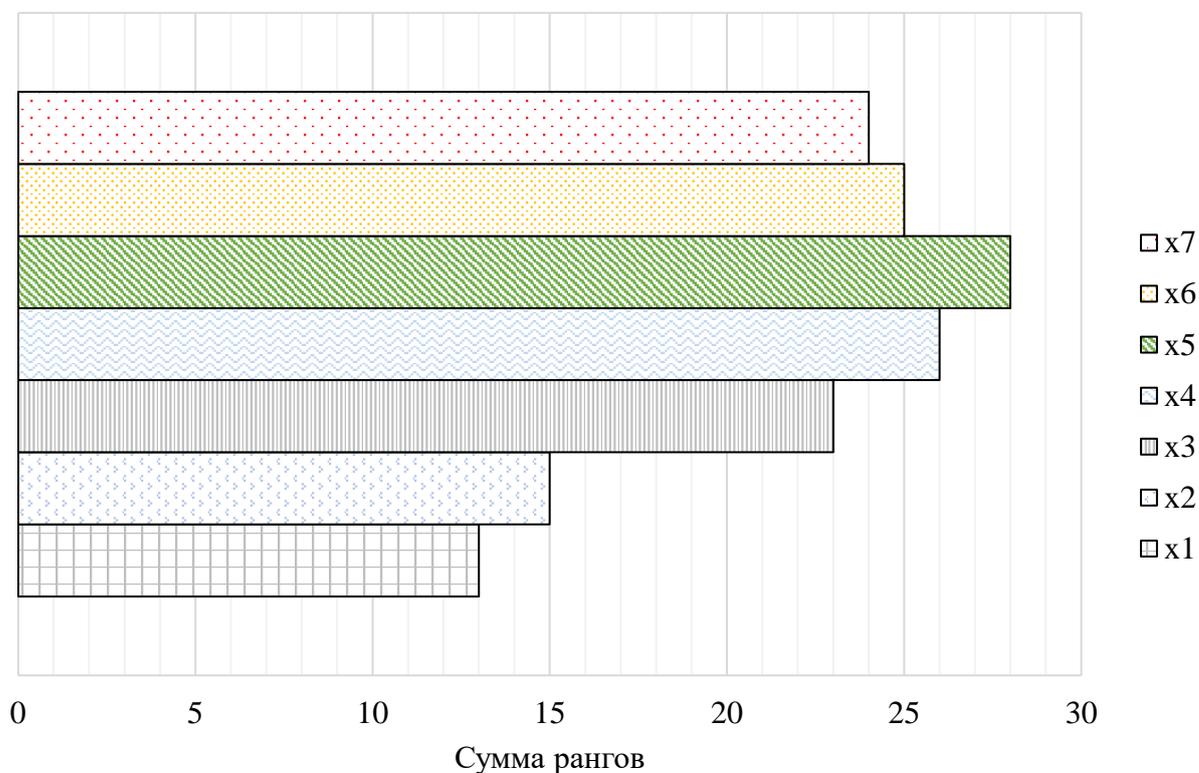


Рисунок 3.7 – Средняя априорная диаграмма рангов

Наиболее значимыми факторами (таблица 3.4), являются:  $x_1$  – скорость движения агрегата;  $x_2$  – угол наклона дисков. Данные факторы наиболее сильно оказывают влияние на качества обработки почвы по агротребованиям.

Таблица 3.4 – Факторы, интервалы и уровни варьирования

Переменные факторы	Кодированные обозначения, $x_i$	Интервал варьирования, $\Delta_i$	Уровни факторов		
			+1	0	-1
Скорость движения агрегата, $X_1$ (v), км/ч	$x_1$	3	12	9	6
Угол наклона дисков, $X_2$ ( $\alpha$ ), град.	$x_2$	15	45	30	15

После выбора рациональных факторов представим результаты экспериментальных исследований качества обработанной почвы по агротребованиям (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Результаты экспериментальных исследований критерия оптимизации

№	Фактор		Отклик			
	$x_1$	$x_2$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_{cp}$
1	+1	+1	62,66	62,81	62,33	62,6
2	-1	+1	65,1	64,1	65,46	64,89
3	+1	-1	63,9	60,48	62,1	62,16
4	-1	-1	55,5	53,73	52,4	53,88
5	+1	0	73	72,5	72,8	72,77
6	-1	0	69,2	70,9	69,22	69,77
7	0	+1	77,5	78,9	78,5	78,3
8	0	-1	71,7	72,5	73,5	72,57
9	0	0	85,3	86,8	85,35	85,82

Уровни факторов выбрали таким образом, чтобы оптимальные их значения, учитывающие существующие ограничения, находились в центре интервала варьирования.

Кодирование факторов выполнили, используя известное выражение, которое приведено [77].

На комбинированном агрегате изменяли скорость движения агрегата,  $X_1$  ( $v$ ), в интервале от 6 до 12 км/ч и угол наклона дисков  $X_2$  ( $\alpha$ ) в диапазоне 15...45 °.

При моделировании процесса работы экспериментального комбинированного почвообрабатывающего агрегата использовали полином второго порядка [77]. Математическую обработку полученных экспериментальных данных производили по разработанной программе на ЭВМ в среде *Mathcad 7*, по ее результатам получили уравнение регрессии в кодированном виде:

$$y = 85,872 + 1,464 \cdot x_1 + 2,97 \cdot x_2 - 2,655 \cdot x_1 \cdot x_2 - 14,553 \cdot x_1^2 - 10,39 \cdot x_2^2 \quad (3.18)$$

где  $y$  – качество обработки почвы по агротребованиям, %;

$x_1$  – кодированное значение скорости движения агрегата, км/ч;

$x_2$  – кодированное значение угла наклона дисков, град.

Анализ уравнения регрессии (3.7) показывает, что наибольшее влияние на качество обработанной почвы комбинированным агрегатом оказывает величина свободно члена  $b_0$ , который включает не учтенные факторы. Повышение качества обработки почвы по агротребованиям способствуют сочетание факторов  $x_1$  и  $x_2$ , находящихся на разных уровнях.

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные нулю, получили систему линейных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx_1} &= 1,464 - 2,655x_2 - 29,106x_1; \\ \frac{dy}{dx_2} &= 2,97 - 2,655x_1 - 20,78x_2. \end{aligned} \quad (3.19)$$

Решив систему линейных уравнений (3.8), определили координаты точки экстремума поверхности отклика:

$$x_1 = 0,0377, \quad x_2 = 0,1381.$$

Уравнение регрессии в каноническом виде:

$$Y - 86,10 - 14,94x_1^2 - 10,0x_2^2. \quad (3.20)$$

Поскольку коэффициенты канонического уравнения имеют одинаковые знаки – поверхность минимакс (рисунок 3.8) и имеет форму параболоида вращения (рисунок 3.9). Их отрицательное значение указывает на то, что значение функции отклика наибольшее и находится в точке с координатами:  $x_1 = 0,0377, x_2 = 0,1381$ .

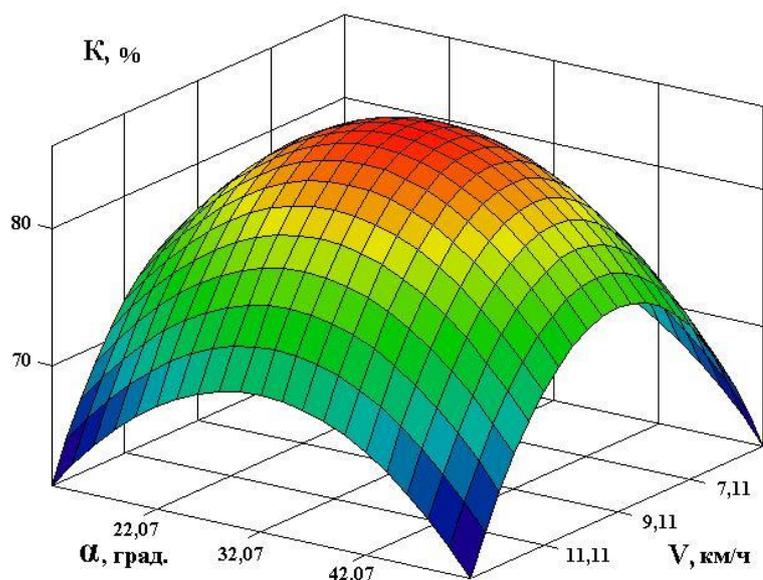


Рисунок 3.8 – Поверхность отклика зависимости качества обработки почвы по агротребованиям от скорости движения агрегата и угла наклона диска

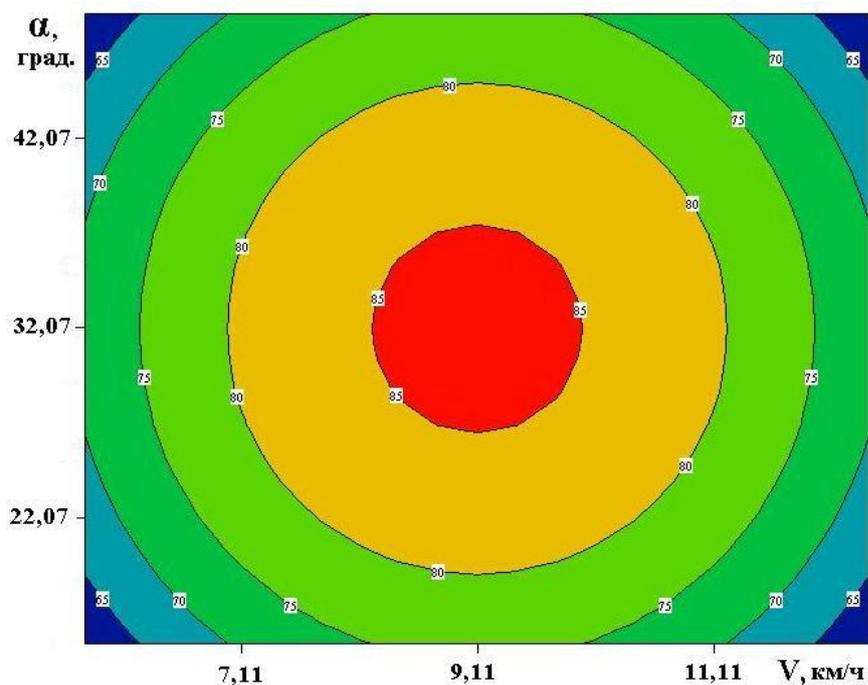


Рисунок 3.9 – Двухмерное сечение поверхности зависимости качества обработки почвы по агротребованиям от скорости движения агрегата и угла наклона диска

Анализируя полученные графики (рисунок 3.8) экспериментального анализа, можно сделать вывод о том, что изолинии, располагающиеся по одной из осей координат, соответствуют первому фактору нашего эксперимента, а именно скорости движения агрегата.

По другой оси (рисунок 3.9) значения отклика для второго фактора – угла наклона сферических дисков, показали, что этот фактор не так сильно влияет на качество обработки почвы, нежели первый фактор – скорость движения агрегата. Это также подтверждается меньшим коэффициентом, полученным при каноническом преобразовании уравнения (3.9).

Максимальное качество обработки почвы будет при скорости движения агрегата  $X_1 = 9,1$  км/ч и угле наклона диска  $X_2 = 32^\circ$ .

Зависимость качества обработки почвы согласно агротребованиям от скорости движения агрегата представлена на рисунке 3.10.

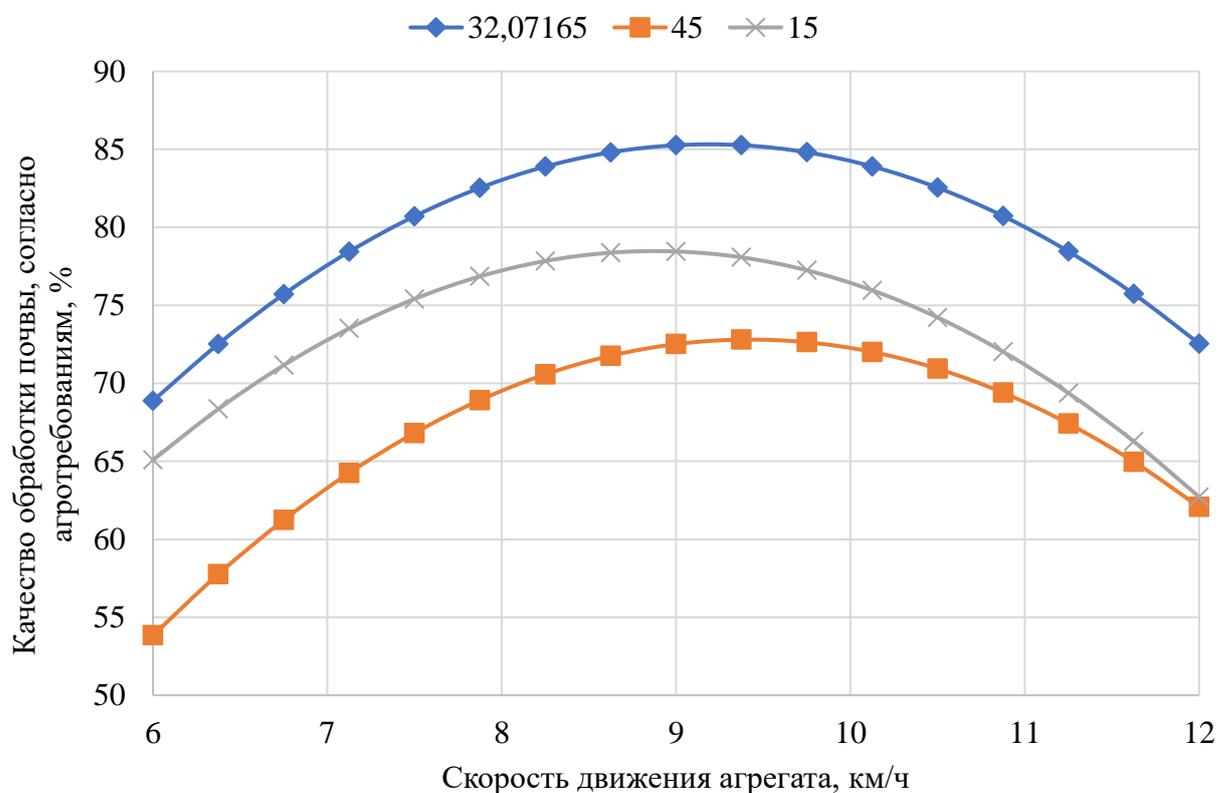


Рисунок 3.10 – Зависимость качества обработки почвы, согласно агротребованиям от скорости движения агрегата при угле наклона дисков

На рисунке 3.10 представлены зависимость качества обработки почвы, согласно агротребованиям от скорости движения агрегата при угле наклона дисков –  $\alpha = 32^\circ$ :

$$y = -14,55 x_2 + 1,831 + 85,264, \quad (3.21)$$

–  $\alpha = 45^\circ$ :

$$y = -14,55 x_2 + 4,119x + 75,512, \quad (3.22)$$

–  $\alpha = 15^\circ$ :

$$y = -14,55 x_2 + 1,191x + 78,452, \quad (3.23)$$

В процессе эксперимента при помощи плана планирования эксперимента типа  $B_k$  были получены оптимальные значения для следующих выбранных ранее факторов: скорость движения агрегата и угол наклона дисковых орудий, для работы проектируемого агрегата. По данным экспериментального анализа было установлено, что качеству обработки почвы в 86,10 % соответствуют следующие оптимальные значения факторов: рабочая скорость движения агрегата, которая составила 9,1 км/ч, и оптимальный угол наклона дисков –  $32^\circ$ .

### **3.8 Результаты полевых испытаний комбинированного почвообрабатывающего агрегата АПУ-1 при гладкой вспашке**

Полевые испытания комбинированного агрегата АПУ-1 проводили 17.09.2020 г. и 22.10.2021 г. в Красноармейском районе, РПЗ им. Майстренко, отделение № 7 (пос. Краснополянский).

Поле, продискованное дисковыми луцильниками после уборки пшеницы в начале августа, проросшее падалицей. Плотность почвы – 1,20–1,25 г/см<sup>3</sup> (рисунок 3.11).

Полевое почвенное рекогносцировочное обследование Красноармейского района показало, что при определенных климатических условиях имеют луговые выщелоченные почвы. Данный тип почв сформировался на просторах Красноармейского района из-за наличия большой влажности в почве, а также довольно частого выпадения осадков.

Плотность верхних слоев данные почв колеблется в пределах от  $1,25 \text{ г/см}^3$  да  $1,4 \text{ г/см}^3$  и плужной подошвой с уплотнением до  $1,55 \text{ г/см}^3$ .



*а*



*б*

Рисунок 3.11 – Комбинированный агрегат АПУ-1:  
*а* – в работе; *б* – поверхность поля после прохода

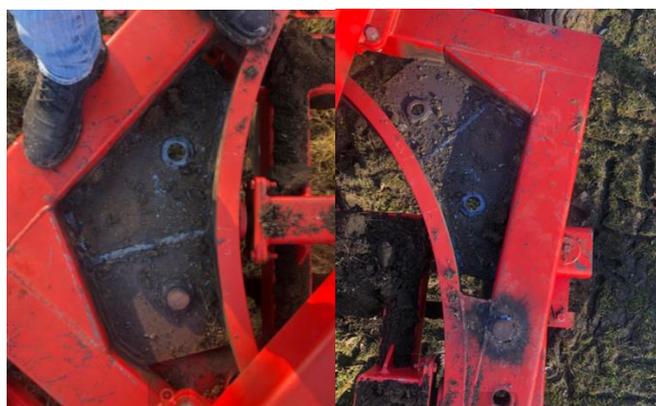
Наличие пор в почве и водных канал имеет значение 44–48 %, а в пахотном слое значение аэрации доходит до 14 %.

