

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

На правах рукописи

Лаврентьев Валерий Павлович



**ПАРАМЕТРЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АГРЕГАТА
ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ
И УХОДА ЗА ПОСЕВАМИ КУКУРУЗЫ**

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 Труфляк Е. В.

Краснодар 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
1.1 Анализ способов обработки почвы	8
1.2 Существующие технические решения машин для боронования почвы и посевов	11
1.3 Анализ результатов теоретических исследований процесса боронования почвы.....	19
1.4