Если говорить об общей пористости, то она составляет на уровне пахотного слоя 46 %, а ниже его – 48 % [108].

При полевых испытаниях агрегата на выполнение вспашки заделка пожнивных составила 80–85 %, а при дисковании почвы на поле через месяц после лущения и на поле после уборки сои с плотностью соответственно 1,2 и 1,3 г/см<sup>3</sup> (45–50 %) [108].

Полевые испытания комбинированного агрегата АПУ-1 проводили 22.10.2021 г., в Красноармейском районе, РПЗ им. Майстренко, отделение №7 (пос. Краснополянский).

Балка на комбинированном агрегате АПУ-1 была размещена под углом: 45, 60, 75, 85 ° (рисунок 3.12).



*a* – 45°

*б* – 75°

Рисунок 3.12 – Расположение балки на комбинированном агрегате АПУ-1

Фиксация угла наклона дисков (рисунок 3.13) на нем и запись времени трогания трактора с места проводилась на его бортовом компьютере при выполнении операции дискования и при этом проводилась фиксация значений. Эксперименты проводились на трех фонах (лущение стерни озимой пшеницы, целина и после уборки сои) в трехкратной повторности.

Входными параметрами во время проведения полевых испытаний были: 1) угол наклона дисков  $\alpha = 15$ ,  $\alpha = 30$  и  $\alpha = 45^\circ$ ; 2) скорость движения трактора с комбинированным почвообрабатывающим агрегатом  $v = 6$  км/ч,  $v = 9$  км/ч и  $v = 12$  км/ч; 3) высота гребня после прохода агрегата.









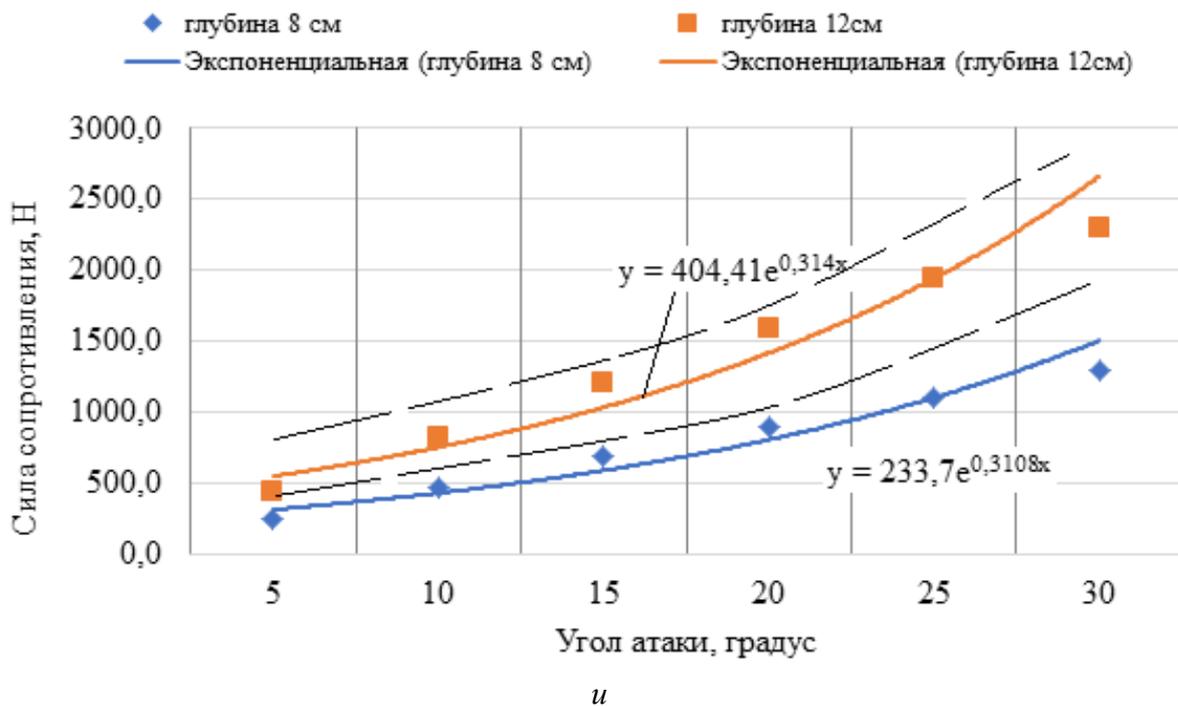
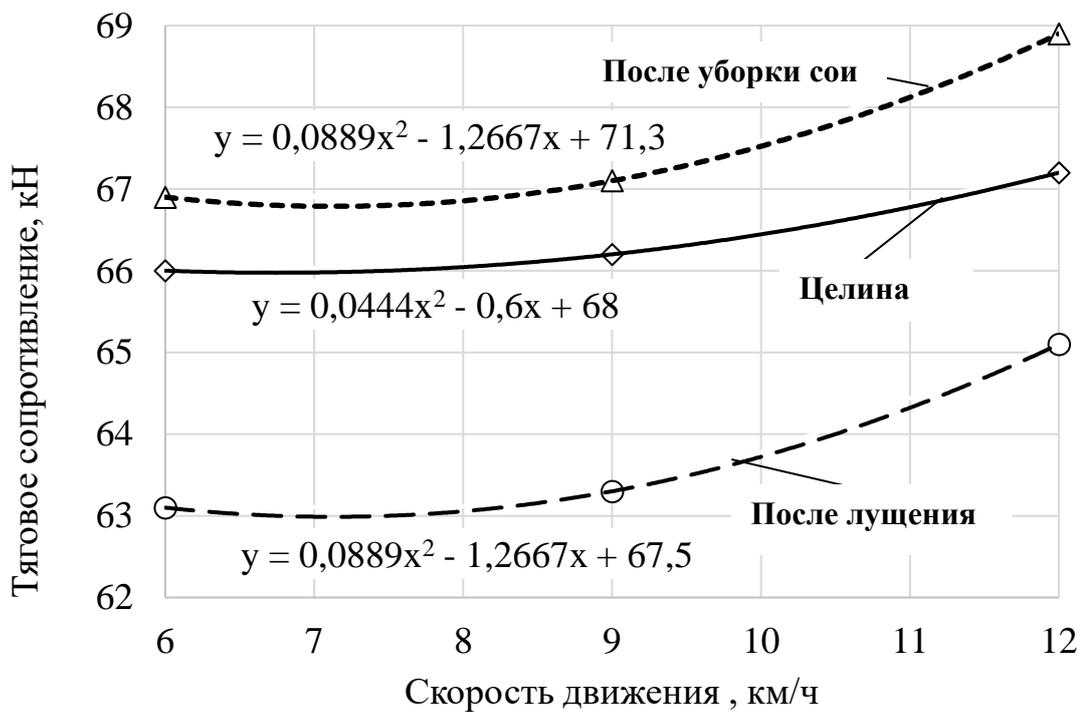


Рисунок 3.13 – Графики зависимости силы сопротивления от угла атаки диска почвообрабатывающего агрегата при:

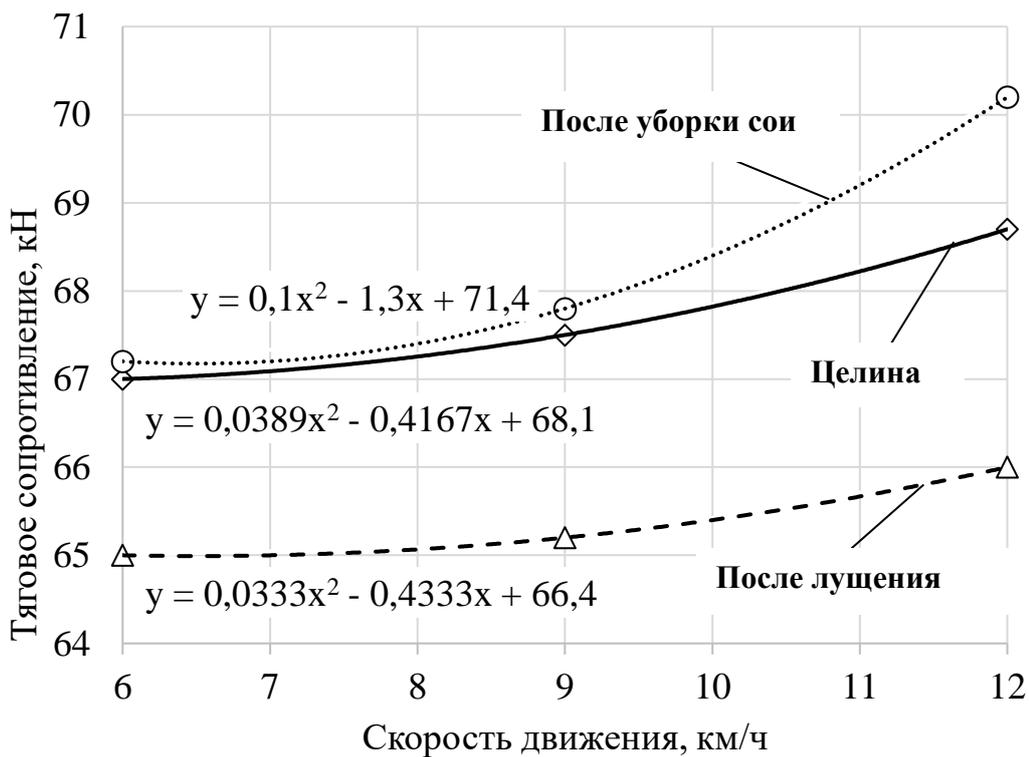
$a - k'' = 90 \text{ МПа}$  и  $v = 9 \text{ км/ч}$ ;  $b - k'' = 90 \text{ МПа}$  и  $v = 12 \text{ км/ч}$ ;  $в - k'' = 90 \text{ МПа}$  и  $v = 15 \text{ км/ч}$ ;  
 $г - k'' = 120 \text{ МПа}$  и  $v = 9 \text{ км/ч}$ ;  $д - k'' = 120 \text{ МПа}$  и  $v = 12 \text{ км/ч}$ ;  $e - k'' = 120 \text{ МПа}$  и  $v = 15 \text{ км/ч}$ ;  
 $жс - k'' = 150 \text{ МПа}$  и  $v = 9 \text{ км/ч}$ ;  $з - k'' = 150 \text{ МПа}$  и  $v = 12 \text{ км/ч}$ ;  $и - k'' = 150 \text{ МПа}$  и  $v = 15 \text{ км/ч}$

С увеличением скорости движения агрегата с 9 до 15 км/ч и угла атаки дисковой бороны при глубине равной 8–12 см сила сопротивления увеличивается. При этом расхождение между теоретической и экспериментальной зависимостью сил сопротивления составляет не более 10 % (рисунок 3.13).

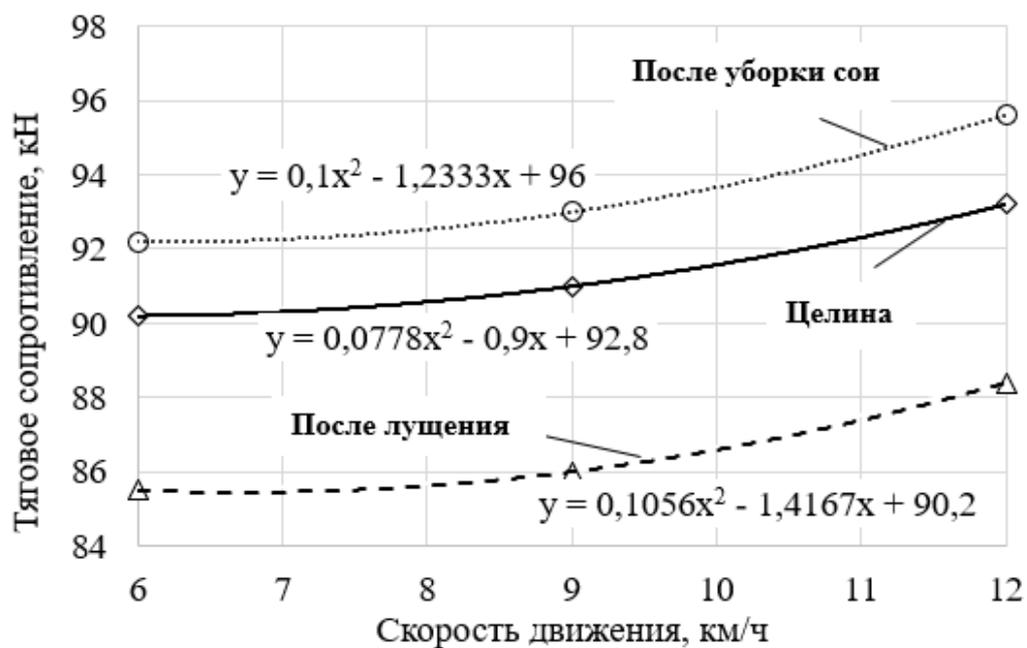
На рисунках 3.14, 3.15 и в таблице 3.6 приведена зависимость тягового сопротивления дисков от скорости движения агрегата на разных фонах.



а) угол 15 °



б) угол 30 °



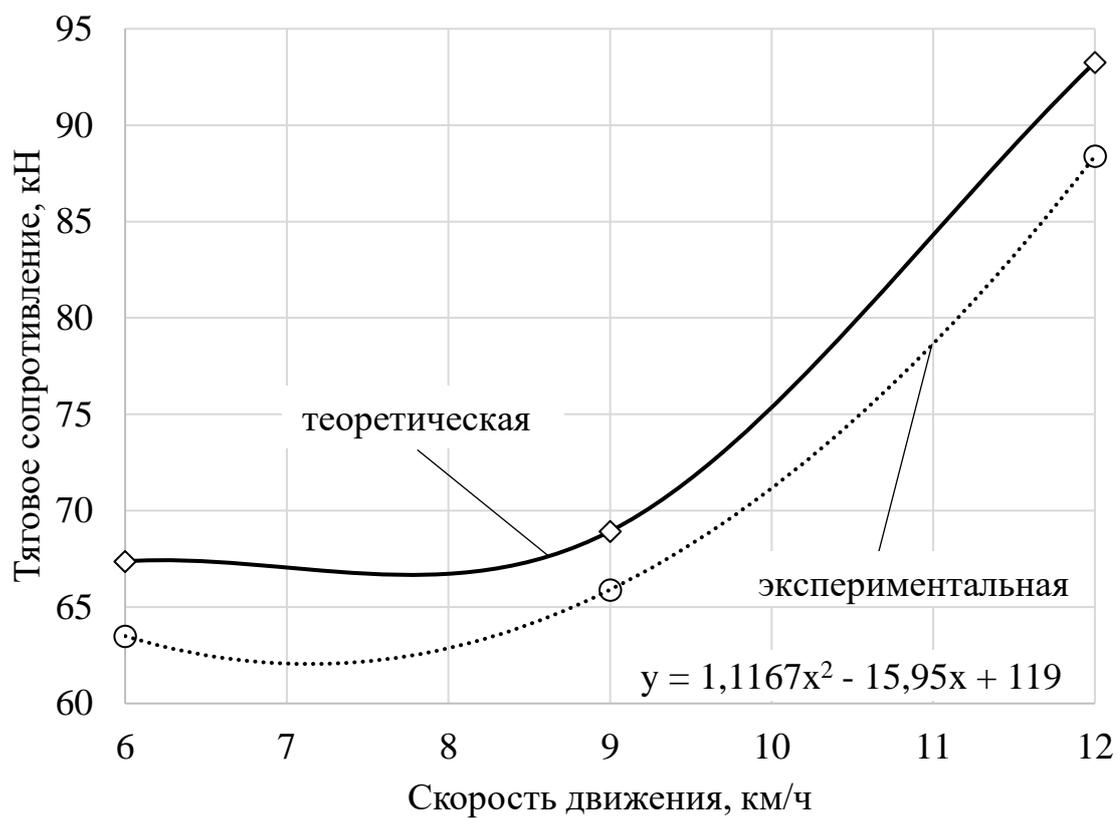
в) угол 45 °

Рисунок 3.14 – Зависимость тягового сопротивления дисков от скорости движения агрегата при разных углах его наклона

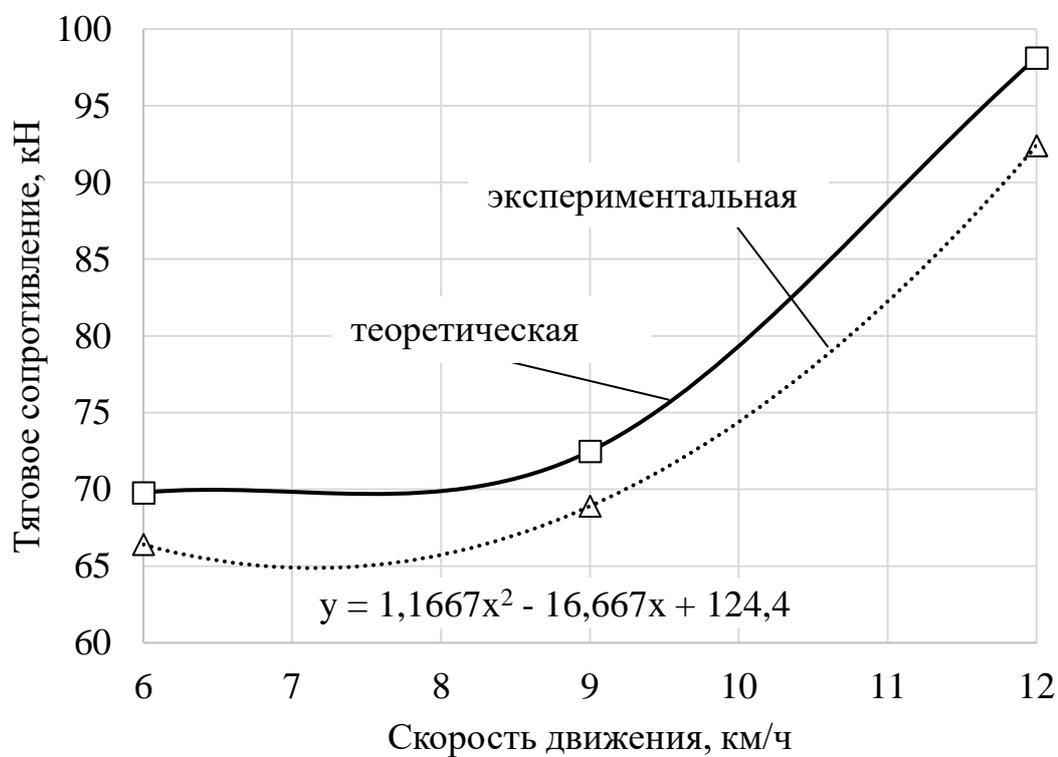
Анализ представленных данных в таблице 3.6 и на рисунке 3.14 показывает, что увеличение скорости движения агрегата приводит к повышению его тягового сопротивления при изменении фона поля и угла наклона дисков с 15 до 45 °.

Таблица 3.6 – Зависимость тягового сопротивления дисков от скорости движения агрегата

Фон	Угол наклона дисков ( $\alpha$ ), °	Скорость движения, км/ч	Стандартное отклонение, кН	Среднее значение тягового сопротивления, кН	Коэффициент вариации, %	Ошибка выборочной средней, кН	Относительная ошибка выборочной средней, %	Коэффициент корреляции, %
После лущения	15	6	1,1015	63,833	1,7256	0,63596	0,99628	0,9078
		9						
		12						
Целина	15	6	0,6429	66,467	0,9673	0,37118	0,55845	0,9333
		9						
		12						
После уборки сои	15	6	1,1015	67,633	1,6287	0,63596	0,94030	0,9078
		9						
		12						
После лущения	30	6	0,5292	65,400	0,8091	0,30551	0,46713	0,9449
		9						
		12						
Целина	30	6	0,8737	67,733	1,2899	0,50442	0,74472	0,9729
		9						
		12						
После уборки сои	30	6	1,5875	68,400	2,3208	0,91652	1,33993	0,9449
		9						
		12						
После лущения	45	6	1,5503	86,633	1,7895	0,89505	1,03315	0,9353
		9						
		12						
Целина	45	6	1,5535	91,467	1,6984	0,89691	0,98058	0,9656
		9						
		12						
После уборки сои	45	6	1,7776	93,600	1,8992	1,02632	1,09650	0,9563
		9						
		12						



а) после лущения стерни



б) целина

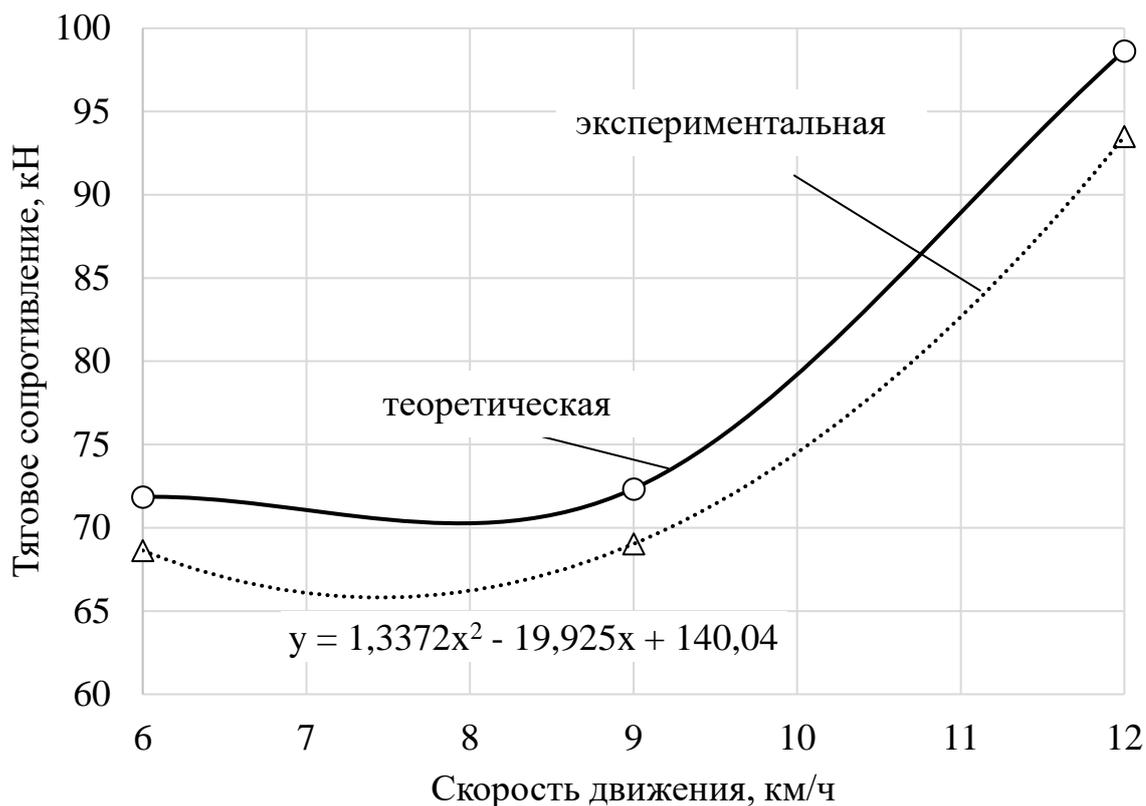


Рисунок 3.15 – Зависимость тягового сопротивления дисков от скорости движения агрегата при разных углах его наклона:

в) после уборки сои

Анализ данных рисунка 3.15 показывает, что увеличение скорости движения агрегата с 6 до 12 км/ч приводит к повышению его тягового сопротивления при изменении угла наклона дисков (15, 30 и 45 °) и сходимости теоретических (формула 2.17) и экспериментальных его значений, разница между которыми составляет 4,4-5,84%.

На рисунке 3.16 показана экспериментальная зависимость высоты гребня от скорости движения агрегата при изменении угла наклона дисков. Результаты статистического анализ их значений приведены в таблице 3.7.

Согласно приведенным данным повышение скорости движения разработанного комбинированного почвообрабатывающего агрегата АПУ-1 сопровождается увеличением высоты гребня после его прохода, что показано на рисунке 3.16.

Результаты статистического анализа показали зависимость влияния скорости движения агрегата на высоту гребня (таблица 3.7).

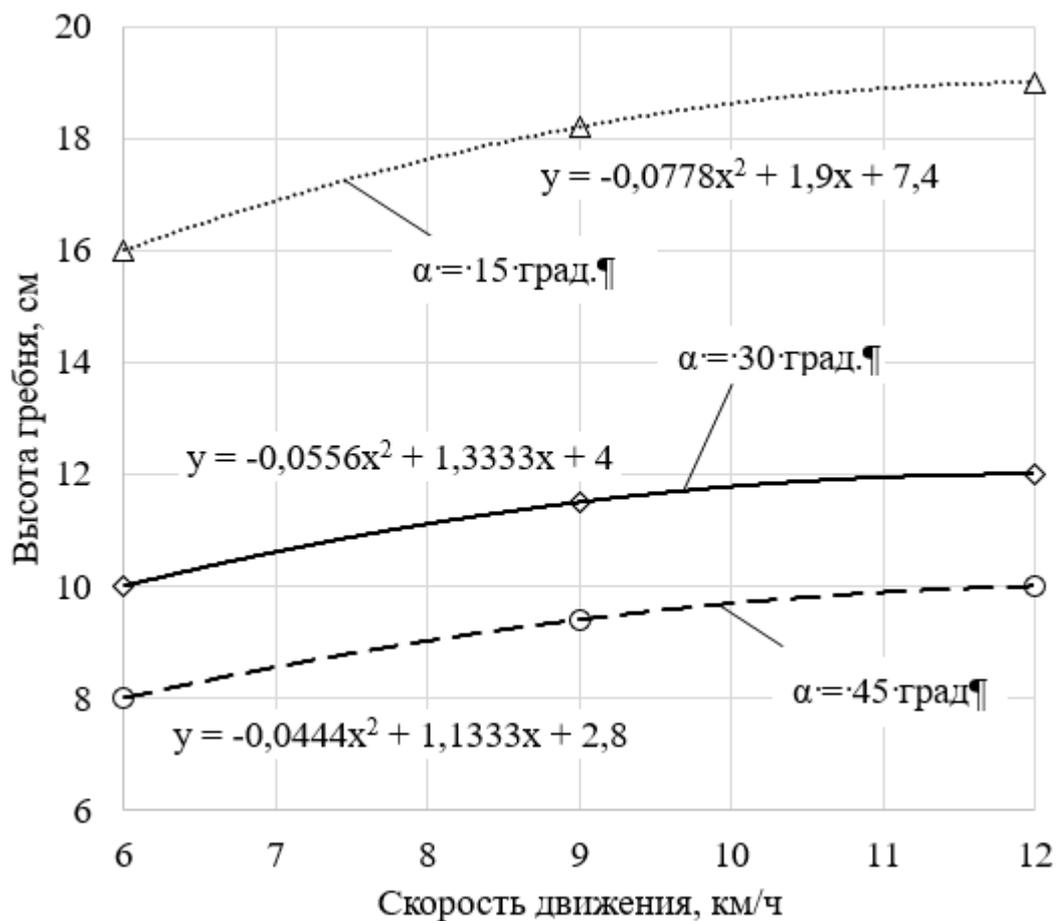


Рисунок 3.16 – Зависимость высоты гребня от скорости движения агрегата при изменении угла атаки дисков

Таблица 3.7 – Результаты статистического анализа зависимости высоты гребня от скорости движения агрегата

Угол наклона дисков ( $\alpha$ ), град.	Скорость движения, км/ч	Высота гребня, см	Стандартное отклонение, см.	Среднее значение высоты гребня, см.	Коэффициент вариации, %	Ошибка выборочной средней, см.	Относительная ошибка выборочной средней, %	Коэффициент корреляции, %
15	6	16	1,553	17,733	8,760	0,897	5,058	0,966
	9	18,2						
	12	19						
30	6	10	1,041	11,167	9,321	0,601	5,381	0,961
	9	11,5						
	12	12						
45	6	8	1,026	9,133	11,237	0,593	6,488	0,974
	9	9,4						
	12	10						

Для разработанного комбинированного почвообрабатывающего агрегата АПУ-1 проводилась оценка качества обработки почвы в зависимости от конструктивных параметров дисков и угла их наклона. Показатели оценки качества обработки почвы представлены на рисунке 3.17. Согласно полученным результатам видно, что с ростом угла наклона дисков качество обработки почвы повышается (рисунок 3.17).

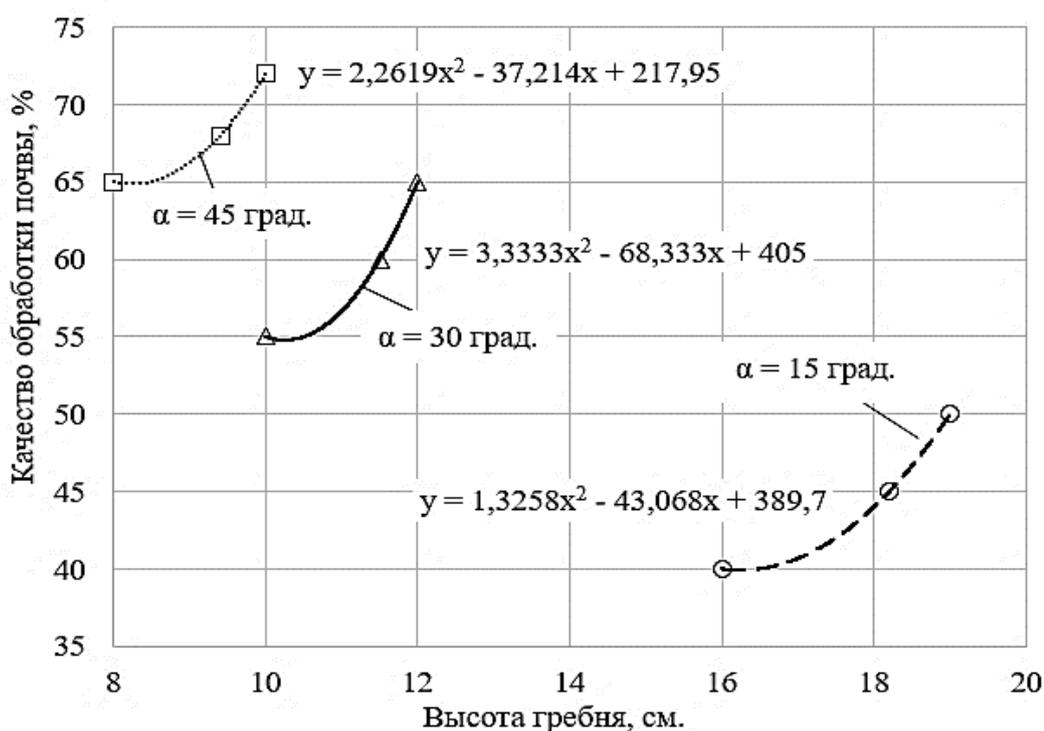


Рисунок 3.17 – Зависимость качества обработки от высоты гребня при изменении угла наклона дисков

При угле наклона дисков  $15^\circ$  глубина обработки почвы составляет 20 см, высота гребня с 19 до 16 см, глыбистость для комков диаметром больше 5 см 50–45 %. При этом с увеличением угла наклона дисков с  $15^\circ$  до  $30^\circ$  глубина обработки почвы составляет 18 см, уменьшается высота гребня с 16 до 10 см, глыбистость с 45 до 40 %. При дальнейшем увеличении угла наклона дисков до  $45^\circ$  глубина обработки почвы составляет 16 см, высота гребня с 10 до 8 см, глыбистость уменьшится с 40 до 38 %. Проведена оценка равномерности распределения гребнистости поверхности поля, которая имеет величину вариации 8,7–11,2%.

При этом корреляция между качеством обработки почвы и высотой гребня составляет 0,96–0,97 % и наибольшая корреляция наблюдается при угле наклона дисков 45 ° (таблица 3.7)

### 3.9 Выводы по главе

1. Изготовлен экспериментальный образец КПА со сменными рабочими органами для гладкой вспашки с возможностью изменения конструктивно-режимных параметров дисков для их обоснования.

2. При помощи уравнения регрессии и реализованного плана Бокса-Бенкина для двухфакторного эксперимента было получено оптимальное значение качества обработки почвы разработанным комбинированным почвообрабатывающим агрегатом АПУ-1, которое составило 86,10 % при скорости движения – 9,1 км/ч и угле наклона дисков – 32,1 °.

3. В результате полевых испытаний разработанного комбинированного почвообрабатывающего агрегата АПУ-1 установлено, что для снижения тягового сопротивления при изменении фона поля и угла наклона дисков с 15 до 45 °С необходимо, чтобы скорость его движения была не более 9 км/ч.

4. Проведен сравнительный анализ экспериментальных значений тягового сопротивления разработанного комбинированного почвообрабатывающего агрегата АПУ-1 при его работе на разном фоне поля (после лущения, целина и после уборки сои) и изменении скорости движения от 6 до 12 км/ч, в результате которого установлено среднее значение: 63,8–67,6 кН при угле наклона дисков 15 °; 65,4–68,4 кН при угле 30 °; 86,6–93,6 кН при угле 45 °. При этом величина его вариации не превышает 3 %.

5. При угле наклона дисков 15 ° глубина обработки почвы составляет 20 см, высота гребня с 19 до 16 см, глыбистость для комков диаметром больше 5 см 50–45 %. При этом с увеличением угла наклона дисков с 15 до 30 ° глубина обработки почвы составляет 18 см, уменьшается высота гребня с 16 до 10 см, глыбистость с 45 до 40 %. При дальнейшем увеличении угла накло-

на дисков до 45 ° глубина обработки почвы составляет 16 см, высота гребня с 10 до 8 см, глыбистость уменьшится с 40 до 38 %.

## 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ГЛАДКОЙ ВСПАШКИ

### 4.1 Методика расчета экономической оценки

Для внедрения технологии гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры комбинированным агрегатом на площади 100 га взят кредит в размере 1300,0 тыс. руб. сроком на 3 г. с погашением долга в течение срока выделения кредита равными платежами. Расчетный период  $n = 5$  лет (срок эксплуатации комбинированного агрегата) [7, 78, 79].

Данная предлагаемая технология комбинированным агрегатом (*JOHN DEERE 8330+АПУ-1*) сравнивалась с традиционной технологией, предполагающей применение дисковой бороны (К-700+БДМ-4х4Н) и чизельного плуга (К-700+ПЧН-4,5).

Исходные данные для расчета экономической эффективности комбинированного почвообрабатывающего агрегата приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета экономической эффективности комбинированного почвообрабатывающего агрегата

Наименование показателей	Обозначение	Единица измерения	Технологии по комплекту техники	
			Существующая	Предлагаемая
Площадь обработки	$S$	га	100	100
Состав агрегата			К-700+БДМ-4х4Н К-700+ПЧН-4,5	<i>JOHN DEERE 8330+АПУ-1</i>
Розничная цена:				
– трактор К-700 [74–76]	руб.	$C_T$	4 050000	
– трактор <i>JOHN DEERE 8330</i>	руб.	$C_T$	–	4 037424
– чизельный плуг ПЧН-4,5	руб.	$C_{пл}$	1 156 000	-
– дисковая борона БДМ-4х4 Н	руб.	$C_б$	520800	-
– агрегат АПУ-1	руб.	$C_a$	–	398958
Удельный расход топлива:		$g$		
– К-700; – <i>JOHN DEERE 8330</i>	кг·кВт/ч		0,206	0,218

Наименование показателей	Обозначение	Единица измерения	Технологии по комплекту техники	
			Существующая	Предлагаемая
Производительность: – пахотного агрегата – агрегат почвообрабатывающий универсальный (АПУ-1); – дисковой бороны	га/ч	$W_{пл}$ $W_{АПУ}$ $W_{бд}$	4,5  4,62	 2,8
Продолжительность смены	ч	$t$	8	8
Часовая тарифная ставка: – техника (1 раз); – техника (2 раз)	руб/ч руб/ч	$T_{тр}$	105,38 94,08	105,38 94,08
Годовая загрузка: – тракторов К-700; – JOHN DEERE 8330; – чизельного плуга; – агрегата (АПУ-1); – бороны БДМ	ч	$T_{г.з.}$	1095 800 480  180	   160
Норма амортизационных отчислений на реновацию и ТР и ТО: – трактора: – К-700; – JOHN DEERE 8330; – плуга ПЧН-4,5; – агрегата (АПУ-1); – бороны БДМ	%	$A_{тр}$	25,5 – 11,0 – 12,5	  25,5  16,7
Стоимость 1кг топлива	руб.	$Ц_{г}$	48	48
Количество обслуживающего персонала	чел.	–	2	1
Коэффициент использования рабочего времени смены		$K$	0,75	0,75
Реализовано продукции	т	$B$	170	200
Цена реализации	руб./т	$Ц_{п}$	8500	8500
Нормативный коэффициент окупаемости капиталовложений (по ставке рефинансирования)	–	$K_p$	–	0,2
Норма доходности (банковская кредитная ставка)	%	$E$	20	20
Годовой уровень инфляции	%	–	10	10

## 4.2 Экономическая эффективность внедрения комбинированного агрегата

Расчетные формулы для выполнения экономического обоснования применения комбинированного агрегата представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчетные формулы для выполнения экономического обоснования применения комбинированного агрегата

Наименование показателя	Формула	Расшифровка символов
Капитальные вложения определяются [78, 79, 7]	$K = K_{\Pi} + K_C$	$K_{\Pi}$ , $K_C$ – соответственно прямые и сопутствующие КВ, тыс. руб.
Платежи по кредиту с учетом процентов при заемной сумме $K_3$ [78, 79, 7]	$K_T = \frac{E_K \cdot (1 + E_K)^{t_k}}{(1 + E_K)^{t_k} - 1} \cdot K_3$	$K_T$ – платеж на $i$ -ом шаге с учетом процентов, руб.; $E_K$ – номинальная годовая банковская процентная ставка; $K_3$ – заемная сумма, руб.; $t_k$ – срок погашения кредита, лет
Эксплуатационные затраты [78, 79, 7]	$Z_{ЭКС} = Z_{пл} + Z_{ТО} + Z_{ТСМ} + Z_{пр}$	$Z_{пл}$ – заработная плата обслуживающего персонала, тыс. руб.; $Z_{ТО}$ – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт, тыс. руб.; $Z_{ТСМ}$ – затраты на топливо-смазочные материалы, тыс. руб.; $Z_{пр}$ – прочие затраты, тыс. руб
Зарплата обслуживающего персонала [78, 79, 7]	$Z_{пл} = N_p \cdot t_0 \cdot T_{тр} \cdot \eta_d \left(1 + \frac{\eta_0}{100}\right)n$	$N_p$ – численность обслуживающего персонала; $t_0$ – время, затрачиваемое на обслуживание устройства, ч.; $T_{тр}$ – тарифная ставка оплаты обслуживающего персонала, руб./ч; $\eta_d$ – коэффициент дополнительной заработной платы, ( $\eta_d = 1,1 \dots 1,2$ ); $\eta_0$ – процент отчислений на социальное страхование ( $\eta_0 = 35,6 \%$ ); $n$ – количество обработок почвы

Продолжение таблицы 4.2

Наименование показателя	Формула	Расшифровка символов
Размер затрат на техническое обслуживание и ремонт технических средств [78, 79, 7]	$З_{ТО} = \left( \sum \frac{Ц_i \cdot H_i}{T_{Гi} \cdot W_q \cdot 100} \right) \cdot S$	З <sub>ТО</sub> – затраты на техническое обслуживание и ремонт, тыс. руб.; Ц <sub>i</sub> – балансовая стоимость технических средств, тыс. руб.; Н <sub>i</sub> – норматив отчислений на техническое обслуживание и ремонт технических средств, % от их балансовой стоимости; Т <sub>Гi</sub> – годовая загрузка, ч; W <sub>q</sub> – часовая производительность, га/ч; S – площадь обслуживания, га
Размер часового расхода топлива (кг/ч)	$Q = 0,7 \cdot gN$	0,7 – коэффициент перевода единицы измерения мощности двигателя из кВт в л. с.; g – удельный расход топлива, г·кВт/ч; N – мощность двигателя, л. с.
Размеры затрат на топливо-смазочные материалы	$З_{ТСМ} = \sum Q_{ij} \cdot t \cdot Ц_T$	Q <sub>ij</sub> – расход топлива, кг/ч; Ц <sub>T</sub> – цена топлива, руб./кг
Прочие прямые затраты	$З_{пр} = З_{экс} \cdot (0,05...0,1)$	–
Размер валовой прибыли от реализации продукции	$П_B = В - З$	В – полная годовая выручка от реализации продукции, тыс. руб.; З – годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб.
Размер амортизационных отчислений	$A = Ц_{об} \frac{\alpha}{100}$	Ц <sub>об</sub> – стоимость оборудования, руб.; α – норма амортизационных отчислений, %.
Размер чистого дисконтированного дохода в течение всего периода эксплуатации	$\begin{aligned} \text{ЧДД} &= -K + \frac{П_1}{(1+E)} \\ &+ \frac{П_2}{(1+E)^2} + \dots + \frac{П_n}{(1+E)^n} \end{aligned}$	K – инвестиции, необходимые для реализации проекта, тыс. руб.; П <sub>1</sub> , П <sub>2</sub> , ..., П <sub>n</sub> – чистые денежные поступления по отдельным годам от реализации проекта, руб.; E – норма дисконта
Срок окупаемости технологий [7, 78, 79]:	$T_{ок} = \frac{П}{K}$	–

Капитальные вложения определяются по формуле, представленной в таблице 4.2 [78, 79, 7]:

*Вариант А*

$$K = 4050000 + 1156000 + 520800 = 5726800 \text{ руб.}$$

*Вариант Б*

$$K = 4037424 + 398958 = 4436382 \text{ руб.}$$

Платежи по кредиту с учетом процентов при заемной сумме  $K$ , определяются по формуле [78, 79, 7], представленной в таблице 4.2:

*Вариант А*

$$K_T = \frac{0,2 \cdot (1 + 0,2)^3}{(1 + 0,2)^3 - 1} \cdot 5726800 = 2718657 \text{ руб.}$$

*Вариант Б*

$$K_T = \frac{0,2 \cdot (1 + 0,2)^3}{(1 + 0,2)^3 - 1} \cdot 4436382 = 2106063 \text{ руб.}$$

Размеры выплат по кредиту за три года составят:

*Вариант А*

$$K_{\Sigma} = \frac{2718657}{(1 + 0,2)^0} + \frac{2718657}{(1 + 0,2)^1} + \frac{2718657}{(1 + 0,2)^2} + \frac{2718657}{(1 + 0,2)^3} = 8445458 \text{ руб.}$$

*Вариант Б*

$$K_{\Sigma} = \frac{2106063}{(1 + 0,2)^0} + \frac{2106063}{(1 + 0,2)^1} + \frac{2106063}{(1 + 0,2)^2} + \frac{2106063}{(1 + 0,2)^3} = 6542446 \text{ руб.}$$

Заработная плата обслуживающего персонала [78, 79, 7] определится по формуле [78, 79, 7], представленной в таблице 4.2:

*Вариант А*

*Вспашка почвы*

$$Z_{пл} = 1 \cdot 84 \cdot 105,38 \cdot 1,2 \cdot \left(1 + \frac{35,6}{100}\right) \cdot 2 = 28808 \text{ руб.}$$

*Боронование*

$$Z_{пл} = 1 \cdot 28 \cdot 94,08 \cdot 1,2 \cdot \left(1 + \frac{35,6}{100}\right) \cdot 2 = 2251 \text{ руб.}$$

*Вариант Б*

*Вспашка почвы*

$$Z_{пл} = 1 \cdot 84 \cdot 105,38 \cdot 1,2 \cdot \left(1 + \frac{35,6}{100}\right) \cdot 2 = 28808 \text{ руб.}$$

*Боронование*

$$Z_{пл} = 1 \cdot 28 \cdot 94,08 \cdot 1,2 \cdot \left(1 + \frac{35,6}{100}\right) \cdot 2 = 2251 \text{ руб.}$$

Размер затрат на техническое обслуживание и ремонт технических средств установлен по выражению [78, 79, 7], представленное в таблице 4.2:

*Вариант А*

$$Z_{ТО} = \left( \frac{4050000 \cdot 25,5}{1095 \cdot 4,62 \cdot 100} + \frac{520800 \cdot 12,5}{180 \cdot 4,62 \cdot 100} + \frac{4050000 \cdot 25,5}{1095 \cdot 4,5 \cdot 100} + \frac{1156000 \cdot 11}{800 \cdot 4,5 \cdot 100} \right) \cdot 100 = 527 \text{ руб.}$$

*Вариант Б*

$$Z_{ТО} = \left( \frac{4037424 \cdot 25,5}{800 \cdot 6,2 \cdot 100} + \frac{398958 \cdot 16,7}{160 \cdot 6,2 \cdot 100} \right) \cdot 100 = 275 \text{ руб.}$$

Размер часового расхода топлива (кг/ч) определяли по выражению [78, 79, 7], приведенному в таблице 4.2.

Определяем потребность в топливе на 1 ч работы по выражению, представленному в таблице 4.2.

Для трактора К-700:

$$Q = 0,7 \cdot 206 \cdot 230 = 33166 \text{ г/ч или } 33,17 \text{ кг/ч}$$

Для трактора *JOHN DEERE* 8330:

$$Q = 0,7 \cdot 218 \cdot 270 = 41202 \text{ г/ч или } 41,20 \text{ кг/ч}$$

Размеры затрат на топливо-смазочные материалы определим по формуле, приведенной в таблице 4.2.

Затраты на топливо-смазочные материалы будут:

*Вариант А*

*Вспашка почвы*

$$Z_{ТСМ} = 20,57 \cdot 71,43 \cdot 48 = 70527 \text{ руб.}$$

*Боронование*

$$Z_{ТСМ} = 33,17 \cdot 71,43 \cdot 48 = 113728 \text{ руб.}$$

*Вариант Б*

$$Z_{TSM} = 41,20 \cdot 71,43 \cdot 48 = 141260 \text{руб.}$$

Эксплуатационные затраты рассчитываем по формуле, представленной в таблице 4.2:

*Вариант А*

$$Z_{TSM} = 31059 + 527 + 70527 + 113728 = 215841 \text{руб.}$$

*Вариант Б*

$$Z_{ЭКС} = 31059 + 275 + 141260 = 172594 \text{руб.}$$

Прочие прямые затраты определяем по формуле, приведенной в таблице 4.2.

*Вариант А*

$$Z_{пр} = 215841 \cdot 0,1 = 21584 \text{руб.}$$

*Вариант Б*

$$Z_{пр} = 172594 \cdot 0,1 = 17259 \text{руб.}$$

Результаты расчета себестоимости продукции приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчета себестоимости продукции

Статьи затрат	Вариант	
	Базовый А	Новый Б
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды, руб.	31059	31059
Расходы на содержание оборудования, руб. в том числе:		
– техническое обслуживание;	527	275
– топливо	184255	141260
Прочие затраты, руб.	21584	17259
Полная себестоимость, руб.	237425	189853

Выручка рассчитывается от урожайности пшеницы на расчетной площади и ее реализацией на 100 %.

Полная годовая выручка от реализации продукции приведена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчета полной годовой выручки от реализации продукции  
(Краснодарский край)

Год	Валовый сбор озимой пшеницы, млн т		Цена реализации 1 т озимой пшеницы, руб.	Выручка за реализацию озимой пшеницы, руб.	
	Вариант А	Вариант Б		Вариант А	Вариант Б
2018	667	675	10000	6670000	6750000
2019	742	840	11500	8533000	9660000
2020	800	820	17900	14320000	14678000
2021	840	850	16500	13860000	14025000
2022	870	900	11900	10353000	10710000

Размер валовой прибыли от реализации продукции установлен согласно зависимости [78, 79, 7], которая представлена в таблице 4.2.

*Вариант А*

$$П_{61} = 6670000 - 237425 = 6432575 \text{ руб.}$$

$$П_{62} = 85330000 - 237425 = 8295575 \text{ руб.}$$

$$П_{63} = 14320000 - 237425 = 14082575 \text{ руб.}$$

$$П_{64} = 13860000 - 237425 = 13682575 \text{ руб.}$$

$$П_{65} = 10710000 - 189853 = 10520147 \text{ руб.}$$

*Вариант Б*

$$П_{61} = 67500000 - 189853 = 6560147 \text{ руб.}$$

$$П_{62} = 9660000 - 189853 = 9470147 \text{ руб.}$$

$$П_{63} = 14678000 - 189853 = 14488147 \text{ руб.}$$

$$П_{64} = 14025000 - 189853 = 13835147 \text{ руб.}$$

$$П_{65} = 10710000 - 189853 = 10520147 \text{ руб.}$$

Размер амортизационных отчислений определяется по выражению [78, 79, 7], представленное в таблице 4.2.

*Вариант А*

$$A = 4050000 \frac{25,5}{100} + 520800 \frac{12,5}{100} + 4050000 \frac{25,5}{100} + 1156000 \frac{11}{100} \\ = 2257760 \text{руб.}$$

*Вариант Б*

$$A = 4037424 \frac{25,5}{100} + 398958 \frac{16,7}{100} = 1096169 \text{руб.}$$

Размер чистых денежных поступлений с учетом налога на прибыль (24 %) и амортизационных отчислений установлен согласно выражения [78, 79, 7]:

*Вариант А*

$$П_1 = (6432575 - 2257760) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 225760 = 5430619 \text{руб.}$$

$$П_2 = (8295575 - 2257760) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 225760 = 6846499 \text{руб.}$$

$$П_3 = (14082575 - 2257760) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 225760 = 11444619 \text{руб.}$$

$$П_4 = (13622575 - 2257760) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 225760 = 10895019 \text{руб.}$$

$$П_5 = (10115575 - 2257760) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 225760 = 8229699 \text{руб.}$$

*Вариант Б*

$$П_1 = (6560147 - 1096169) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 1096169 = 5248792 \text{руб.}$$

$$П_1 = (9470147 - 1096169) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 1096169 = 7460392 \text{руб.}$$

$$П_3 = (1448147 - 1096169) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 1096169 = 11274072 \text{руб.}$$

$$П_4 = (13835147 - 1096169) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 1096169 = 10777792 \text{ руб.}$$

$$П_5 = (105201147 - 1096169) \cdot \left(1 - \frac{24}{100}\right) + 1096169 = 8258392 \text{ руб.}$$

Размер чистого дисконтированного дохода в течение всего периода эксплуатации устанавливается согласно выражения [78, 79, 7], представленное в таблице 4.2.

*Вариант А*

$$\begin{aligned} ЧДД = & -5726800 + \frac{5430619}{(1 + 0,2)} + \frac{684699}{(1 + 0,2)^2} + \frac{11244619}{(1 + 0,2)^3} + \\ & + \frac{10895019}{(1 + 0,2)^4} + \frac{8229699}{(1 + 0,2)^5} = 18622020 \text{ руб.} \end{aligned}$$

*Вариант Б*

$$\begin{aligned} ЧДД = & -4436382 + \frac{5248792}{(1 + 0,2)} + \frac{9470147}{(1 + 0,2)^2} + \frac{14488147}{(1 + 0,2)^3} + \\ & + \frac{13835147}{(1 + 0,2)^4} + \frac{10520147}{(1 + 0,2)^5} = 25798299 \text{ руб.} \end{aligned}$$

С учетом того, что размер чистых дисконтированных доходов превышает ноль, то оба проекта признаются эффективными.

Срок окупаемости технологий устанавливается по зависимости [7, 78, 79], приведенной в таблице 4.2.

Окупаемость капитальных вложений будет:

*Вариант А*

За первый год прибыль равна 5430619 руб., что меньше внесенных КВ с учетом выплат по кредиту. Исходя из этого, учитывается прибыль за второй год, равная 6846499 руб. С учетом этого имеем:

$$T_{OK} = \frac{5430619 + 6846499}{5726800} = 2,1 \text{ года.}$$

### Вариант Б

Прибыль за первый год составляет 5248792 руб., что больше внесенных капитальных вложений. Тогда срок окупаемости капитальных вложений определяется следующим образом:

$$T_{OK} = \frac{5248792}{4436382} = 1,2 \text{ года.}$$

Результаты расчета технико-экономических показателей представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты расчета технико-экономических показателей

Показатели	Варианты	
	Базовый К-700+БДМ-4х4Н К-700+ПЧН-4,5	Предлагаемый <i>JOHN DEERE</i> 8330+АПУ-1
Площадь обработки, га	100	100
Чистый дисконтированный доход за 5 лет эксплуатации, тыс. руб.	18622,02	25798,299
Единовременные капитальные вложения с учетом выплат по кредиту, тыс. руб.	5726,8	4436,382
Себестоимость процесса, в том числе расходы на:	237425	189853
– оплату труда	31059	31059
– техническое обслуживание	527	275
– ТСМ	184255	141260
– прочие затраты	21584	17259
Срок окупаемости, год	2,1	1,2

Проведенная технико-экономическая оценка комбинированного почвообрабатывающего агрегата АПУ-1 при сравнении с агрегатами, которые по отдельности выполняют дискование и чизелевание позволяет сделать следующие выводы:

– ЧДД за период эксплуатации (5 лет) комбинированного пахотного агрегата на площади 100 га составляет 25798299 тыс. руб., что на 7176279 тыс. руб. больше в сравнении с базовым вариантом;

– себестоимость работ снизилась с 237425 тыс. руб. до 189853 тыс. руб.  
или в 1,25 раза;

Срок окупаемости капитальных вложений будет 1,2 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема комбинированного почвообрабатывающего агрегата со сменными рабочими органами: дисками и чизельными лапами, позволяющими выполнять гладкую вспашку каждым рабочим органом в отдельности или вместе за один его проход. Новизна технического решения подтверждена патентами РФ на полезную модель № 201758 и № 214422.

2. На основе рациональной формулы В. П. Горячкина были получены математические модели зависимости тягового сопротивления рабочих органов КПА от их параметров:

– дискового орудия, которое зависит от коэффициента равномерности глубины обработки почвы, угла его наклона, радиуса дисков, удельной конструкционной его массы и коэффициентов его формулы;

– чизельного орудия, зависящее от критической глубины чизелевания, конструктивной ширины его захвата, коэффициента, который определяет форму рабочей поверхности отвала, свойств почвы и размеров почвенного пласта, а также угла скалывания и ширины деформированной полоски почвенного пласта в поперечном сечении. В результате проведенных расчетов были получены следующие значения тягового сопротивления чизелей в почвообрабатывающем агрегате в зависимости от угла наклона дисков:

– 62,8...66,9 кН при угле наклона – 15 °;

– 64,3...68,0 кН при угле наклона – 30 °;

– 85,7...93,0 кН при угле наклона – 45 °;

3. Изготовлен экспериментальный образец КПА со сменными рабочими органами для гладкой вспашки с возможностью изменения конструктивно-режимных параметров дисков.

4. В результате реализации плана Бокса-Бенкина для двухфакторного эксперимента были получены оптимальные параметры комбинированного

почвообрабатывающего агрегата: скорость движения – 9,1 км/ч, угол наклона дисков – 32,1 °. Качество обработки по гребнистости составило 86,1 %.

5. В результате полевых испытаний разработанного комбинированного почвообрабатывающего агрегата установлено, что для снижения тягового сопротивления при изменении фона поля и угла наклона дисков с 15 до 45 ° необходимо, чтобы скорость его движения была не более 9 км/ч.

Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных тягового сопротивления, разработанного комбинированного почвообрабатывающего агрегата АПУ-1 при его работе на разном фоне поля (после лущения, целина и после уборки сои) и изменении скорости движения от 6 до 12 км/ч, в результате которого установлено среднее его значение: 63,8...67,6 кН при угле наклона дисков 15 °; 65,4...68,4 кН, при угле 30 °; 86,6...93,6 кН, при угле 45 °. При этом величина его вариации не превышает 3 %.

При угле наклона дисков 15 ° глубина обработки почвы составляет 20 см, высота гребня с 19 до 16 см, глыбистость для комков диаметром больше 5 см 50–45 %. При этом с увеличением угла наклона дисков с 15 до 30 ° глубина обработки почвы составляет 18 см, уменьшается высота гребня с 16 до 10 см, глыбистость с 45 до 40 %. При дальнейшем увеличении угла наклона дисков до 45 ° глубина обработки почвы составляет 16 см, высота гребня с 10 до 8 см, глыбистость уменьшится с 40 до 38 %.

Проведена оценка равномерности распределения гребнистости поверхности поля, которая имеет величину вариации 8,7–11,2 %. При этом корреляция между качеством обработки почвы и высотой гребня составляет 0,96–0,97 % и наибольшая корреляция наблюдается при угле наклона дисков 45 °.

6. Сходимость теоретической и экспериментальной зависимости силы сопротивления КПА от угла атаки диска при скорости движения агрегата 9–15 км/ч и глубине обработки 8–12 см не превышает 10 %.

Сходимость теоретической и экспериментальной зависимости тягового сопротивления дисков от скорости движения агрегата от 6 до 12 км/ч при

разных углах его наклона 15...45 ° определялась по общепринятой методике, относительная ошибка составила 5 %.

7. Проведенная технико-экономическая оценка предлагаемого комбинированно-го почвообрабатывающего агрегата при сравнении с агрегатами, которые по отдельности выполняют дискование и чизелевание позволяет повысить чистый дисконтированный доход за период его эксплуатации (5 лет) в на площади 100 га до 25 800 тыс. руб., что на 7 180 тыс. руб. больше в сравнении с базовым вариантом, снизить себестоимость работ с 237 тыс. руб. до 190 тыс. руб. или в 1,25 раза. Срок окупаемости капитальных вложений в агрегат составляет 1,2 года.

### **Рекомендации производству**

Сельскохозяйственным предприятиям предлагается разработанный комбинированный почвообрабатывающий агрегат для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры, который содержит сменные рабочие органы: диски и чизельные лапы.

При выполнении гладкой вспашки качество обработки почвы составляет 86,1 %, которая достигается при скорости его движения 9,1 км/ч с углом наклона дисков – 32,1 °.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Дальнейшее совершенствование предложенной конструктивно-технологической схемы комбинированного почвообрабатывающего агрегата для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры должно происходить путем совмещения чизелевания и дискования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М. : Metallurgia, 1969. – 159 с.
2. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. П. Грановский // Программное введение в планирование эксперимента. – М. : Наука, 1976. – 279 с.
3. Акчурин, Р. Л. Продуктивность зерновых культур при различных способах обработки почвы / Р. Л. Акчурин, И. О. Чанышев, Р. К. Нафиков, А. А. Низаева // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – №8. – С. 14–17.
4. Андреев, В. Л. Оценка эффективности работы базовой модели многофункционального почвообрабатывающего агрегата / В. Л. Андреев, С. Л. Дёмшин, В. В. Ильичёв [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2019. – № 5 (96). – С. 34–47.
5. Андреев, В. Л. Многофункциональный почвообрабатывающий агрегат со сменными рабочими органами / В. Л. Андреев, С. Л. Демшин, В. В. Ильичев [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 11 (90). – С. 87–102.
6. Асатурян, В. И. Теория планирования эксперимента : учеб. пособие / В. И. Асатурян. – М. : Радио и связь, 1983. – 248 с.
7. Аушев, М. Х. Параметры и режимы работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата для предпосевной обработки почвы : дисс. канд. техн. наук : 05.20.01 / Магомед Хусеинович Аушев. – г. Нальчик, 2018. – 141 с.
8. Бартенев, И. М. Выбор вида деформации и типа деформатора обработки сухих твердых почв // Лесотехнический журнал. – 2018. – №3. – С. 162–170.
9. Беляев, В. И. Современные тенденции развития конструкций почвообрабатывающей и посевной техники / В. И. Беляев, Н. Ф. Карпов // Вестник алтайского ГАУ. – 2004. – №2. – С. 132–134.

10. Борин, А. А. Перспективные технологии обработки почвы / А. А. Борин, А. Э. Лоцинина // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2015. – № 2 (42). – С. 130–134.
11. Борисенко, И. Б. Основная обработка почв модернизированными чизельными орудиями / И. Б. Борисенко, А. Е. Новиков, М. А. Садовников // Сельскохозяйственные машины и технологии, 2017. – № 5. – С. 27–32.
12. Борисенко, П. И. Совершенствование технологического процесса чизелевания за счет применения рабочего органа для минимальной обработки почвы с полосным углублением : дисс. канд. техн. наук. – Волгоград : ВГАУ, 2016. – 190 с.
13. Борисенко, И. Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы в острозасушливых условиях Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И. Б. Борисенко. – Чебоксары, 2006. – 43 с.
14. Бородычев, В. В. Энергетическая оценка тягово-эксплуатационных показателей чизельных и лемешных орудий на тяжелосуглинистых орошаемых почвах / В. В. Бородычев, В. А. Шевченко, А. Е. Новиков [и др.] // Плодородие. – 2017. – №6. – С. 31–34.
15. Босенко, Н. С. Экологичность использования машин и технологий в сельском хозяйстве // Вестник аграрной науки Дона. – 2009. – №1. – 62 с.
16. Брагинец, Н. В. Теоретическое обоснование повышения эффективности процесса обработки почвы с использованием более совершенных рабочих органов / Н. В. Брагинец, В. Н. Демченко, А. В. Шовкопляс // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету, 2011. – № 1–3. – С. 124–135.
17. Василенко, В. В. Равновесие дисковых борон в горизонтальной плоскости / В. В. Василенко, С. В. Василенко, С. В. Кузьменко, Р. Г. Кривенцев // Наука вчера, сегодня, завтра: сборник материалов научно-практической конференции, 2016. – С. 95–100.

18. Василенко, В. В. Число рядов дисковой бороны и качество обработки почвы / В. В. Василенко, Д. Н. Афоничев, С. В. Василенко, Р. Г. Кривенцев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2017. – № 1 (52). – С. 123–128.
19. Волков, А. Е. Повышение эффективности работы чизельного плуга для засоренных камнями почв путем обоснования его конструктивных параметров и режимов работы : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Спб : СЗНИИМЭСХ, 2007. – 20 с.
20. Вольский, В. А. Определение составляющих силы тягового сопротивления сферического дискового рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии, 2014. – № 3. – С. 35–38.
21. Вольф, Н. В. Изыскание схем и вспомогательных рабочих органов плугов для гладкой вспашки // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ, 2013. – № 1. – С. 45–46.
22. Ворокосов, И. В. Разработка схемы и обоснование параметров комбинированного универсального орудия для обработки почвы и посева к тракторам класса тяги 20–30 кН: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Челябинск : Челябинская государственная агроинженерная академия, 2014. – 24 с.
23. Гапоненко, А. И. Исследование упругих стоек дисковых борон // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – В 3 т. – 2012. – С. 158–161.
24. Гафиуллин, А. И. Обзор комбинированных почвообрабатывающе-посевных машин / А. И. Гафиуллин, Г. Г. Булгариев // Агроинженерная наука XXI в. : науч. тр. регион. науч.-практ. конф. – Казань, 2018. – С. 61–65.
25. Горбачев, И. В. Создание и производство блочно-модульных комбинированных почвообрабатывающих и посевных машин // Техника и оборудование для села, 2009. – № 1. – С. 47–48.
26. ГОСТ 20915–2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – Введ. 01.01.2013. – М. : Стандартинформ, 2013. – 27 с.

27. ГОСТ 33687–2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. – Введ. 01.07.2017. – М. : Стандартиформ, 2017. – 74 с.
28. ГОСТ 33736–2016. Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы. Методы испытаний. – Введ. 01.01.2018. – М. : Стандартиформ, 2018. – 61 с.
29. ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Введ. 01.04.2016. – М. : Стандартиформ, 2016. – 23 с.
30. ГОСТ Р 52777–2007 Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – Введ. 13.11.2007. – М. : Стандартиформ, 2008. – 11 с.
31. ГОСТ Р 58595–2019. Почвы. Отбор проб. – Введ. 10.10.2019. – М. : Стандартиформ, 2019. – 8 с.
32. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования экспериментов / Ю. П. Грачев. – М. : Пищевая промышленность, 1979. – 198 с.
33. Дёмшин, С. Л. Техника для ресурсосберегающей технологии основной обработки почвы // Достижения науки и техники АПК, 2010. – №07. – С. 67–68.
34. Дёмшин, С. Л. Разработка комбинированного почвообрабатывающего агрегата и оценка эффективности его использования / С. Л. Дёмшин, Д. А. Черемисинов, Л. М. Козлова [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2014. – № 4 (41). – С. 57–61.
35. Джабборов, Н. И. Оптимальное проектирование почвообрабатывающих машин с учетом их потребной мощности / Н.И. Джабборов, А. В. Добринов // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – №1(106). – С. 50–62.
36. Джамбулатов, З. М. Исследование и разработка перспективных приёмов обработки почвы и технологических схем комбинированных почвообрабатывающих машин / З. М. Джамбулатов, М. Б. Халилов // Проблемы развития АПК региона, 2017. – Т. 4. – № 4 (32). – С. 49–55.

37. Добровольский, М. С. Потребительские характеристики орудий для рыхления почвы и заделки стерни / М.С.Добровольский, А.Ю. Несмиян, Е. К. Кувшинова, В. И. Хижняк // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – №4 (44.1). – С. 5–10.
38. Докин, Б. Д. Обоснование параметров и режимов работы пропашных фрез / Б. Д. Докин // Материалы НТС ВИСХОМ. – № 20. – М. : 1965. – С. 38–40.
39. Доценко, А. Е. Совершенствование технологического процесса глубокой обработки почвы за счет разработки комбинированного рабочего органа : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Волгоград : ВГАУ, 2017. – 20с.
40. Дринча, В. М. Агротехнические аспекты развития почвозащитных технологий: монография / В. М. Дринча, И. Б. Борисенко, Ю. Н. Плескачѳв. – Волгоград : Перемена, 2004. – 145 с.
41. Дубенок, Н. Н. Инновационная конструкция мелиоративного плуга для повышения плодородия почв при обработке / Н. Н. Дубенок, С. Я. Семененко, В. Г. Абезин, А. С. Семененко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 3(27). – С. 112–126.
42. Дубровский, А. А. Рациональные основы научного эксперимента в земледельческой механике // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1968 – № 10. – С. 1–6.
43. Ермольев, Ю. И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении : учеб. пособие / Ю. И. Ермольев. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2003. – 243 с.
44. Зеленин, Н. А. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М. : Машиностроение. – 1968. – С. 163–176.
45. Золотарев, С. А. Обоснование технологического процесса и параметров плуга для гладкой вспашки : автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Сергей Алексеевич Золотарев. – М. : МГАУ им. В.П. Горячкина, 2005. – 24с.

46. Иванов, А. С. Разработка и обоснование комбинированной почвообрабатывающей машины / А. С. Иванов, Р. Ф. Бай // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2018. – № 5 (73). – С. 146–148.

47. Ивженко, С. А. Обоснование траектории движения частиц почвы, сходящей с крыла стрелчатой лапы / С. А. Ивженко, Б. И. Шихсаидов, Т. С. Байбулатов // Техника в сельском хозяйстве. – 2002. – № 4. – С. 32.

48. Казакевич, П. П. Проблемы и перспективы механизации процессов обработки почвы и посева в Беларуси / П. П. Казакевич, А. А. Точицкий // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Механизация земледелия, животноводства и кормопроизводства. – № 35. – БелНИИМСХ : Минск, 1996. – С. 18–33.

49. Клейн, В. Ф. Энергетическая модель почвообрабатывающего агрегата / В. Ф. Клейн, А. И. Михайлов, В. А. Щербаков // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2002. – № 73. – С. 26–32.

50. Клименко, В. И. Инновационные методы обработки почвы / В. И. Клименко, В. Р. Петровец // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, 2012. – № 1. – С. 125–128.

51. Кобяков, И. Д. Зависимость энергетических показателей почвообрабатывающих орудий от формы их рабочих органов / И. Д. Кобяков, А. В. Евченко // Агрэкономика : экономика и сельское хозяйство, 2017. – №3 (15).

52. Кобяков, И. Д. Энергетика и качество работы почвообрабатывающего дискового ножа // Достижения науки и техники АПК, 2008. – №7. – С. 48–50.

53. Ковриков, И. Т. Теоретическое обоснование рабочей поверхности почвообрабатывающего органа на основании минимизации энергоемкости технологического процесса / И. Т. Ковриков, Д. П. Юхин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2006. – №2(10). – С. 74–76.

54. Козырев, Б. М. Энергосберегающие технологии и машины для поверхностной обработки почвы : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / Борис Михайлович Козырев. – 2003. – 409 с.

55. Константинов, М. М. Вибрационное взаимодействие рабочего органа с почвой / М. М. Константинов, С. Н. Дроздов, И. В. Трофимов [и др.] // Научное обозрение. – 2017. – № 20. – С. 58–64.

56. Константинов, М. М. Дифференциация систем обработки почвы в Западном Казахстане путём использования перспективной системы машин / М. М. Константинов, Б. Н. Нуралин, С. В. Олейников и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5 (73). – С. 141–146.

57. Кузыченко, Ю. А. К вопросу о дифференцированном подходе при внедрении минимальной обработки почвы // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 12 (79). – С. 14–16.

58. Кузыченко, Ю. А. Внедрение минимальной обработки почвы на Ставрополье / Ю. А. Кузыченко, Н. А. Квасов, А. И. Хрипунов // Земледелие, 2010. – №1. – С. 21–23.

59. Кузыченко, Ю. А. Эффективность обработки почвы в севооборотах на различных типах почв Центрального Предкавказья / Ю. А. Кузыченко, В. В. Кулинцев, А. К. Кобозев // Земледелие. – 2017. – №4. – С. 19–22.

60. Кузьмин, Д. Е. Обоснование схемы короткогабаритного многокорпусного плуга / Д. Е. Кузьмин, А. Ю. Головин, П. В. Чупин // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2017. – №1 (8).

61. Кулинцев, В. В. Энергосберегающие, почвозащитные системы земледелия Ставропольского края : рекомендации / В. В. Кулинцев, В. И. Трухачев, В. М. Пенчкун [и др.]. – Ставрополь : СГАУ, СНИИСХ, 2007. – 80 с.

62. Ленточкин, А. М. Нулевая, минимальная или отвальная обработка почвы / А. М. Ленточкин, П. Е. Ширококов, Л. А. Ленточкина // Земледелие, 2016. – № 3. – С. 9–13.

63. Лепешкин, Н. Д. Тенденция развития процессов и рабочих органов для безотвальной обработки почвы / Н. Д. Лепешкин, Н. С. Высоцкая // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – В 2 т. – Минск, 2010. – С. 54–58.

64. Лепешкин, Н. Д. Анализ конструктивных схем почвообрабатывающе-посевных агрегатов / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, В. В. Добрян // Механизация и электрификация сельского хозяйства. В 2 т. – Минск, 2010. – С. 58–65.

65. Лискин, И. В. Совершенствование конструкции плужных лемехов с накладным долотом / И. В. Лискин, Н. В. Алдошин, И. В. Горбачев, А. И. Панов // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 1 (83). – С. 15–19.

66. Листопад, И. А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства / И. А. Листопад. – М. : Агропромиздат, 1989. – 88 с.

67. Лобачевский, Я. П. Обоснование геометрических параметров сферического диска с повернутой и наклонённой осью вращения в комбинированных агрегатах для обработки орошаемых почв Республики Судан / Я. П. Лобачевский, А. Х. Эльшейх // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. – № 3. – С. 20–25.

68. Лобачевский, Я. П. Обоснование расстановки дисковых рабочих органов в комбинированных почвообрабатывающих агрегатах / Я. П. Лобачевский, А. Х. Эльшейх // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. – № 4. – С. 22–25.

69. Лобачевский, Я. П. Перспективные направления совершенствования конструкций лемешно-отвальных плугов / Я. П. Лобачевский, А. И. Панов, И. М. Панов // Тракторы и сельхозмашины. – 2000. – № 5. – С. 8–12.

70. 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.

71. Лобачевский, Я. П. Методика построения профиля поперечного сечения диска / Я. П. Лобачевский, В. Ф. Комогорцев, Старовойтов С. И. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – № 3. – С. 12–16.

72. Лысыч, М. Н. Анализ конструкций дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий и возможностей их применения в условиях лесных вырубок // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6.

73. Макаров, П. И. Научные основе технологии и ротационных машин для гладкой обработки почвы : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / Петр Ильич Макаров. – М. : НИИ сельскохозяйственного машиностроения имени В. П. Горячкина, 2000. – 48 с.

74. Маслов, Г. Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка : учеб. пособие / Г. Г. Маслов, А. П. Карабаницкий, Н. А. Ринас. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 160 с.

75. Маслов, Г. Г. Нормативно-справочные и методические рекомендации по оценке сельскохозяйственной технике в растениеводстве : учеб. пособие / Г. Г. Маслов. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – 120 с.

76. Маслов, Г. Г. Анализ использования пахотных агрегатов для отвальной вспашки / Г. Г. Маслов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2020. – № 5 (85). – С. 108–114.

77. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Роцин. – Л. : Колос, 1980. – 168 с.

78. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч. 1. Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ. – М. : 1998. – 180 с.

79. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч. 2. Нормативно-справочный материал. Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ. – М. : 1998. – 218 с.
80. Мяло, В. В. Энергосберегающие технологии при обработке почвы / В. В. Мяло, В. В. Мазуров // Вестник ОмГАУ, 2016. – № 3 (23). – С. 242–246.
81. Мяло, В. В. Совершенствование орудий для влагосберегающей обработки почвы / В. В. Мяло, А. С. Союнов, Е. В. Демчук, Д. А. Голованов // Достижения науки и техники АПК, 2015. – № 1. – С. 52–54.
82. Несмиян, А. Ю. Оценка влияния неконструктивных факторов на удельное сопротивление легкоглинистых черноземов при чизелевании / А. Ю. Несмиян, В. В. Щиров, С. М. Олдырев // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 2 (46). – С. 11–17.
83. Новик, Ф. С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении / Ф. С. Новик. – М. : 1970. – 79 с.
84. Новик, Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. – М. : Машиностроение, София : Техника, 1980. – 304 с.
85. Нуралин, Б. Н. Энергетическая и агротехническая оценка работы плугов с ромбовидными и серийными рабочими органами / Б. Н. Нуралин, С. В. Олейников, А. Ж. Мурзагалиев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2016. – № 3 (59). – С. 81–83.
86. Нуралин, Б. Н. Обоснование эффективности гладкой вспашки поворотным плугом / Б. Н. Нуралин, М. Галиев, М. М. Константинов [и др.] // Известия Оренбургского ГАУ, 2019. – №3(77). – С. 147–150.
87. Нуралин, Б. Н. Обоснование формы и параметров ромбовидного рабочего органа поворотного плуга для гладкой вспашки / Б. Н. Нуралин, С. В. Олейников, А. Ж. Мурзагалиев // Новости науки Казахстана, 2016. – № 2. – С. 186–195.

88. Нуралин, Б. Н. Техническое обеспечение гладкой вспашки отвальными рабочими органами / Б. Н. Нуралин, С. В. Олейников, А. Ж. Мурзагалиев [и др.] // Известия Оренбургского ГАУ, 2015. – №6(56). – С. 72–75.

89. Оськин, С. В. Имитационное моделирование при формировании эффективных комплексов почвообрабатывающих агрегатов – еще один шаг к точному земледелию : монография / С. В. Оськин, Б. Ф. Тарасенко. – Краснодар : КРОН, 2015. – 292 с.

90. Пат. 71322 України, МПК G01L 5/13/. Пристрій для динамометрування сільськогосподарських знарядь при обробітку ґрунту / В. П. Ковбаса, В. П. Курка. – u 201115421; заявл. 26.12.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.

91. Пащенко, В. Ф. Теория воздействия рабочих органов орудий на почву : монография / В. Ф. Пащенко, С. И. Корниенко, Н. П. Гусаренко. – Харьков : ХНАУ, 2013. – 89 с.

92. Побежимов, Г. Б. Разработка лемешно-отвального прицепного плуга общего назначения для агрегатирования с тракторами тягового класса 8 : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Саратов : СГАУ, 2016. – 22 с.

93. Полтавцев, И. С. Фрезерные каналокопатели / И. С. Полтавцев. – Киев : Машгиз, 1954. – 130 с.

94. Пузырев, М. С. Исследование качественно-энергетических параметров двухдискового ротационного почвообрабатывающего рабочего органа / М. С. Пузырев, Б. Г. Котляр, В. А. Стрижов // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – №2. – С. 36–38.

95. Путрин, А. С. Теоретические основы движения элементарных участков исполнительных поверхностей ротационных почвообрабатывающих рабочих органов / А. С. Путрин, З. И. Избасарова, В. А. Слободяник [и др.] // Известия Оренбургского ГАУ. – 2012. – №1(33). – С. 77–81.

96. Путрин, А. С. 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. – С.93–98.

97. Пындак, В. И. Энергоэффективность глубокого чизелевания почвы / В. И. Пындак, А. Е. Новиков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : Наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – № 4 (32). – С. 203–209.
98. Пындак, В. И. Тяговое сопротивление чизельно-отвального орудия / В. И. Пындак, А. Е. Новиков // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 8. – С. 34–36.
99. Рахимов, Р. С. Обоснование параметров чизельного рабочего органа для обработки каменистых почв / Р. С. Рахимов, А. А. Драничников // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №5. – С. 73–76.
100. Ревякин, Е. Л. Чизелевание почвы : состояние, перспективы и проблемы / Е. Л. Ревякин, Т. П. Нино // Техника и оборудование для села. – 2005. – № 11. – С. 18–21.
101. Романюк, Н. Н. Оригинальный глубокорыхлитель для улучшения свойств плодородного слоя почвы / Н. Н. Романюк, С. О. Нукешев, С. К. Тойгамбаев, Н. К. Теловов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №2. – С. 76–78.
102. Ружьев, В. А. Режимы работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата с оптимизированными конструкционными параметрами рабочих органов / В. А. Ружьев, В. Б. Ловкис, Е. А. Криштанов, Ю. И. Смирнова, И. С. Дзибук // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – № 3(31). – С. 4–10.
103. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 325 с.
104. Тарасенко, Б. Ф. Конструктивно-технологические решения безотвального разрыхления почвенных структур верхнего горизонта // Научный журнал КубГАУ. – 2010. – №58(04).
105. Тарасенко, Б. Ф. Агрегат почвообрабатывающий универсальный АПУ-1 / Б. Ф. Тарасенко, В. В. Романов, С. Ю. Орленко, В. А. Дробот, В. В. Кузьмин // Научный журнал КубГАУ. – 2020. – №157(03). – С. 182–205.

106. Тарасенко, Б. Ф. Эколого-мелиоративные методы подготовки почвы: монография / Б. Ф. Тарасенко, В. А. Дробот. – Краснодар : КубГАУ, 2021. – 91 с.

107. Тарасенко, Б. Ф. Эколого-мелиоративное средство для гладкой вспашки // Б. Ф. Тарасенко, С. В. Оськин, В. В. Кузьмин // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2019 – С. 78–84.

108. Тарасенко, Б. Ф. Оценка качества разрыхления почвенных структур техническими средствами, разработанными в КубГАУ // Б. Ф. Тарасенко, С. Ю. Орленко, В. В. Кузьмин // Растениеводство и луговодство : сб. ст. Всеросс. науч. конф. с междунар. участ. – 2020 – С. 46–51.

109. Тарасенко, Б. Ф. Полевые испытания агрегата почвообрабатывающего универсального АПУ-1 // Б. Ф. Тарасенко, В. В. Кузьмин // Год науки и технологий 2021 : сб. тез. по материалам Всеросс. науч.-практ. конф. – 2021 – С. 163.

110. Точицкий, А. А. Новые тенденции и принципы создания техники для обработки почвы / А. А. Точицкий, Н. Д. Лепешкин, А. В. Китун, В. В. Добриян // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. – В 2 т. – Минск, 2009. – С. 62–69.

111. Фрейденталь, А. М. Статистический подход к хрупкому разрушению / А. М. Фрейденталь. – М. : Мир, 1975. – С. 71.

112. Хвостов, Е. Н. Влияние обработки почвы на показатели плодородия почвы и продуктивность звена полевого севооборота / Е. Н. Хвостов, А. А. Артемьев, Л. Н. Прокина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2015. – № 4 (47). – С. 41–46.

113. Хмура, А. Н. Совершенствование конструкции рабочего органа плоскореза-глубококорытителя : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Оренбург : ОГАУ, 2012. – 24 с.

114. Черников, В. А. Агроэкология / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев [и др.] / под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. – М. : Колос, 2000. – 536 с.

115. Чернышкин В. В. Совершенствование технологического процесса и почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы : автореф дисс. ... канд. техн. наук / Владимир Вячеславович Чернышкин. – Саратов: СГАУ имени Н. И. Вавилова. – 2013. – 22с.
116. Шмонин, В. А. Анализ работы комбинированных плужных корпусов / В. А. Шмонин, Н. В. Вольф // *Агроинженерия*. – 2015. – №2. – С. 23–26.
117. Шмонин, В. А. Агрэкологическая эффективность плугов с активными рабочими органами / В. А. Шмонин, А. И. Панов // *Вестник ФГОУ ВПО МГАУ*. – 2012. – №2. – С. 32–34.
118. Эркенов, А. Н. Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров комбинированного пахотного агрегата / А. Н. Эркенов, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов, Д. А. Гергокаев, Х. Х. Сабанчиев // *Научный журнал КубГАУ*. – 2012. – №77(03). – С. 325–334.
119. Юдкин, В. В. Рациональная схема расстановки рабочих органов плоскорезов-глубокорыхлителей / В. В. Юдкин, А. И. Катрич // *Техника в сельском хозяйстве*, 1987. – № 3. – С. 28–29.
120. Юнусов, Г. С. Исследование работы комбинированного агрегата для поверхностной обработки почвы перед посевом / Г. С. Юнусов, Ю. А. Кропотов, А. В. Майоров // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. – 2012. – Т. 7. – № 4 (26). – С. 91–93.
121. Blackstein, R. Der Rautenpflugs / R. Blackstein // *Agrartechnick international*. – 1978. – № 1. – S. 8–9.
122. Grégoire Besson Russie. Plough innovations. URL: <https://ru.gregoire-besson.com/ru/innovation/plough-innovations>.
123. Harrison, H.P. Soil reaction forces from laboratory measurements with discs / H.P. Harrison, T. Thivavarnvongs // *Canadian Journal of Agricultural Engineering*. – 1956. – №18(1). – P. 49–53.
124. Johnston, R.C.R. Wheatland Disk Plough Investigations. II Disk Forces / R.C.R. Johnston, R. Birtwitlet // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 1963. – vol. 8, № 4. – P. 312–326.

125. Kalinin, A. B. Methods and means of monitoring and controlling of the operation mode of adapter for soil surface consolidation / A. B. Kalinin, V. A. Ruzhyev, Yu. I. Smirnova, I. Z. Teplinsky // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2018. – № 10 (5S). – P. 1258–1268.

126. Kapov, S. N. Model of soil environment as object of mechanical tillage / S. N. Kapov, M. A. Aduov, S. A. Nukusheva // Life Sci. J. – 2014. – 11(12s). – P. 156–161.

127. Krommer, K.-H. Moderne pflugbauformen / K.-H. Krommer, M. Estler // Landtechnik. – 1981. – № 3. – S. 112–116, 118.

128. Kverneland. Plough Bodies. Excellent Ploughing Quality. URL: <https://download.kvernelandgroup.com/Media/Files/Brochure-Bodies-MRP.pdf>.

129. LEMKEN GmbH & Co. KG. URL: <https://lemken.com/en/soil-cultivation/ploughing>.

130. McCreery, W. F. The geometry of discs and soil relationships / W. F. McCreery, M. L. Nichols // Agricultural Engineering. – 1956. – №37(12). – p. 808–812, 820.

131. Nesmiyan, A. Yu. A review of assessment of the machinery tillage tools' performance for higher crop production efficiencies / A. Yu. Nesmiyan, V. A. Chernovolov, A. M. Semenihih, V. P. Zabrodin, S. L. Nikitchenko // Research on crops journal. – 2018. – Vol. 19. – № 3. – P. 567–575.

132. Novotny, M. Hat der Rautenpflug Zukunft // Agrartechnik international. – 1977. – № 8. – S. 8–9.

133. O' Dogherty, M. J. A geometrical analysis of inclined and tilted spherical plough discs / M. J. O' Dogherty, R. J. Godwin, M. J. Hann, A. A. Al-Ghazal // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1996. – № 63. – p. 205–218.

134. Reaves, C. A. The influence of width and depth of cut on disc forces / C. A. Reaves, W. R. Gill, A. C. Bailey // Transactions American Society of Agricultural Engineering. – 1981. – №24 (3). – p. 572–578.

135. Ruhm, E. Der Rauten-pflug pro und kontra / E. Ruhm, G. Wasseler, H. Wassler, G. Schätz // Agrar übersicht. – 1978. – № 11. – P. 708–711.

136. Sohne, W. Einfluss von Form und Anordnung der werkzeuge auf die Ubertragungswerk von Ackefrase / W. Sohne // Yusnlagen der Landtechnik. – 1957. – P. 696–707.

137. Talarczyk, W. Uniwersalna konstrukcja kultywatora podorywkowego i obsypnika do ziemniaków / W. Talarczyk, Z. Zbytek // Zeszyty problemowe postkpyw nauk rolniczych. – 2009. – № 543. – P. 355–364.

138. Tarasenko, B. F. Universal tillage unit // B. F. Tarasenko, S. Y. Orlenko, V. V. Kuzmin // IOP conference series: Earth and environmental science. International Science and Technology Conference «Earth Science». – Chapter 2. – 2021. – P. 32.

139. Taylor, P. A. Field measurement of forces and moments on wheatland plow disk // Tranzaction of ASAE. – 1967. – Vol. 10. – № 6. – P. 762 –768.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

УТВЕРЖДАЮ

Директор «Рисоводческого  
племенного завода  
«Красноармейский»  
имени А.И.Майстренко»  
Филиал ФГБНУ «ФНЦ риса»  
Кизинёк С.В.  
«12» 05 2022 г.

АКТ

Комиссия в составе председателя главного инженера РПЗ «Красноармейский» Гаврилова В.Н., а также членов комиссии представителей ФГБОУ ВО «Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина» профессора кафедры ремонта машин и материаловедения Тарасенко Б.Ф. и аспиранта Кузьмина В.В., составили настоящий акт о внедрении в производство агрегата почвообрабатывающего универсального с трансформируемой рамой. Агрегат включает передний брус с чизельными рабочими органами и поворотную балку со смонтированными на подшипниковых узлах сферическими дисками типа «ромашка». Агрегат обеспечивает повышение эксплуатационной надежности, снижение затрат времени на необходимые согласно агротребованиям регулировки, повышение качества обработки почвы, и надежности фиксации подвижной секции, расширение функциональных возможностей.

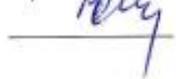
За счет снижения эксплуатационных затрат приведенный экономический эффект от применения агрегата почвообрабатывающего универсального составил 4700 руб/га.

Председатель комиссии:

Главный инженер РПЗ «Красноармейский»  В.Н. Гаврилов

Члены комиссии:

Профессор КубГАУ  Б.Ф. Тарасенко

Аспирант КубГАУ  В.В. Кузьмин

Первый проректор  
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ  
профессор  
Резниченко С. М.  
05 2023 г.



**АКТ**

об использовании в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» на факультете механизации результатов научно-исследовательской работы соискателя ученой степени Кузьмина Виталия Викторовича

Комиссия в составе: председателя – декана факультета механизации, доцента А. А. Титученко, членов комиссии – заведующего кафедрой «Тракторы, автомобили и техническая механика» профессора В. С. Курасова и профессора кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика» Б. Ф. Тарасенко рассмотрела результаты научно-исследовательской работы соискателя кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика» Кузьмина Виталия Викторовича по обоснованию параметров и режимов работы комбинированного агрегата для гладкой вспашки под зерновые колосовые культуры и их использование в учебном процессе на факультете механизации.

Комиссия установила, что результаты научно-исследовательской работы Кузьмина Виталия Викторовича используются в учебном процессе на факультете механизации при написании выпускных квалификационных работ обучающимися по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия», направленность «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».

Председатель комиссии  А. А. Титученко  
Члены комиссии:  В. С. Курасов  
 Б. Ф. Тарасенко

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 193872

**Плуг с поворотной балкой**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Тарасенко Борис Фёдорович (RU), Романов Владимир Васильевич (RU), Орленко Сергей Юрьевич (RU), Куликов Иван Алексеевич (RU), Кузьмин Виталий Викторович (RU)*

Заявка № 2019109692

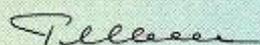
Приоритет полезной модели - 02 апреля 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 19 ноября 2019 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 02 апреля 2029 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

 Г.П. Ивалев



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 201758

### Агрегат почвообрабатывающий

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Тарасенко Борис Фёдорович (RU), Романов Владимир Васильевич (RU), Орленко Сергей Юрьевич (RU), Куликов Иван Алексеевич (RU), Кузьмин Виталий Викторович (RU)*

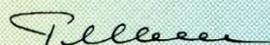
Заявка № 2020103244

Приоритет полезной модели 24 января 2020 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 11 января 2021 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 24 января 2030 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

**№ 207705**

**Борона с поворотной дисковой секцией**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Тарасенко Борис Фёдорович (RU), Романов Владимир Васильевич (RU), Орленко Сергей Юрьевич (RU), Кузьмин Виталий Викторович (RU), Припоров Игорь Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2021106294

Приоритет полезной модели **10 марта 2021 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **12 ноября 2021 г.**

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает **10 марта 2031 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

**№ 206517**

**Поворотная балка агрегата почвообрабатывающего**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Тарасенко Борис Фёдорович (RU), Орленко Сергей Юрьевич (RU), Оськин Сергей Владимирович (RU), Кузьмин Виталий Викторович (RU), Гаврилов Владимир Николаевич (RU)*

Заявка № 2021117671

Приоритет полезной модели 16 июня 2021 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 14 сентября 2021 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 16 июня 2031 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ильин*



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

**№ 214422**

**Почвообрабатывающий агрегат**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Тарасенко Борис Федорович (RU), Орленко Сергей Юрьевич (RU), Гаврилов Владимир Николаевич (RU), Кузьмин Виталий Викторович (RU), Добровольский Антон Александрович (RU)*

Заявка № **2022110189**

Приоритет полезной модели **14 апреля 2022 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **26 октября 2022 г.**

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает **14 апреля 2032 г.**



*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Ю. С. Зубов*



## СЕРТИФИКАТ      CERTIFICATE

26-я Международная выставка  
сельскохозяйственной техники, оборудования и  
материалов для производства и переработки  
растениеводческой сельхозпродукции «ЮГАГРО»  
19-22 ноября 2019 • Россия, Краснодар

26<sup>th</sup> International exhibition of agricultural  
machinery, equipment and materials for crop  
production YugAgro

19-22 November 2019 • Krasnodar, Russia



# ЮГАГРО

Группа компаний ITE настоящим  
удостоверяет, что компания

The ITE Group  
hereby certifies that

**За разработку инновационной технологии  
универсальным почвообрабатывающим агрегатом.  
Кузьмин Виталий Викторович  
аспирант КубГАУ**

являлась участником  
26-й Международной выставки «ЮГАГРО»  
и была удостоена высокой оценки  
организаторов за актуальность и  
профессионализм представленной  
экспозиции

participated in the  
26<sup>th</sup> International exhibition YugAgro  
and was highly esteemed  
by the Organiser for professional  
presentation of services  
and products

Организатор • Organised by



"МНК 2-х факторный (действительные значения факторов)"

ORIGIN := 1

Число проведенных опытов в примере = 9

Действительные значения переменных

Отклик

$$X1 := \begin{pmatrix} 12 \\ 6 \\ 12 \\ 6 \\ 12 \\ 6 \\ 9 \\ 9 \\ 9 \end{pmatrix}$$

$$X2 := \begin{pmatrix} 45 \\ 45 \\ 15 \\ 15 \\ 30 \\ 30 \\ 45 \\ 15 \\ 30 \end{pmatrix}$$

$$y := \begin{pmatrix} 62.60 \\ 64.89 \\ 62.16 \\ 53.88 \\ 72.77 \\ 69.77 \\ 78.30 \\ 72.57 \\ 85.82 \end{pmatrix}$$

n := length(y)

n = 9

$$zy := \sum y$$

$$zy = 622.76$$

$$v_6 := zy$$

$$zX1y := X1 \cdot y$$

$$zX1y = 5.632 \times 10^3$$

$$v_5 := zX1y$$

$$zX2y := X2 \cdot y$$

$$zX2y = 1.894 \times 10^4$$

$$v_4 := zX2y$$

$$zX1X2y := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \begin{cases} s \leftarrow s + X1_j \cdot X2_j \cdot y_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{cases} \\ s \end{cases}$$

$$zX1X2y = 1.708 \times 10^5$$

$$v_3 := zX1X2y$$

$$zX2X2y := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \begin{cases} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot y_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{cases} \\ s \end{cases}$$

$$zX2X2y = 6.647 \times 10^5$$

$$v_1 := zX2X2y$$

$$zX1X1y := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \begin{cases} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \cdot y_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{cases} \\ s \end{cases}$$

$$zX1X1y = 5.44 \times 10^4$$

$$v_2 := zX1X1y$$

$$zX1 := \sum X1$$

$$zX2 := \sum X2$$

$$zX1 = 81$$

$$zX2 = 270$$

$$zX1X2 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \begin{cases} s \leftarrow s + X1_j \cdot X2_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{cases} \\ s \end{cases}$$

$$zX1X2 = 2.43 \times 10^3$$

$$M_{6,3} := zX1X2$$

$$zX1X1 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \begin{cases} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{cases} \\ s \end{cases}$$

$$zX1X1 = 783$$

$$M_{6,2} := zX1X1$$

$$zX2X2y := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot y_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{cases}$$

$$zX2X2y = 6.647 \times 10^5$$

$$v_1 := zX2X2y$$

$$zX1 := \sum X1$$

$$zX2 := \sum X2$$

$$zX1X1y := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \cdot y_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{cases}$$

$$zX1X1y = 5.44 \times 10^4$$

$$v_2 := zX1X1y$$

$$zX1 = 81$$

$$zX2 = 270$$

$$zX1X2 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X2_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{cases}$$

$$zX1X2 = 2.43 \times 10^3$$

$$M_{6,3} := zX1X2$$

$$zX1X1 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{cases}$$

$$zX1X1 = 783$$

$$M_{6,2} := zX1X1$$

$$zX2X2X2X2 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot X2_j \cdot X2_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{cases}$$

$$zX2X2X2X2 = 1.488 \times 10^7 \quad M_{1,1} := zX2X2X2X2$$

$$zX1X1X1X1 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \cdot X1_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{cases}$$

$$zX1X1X1X1 = 85779$$

$$M_{2,2} := zX1X1X1X1$$

$$zX1X1X1X2 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X2_j \cdot X1_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{cases}$$

$$zX1X1X1X2 = 240570$$

$$M_{5,2} := zX1X1X1X2$$

$$zX1X2X2X2 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot X2_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{cases}$$

$$zX1X2X2X2 = 3280500$$

$$M_{3,1} := zX1X2X2X2$$

$$M_{6,6} := n$$

$$M_{6,5} := zX1$$

$$M_{6,4} := zX2$$

$$M_{5,5} := M_{6,2}$$

$$M_{5,6} := M_{6,5}$$

$$M_{4,6} := M_{6,4}$$

$$M_{4,5} := M_{6,3}$$

$$M_{3,6} := M_{6,3}$$

$$M_{5,4} := M_{6,3}$$

$$M_{2,6} := M_{6,2}$$

$$M_{4,4} := M_{6,1}$$

$$M_{1,6} := M_{6,1}$$

$$M_{4,2} := M_{5,3}$$

$$M_{2,4} := M_{5,3}$$

$$M_{3,5} := M_{5,3}$$

$$M_{2,5} := M_{5,2}$$

$$M_{1,4} := M_{4,1}$$

$$M_{4,3} := M_{5,1}$$

$$M_{3,4} := M_{5,1}$$

$$M_{1,5} := M_{5,1}$$

$$M_{2,3} := M_{3,2}$$

$$M_{3,3} := M_{2,1}$$

$$M_{1,2} := M_{2,1}$$

$$M_{1,3} := M_{3,1}$$

$$v = \begin{pmatrix} 664686 \\ 54403.65 \\ 170797.95 \\ 18940.5 \\ 5631.81 \\ 622.76 \end{pmatrix}$$

$$M = \begin{pmatrix} 14883750 & 822150 & 3280500 & 364500 & 85050 & 9450 \\ 822150 & 85779 & 240570 & 23490 & 8019 & 783 \\ 3280500 & 240570 & 822150 & 85050 & 23490 & 2430 \\ 364500 & 23490 & 85050 & 9450 & 2430 & 270 \\ 85050 & 8019 & 23490 & 2430 & 783 & 81 \\ 9450 & 783 & 2430 & 270 & 81 & 9 \end{pmatrix}$$

$$dy := y - yp$$

$$X1 = \begin{pmatrix} 12 \\ 6 \\ 12 \\ 6 \\ 12 \\ 6 \\ 9 \\ 9 \\ 9 \end{pmatrix} \quad X2 = \begin{pmatrix} 45 \\ 45 \\ 15 \\ 15 \\ 30 \\ 30 \\ 45 \\ 15 \\ 30 \end{pmatrix} \quad y = \begin{pmatrix} 62.6 \\ 64.89 \\ 62.16 \\ 53.88 \\ 72.77 \\ 69.77 \\ 78.3 \\ 72.57 \\ 85.82 \end{pmatrix} \quad yp = \begin{pmatrix} 62.602 \\ 64.89 \\ 62.16 \\ 53.879 \\ 72.768 \\ 69.771 \\ 78.298 \\ 72.571 \\ 85.821 \end{pmatrix} \quad dy = \begin{pmatrix} -1.944 \times 10^{-3} \\ -2.778 \times 10^{-4} \\ -2.778 \times 10^{-4} \\ 1.389 \times 10^{-3} \\ 2.222 \times 10^{-3} \\ -1.111 \times 10^{-3} \\ 2.222 \times 10^{-3} \\ -1.111 \times 10^{-3} \\ -1.111 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

### Листинг программы

#### "Графики Вк 2-х факторного действительные"

```

D0 := - 112.927      D1 := 31.364      D2 := 3.499667
                    D12 := - 0.059

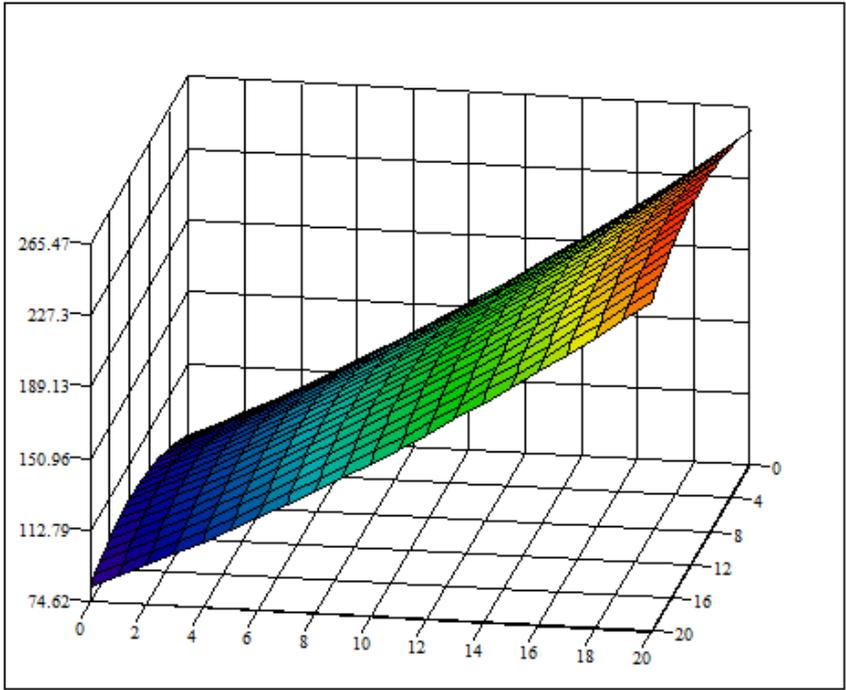
                    D11 := - 1.617      D22 := 0.046178
X10 := 9      d1 := 3      X20 := 30      d2 := 15      zp := 1

k := 20      xx1 := 0..k      xx2 := 0..k      x2(xx2) := X20 - d2·zp + xx2·2·d2· $\frac{zp}{k}$ 
                    +
                    x1(xx1) := X10 - d1·zp + xx1·2·d1· $\frac{zp}{k}$ 

f1(x1, x2) := D0 + D1·x1(xx1) + D2·x2(xx2) + D12·x1(xx1)·x2(xx2)
f(x1, x2) := f1(x1, x2) + D11·x1(xx1)·x1(xx1) + D22·x2(xx2)·x2(xx2)
X1X2xx1,xx2 := f(x1, x2)

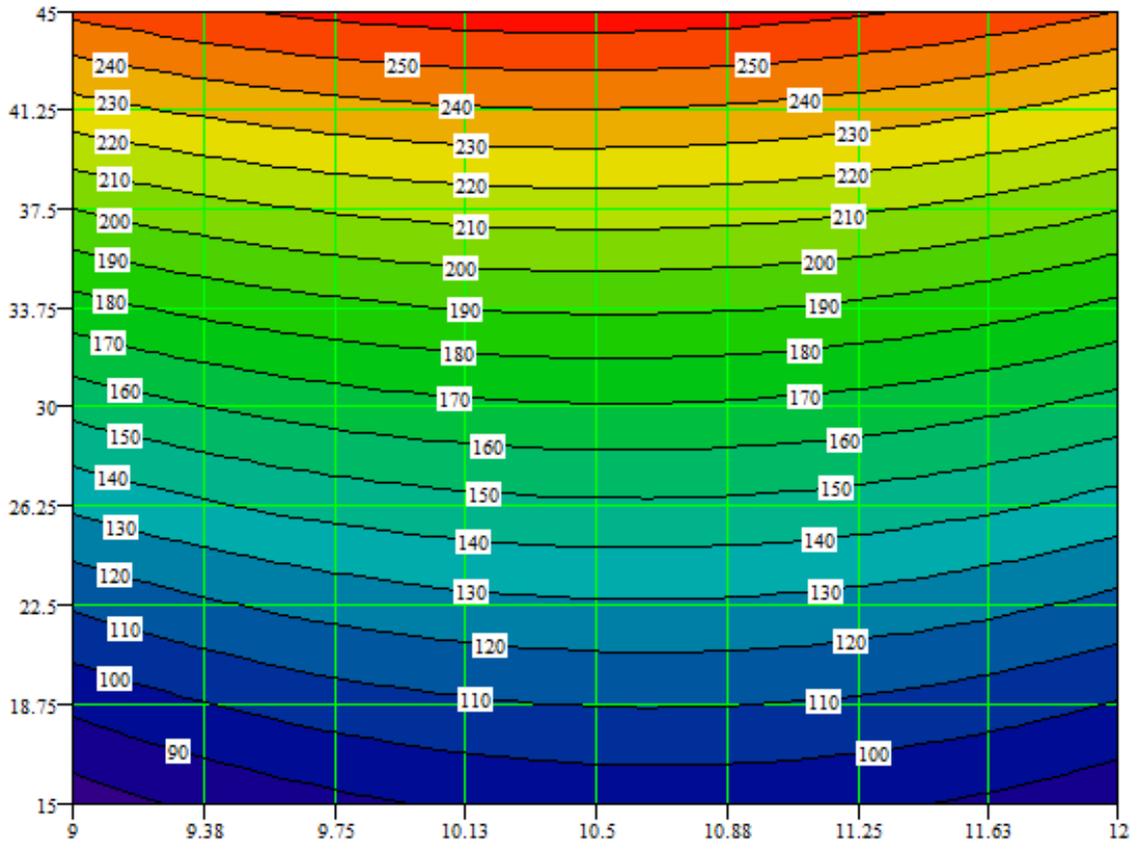
x1opt := 0.0377      X1opt := x1opt·d1 + X10      X1opt = 9.1131
x2opt := 0.13811      X2opt := x2opt·d2 + X20      X2opt = 32.0716

```



X1X2

x1(xx1)	xx1	x2(xx2)
6	0	15
6.3	1	16.5
6.6	2	18
6.9	3	19.5
7.2	4	21
7.5	5	22.5
7.8	6	24
8.1	7	25.5
8.4	8	27
8.7	9	28.5
9	10	30
9.3	11	31.5
9.6	12	33
9.9	13	34.5
10.2	14	36
10.5	15	37.5
10.8	16	39
11.1	17	40.5
11.4	18	42
11.7	19	43.5
12	20	45



X1X2

## "Каноническое преобразование Вк-2"

$$b_0 := 85.872 \quad b_1 := 1.464 \quad b_2 := 2.97$$

$$b_{12} := -2.655$$

$$b_{11} := -14.553 \quad b_{22} := -10.39$$

$$2 \cdot b_{11} \cdot x_1 + b_{12} \cdot x_2 = -b_1$$

$$b_{12} \cdot x_1 + 2 \cdot b_{22} \cdot x_2 = -b_2$$

$$M := \begin{bmatrix} 2 \cdot b_{11} & b_{12} \\ b_{12} & 2 \cdot b_{22} \end{bmatrix} \quad v := \begin{bmatrix} -b_1 \\ -b_2 \end{bmatrix} \quad x := M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} 0.0377 \\ 0.13811 \end{bmatrix}$$

$$x_1 := x_0 \quad x_2 := x_1$$

$$X_1 := 3 \cdot x_1 + 9 \quad X_1 = 9.1131 \quad X_2 := 15 \cdot x_2 + 30 \quad X_2 = 32.07163$$

$$f_1(x_1, x_2) := b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2$$

$$f(x_1, x_2) := f_1(x_1, x_2) + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 \quad Y_s := f(x_1, x_2)$$

$$b := \begin{cases} \frac{b_{12}}{b_{11} - b_{22}} & \text{if } b_{12} \neq 0 \\ \frac{b_{11} - b_{22}}{b_{12}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha := \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b_{12} \neq 0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b_{11} = b_{22} \\ \frac{\text{atan}\left(\frac{1}{b}\right)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$$

$$E := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A := \begin{bmatrix} b_{11} & \frac{b_{12}}{2} \\ \frac{b_{12}}{2} & b_{22} \end{bmatrix} \quad \alpha := \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 - B \cdot (b_{11} + b_{22}) + \left[ b_{11} \cdot b_{22} - \left( \frac{b_{12}}{2} \right)^2 \right] = 0$$

$$C := \text{eigenvals}(A) \quad C = \begin{bmatrix} -14.94028 \\ -10.00272 \end{bmatrix} \quad B_{11} := C_0 \quad B_{22} := C_1$$

$$Y_s = 86.10469 \quad B_{11} = -14.94028 \quad B_{22} = -10.00272 \quad \alpha = 16.26408$$

$$x_1 = 0.0377 \quad x_2 = 0.13811$$

$$J_1 := b_{11} + b_{22} \quad J_2 := B_{11} + B_{22} \quad J_1 = -24.943 \quad J_2 = -24.943$$

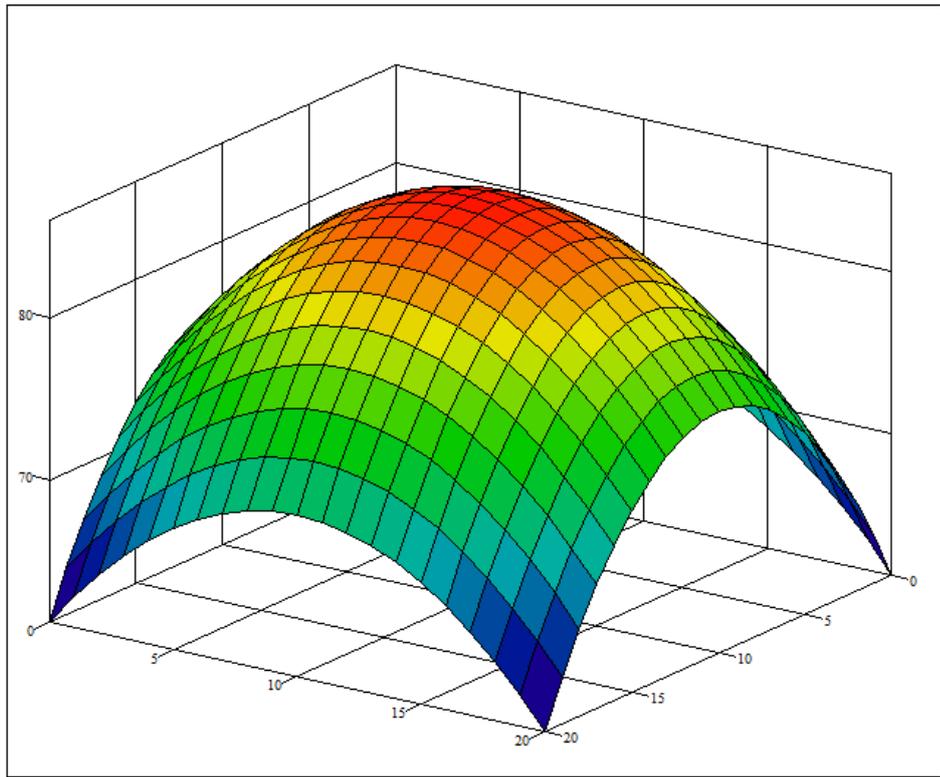
Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - Y_s = B_1 \cdot X_1^2 + B_2 \cdot X_2^2 \quad \text{или}$$

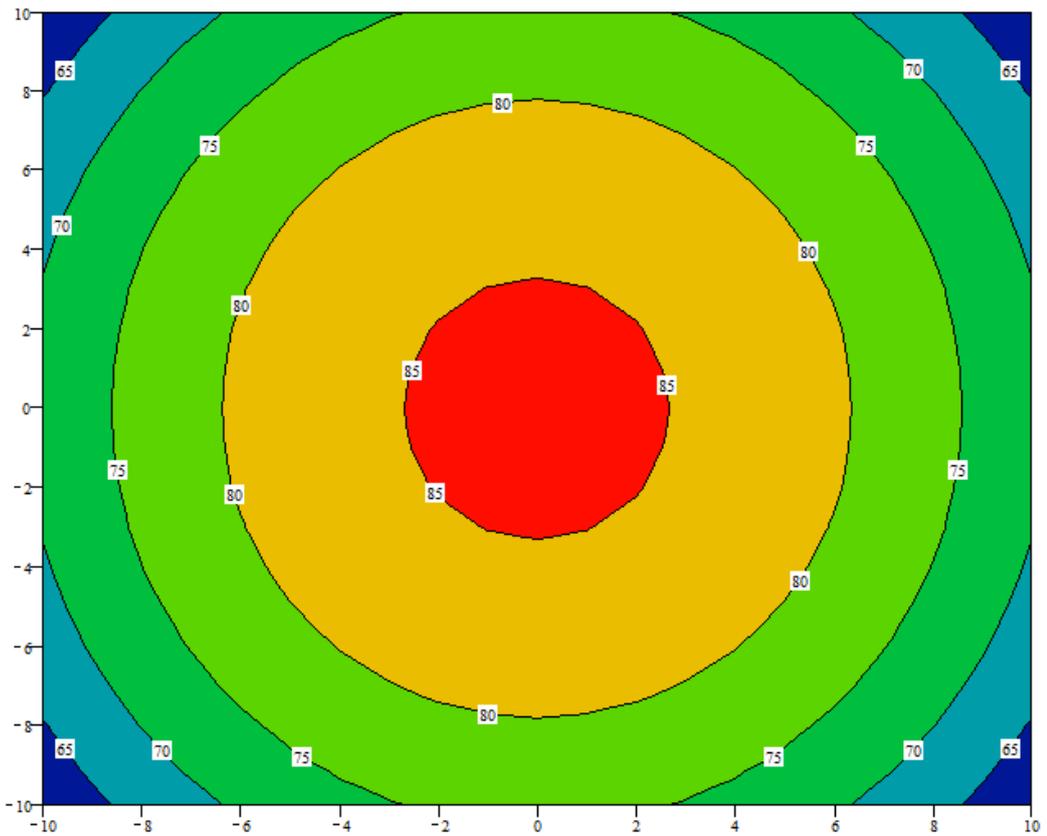
$$\frac{\left( \frac{X_1}{B_1} \right)^2}{\frac{Y - Y_s}{B_1}} + \frac{\left( \frac{X_2}{B_2} \right)^2}{\frac{Y - Y_s}{B_2}} = 1$$

$$kk := 20 \quad X_{11} := 0..kk \quad X_{22} := 0..kk \quad X_{11}(X_1) := -1 + 0.1 \cdot X_1 \quad X_{22}(X_2) := -1 + 0.1 \cdot X_2$$

$$z(X_{11}, X_{22}) := Y_s + B_{11} \cdot X_{11}(X_1) \cdot X_{11}(X_1) + B_{22} \cdot X_{22}(X_2) \cdot X_{22}(X_2) \quad K_{X_1, X_2} := z(X_{11}, X_{22})$$



K



K

Листинг программы  
"Действительные в нормализованные 2"  
Действительные коэффициенты уравнения

D0 := - 112.927      D1 := 31.364      D2 := 3.499667

D12 := - 0.059

D11 := - 1.617

D22 := - 0.046178

Центр плана и размах варьирования факторов

X10 := 9      d1 := 3      X20 := 30      d2 := 15

X1 = x1 · d1 + X10

X2 = x2 · d2 + X20

b22 := D22 · d2 · d2

b11 := D11 · d1 · d1

b12 := D12 · d1 · d2

b2 := D2 · d2 + 2 · X20 · D22 · d2 + X10 · D12 · d2

b1 := D1 · d1 + 2 · X10 · D11 · d1 + X20 · D12 · d1

b44 := D0 + D1 · X10 + D2 · X20 + D12 · X10 · X20

b0 := b44 + D11 · X10 · X10 + D22 · X20 · X20

Нормализованные коэффициенты уравнения

b0 = 85.87181

b1 = 1.464

b2 = 2.969805

b12 = -2.655

b11 = -14.553

b22 = -10.39005

Листинг программы

Переход МНК-2 (действительные) - план Вк 2-х факторный

Дополнительно 5 опытов плана - n0

Всего опытов

n0 := 5

f1 := n0 - 1

f1 = 4

k0 := 8

$$y := \begin{bmatrix} 85.21 \\ 85.42 \\ 85.57 \\ 85.59 \\ 85.01 \end{bmatrix}$$

Среднее значение и дисперсия плана

```
ys :=
| s ← 0
| j ← 0
| while n0 - 1 ≥ j
|   | s ← s + yj / n0
|   | j ← j + 1
| s
```

ys = 85.36

```
s2y :=
| s ← 0
| j ← 0
| while n0 - 1 ≥ j
|   | s ← s + (yj - ys)² / n0
|   | j ← j + 1
| s
```

s2y = 0.04912

$$sy := \sqrt{s2y}$$

sy = 0.222

При a=0,05 и f1=4

t := 2.78

Нормализованные коэффициенты уравнения

b0 := 85.782

b1 := 1.464

b2 := 2.97

b12 := -2.655

b11 := -14.553

b22 := -10.39

Вспомогательные константы

c7 := 0.63738

c8 := 0.1622

c9 := 0.10353

c10 := 0.063742

Расчет доверительных интервалов

sy = 0.222

sb0 := c7·sy

sb0 = 0.141

db0 := sb0·t

db0 = 0.393

sbi := c8·sy

sbi = 0.036

dbi := sbi·t

dbi = 0.1

sbij := c9·sy

sbij = 0.023

dbij := sbij·t

dbij = 0.064

sbii := c10·sy

sbii = 0.014

dbii := sbii·t

dbii = 0.039

Проверка значимости коэффициентов

$$b0 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b0| < db0 \\ b0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b1 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b1| < dbi \\ b1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b2 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b2| < dbi \\ b2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b12 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b12| < dbij \\ b12 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b11 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b11| < dbii \\ b11 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b22 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b22| < dbii \\ b22 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Коэффициенты после проверки на значимость

b0 = 85.782      b1 = 1.464      b2 = 2.97  
 b12 = -2.655  
 b11 = -14.553      b22 = -10.39

Определение числа степеней свободы

k1 := 0      k1 :=  $\begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b0=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$       k1 :=  $\begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b1=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$       k1 :=  $\begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b2=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$   
 k1 :=  $\begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b12=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$       k1 :=  $\begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b11=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$       k1 :=  $\begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b22=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$

k1 = 0      f2 := k0 - k1      f2 = 8

ft :=  $\begin{cases} 6.00 & \text{if } f2=9 \\ 5.96 & \text{if } f2=10 \\ 5.93 & \text{if } f2=11 \\ 5.91 & \text{if } f2=12 \\ 5.89 & \text{if } f2=13 \\ 5.87 & \text{if } f2=14 \\ 6.04 & \text{if } f2=8 \\ 6.09 & \text{if } f2=7 \\ 6.26 & \text{if } f2=6 \end{cases}$

ft = 6.04

При значимости a=0,05

zр := 1

Матрица плана

Отклик

x1 :=  $\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$       x2 :=  $\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$       y :=  $\begin{bmatrix} 62.60 \\ 64.89 \\ 62.16 \\ 53.88 \\ 72.77 \\ 69.77 \\ 78.30 \\ 72.57 \end{bmatrix}$   
 z := 0      c := 0      v := 0      a := 0

```

ssn :=  $\begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 0 \\ \text{while } k0 - 1 \geq j \\ \quad \begin{cases} z \leftarrow z + b0 + b1 \cdot x1_j + b2 \cdot x2_j \\ c \leftarrow c + b12 \cdot x1_j \cdot x2_j \\ v \leftarrow v + b11 \cdot x1_j \cdot x1_j + b22 \cdot x2_j \cdot x2_j \\ a \leftarrow a + z + c + v \end{cases} \\ \quad \begin{cases} s \leftarrow s + (y_j - a)^2 \\ j \leftarrow j + 1 \end{cases} \end{cases}$ 
s
    
```

ssn = 0.091      s2n :=  $\frac{ssn}{f2}$       fr :=  $\frac{s2n}{s2y}$       f2 = 8      f1 = 4

s2y = 0.049

Проверка на адекватность  $f_r < f_t$

$$s_{2n} = 0.011$$

$$s_{2y} = 0.049$$

$$f_r = 0.231$$

$$f_t = 6.04$$

Коэффициенты уравнения регрессии в нормализованном виде

$$b_0 = 85.782$$

$$b_1 = 1.464$$

$$b_2 = 2.97$$

$$b_{12} = -2.655$$

$$b_{11} = -14.553$$

$$b_{22} = -10.39$$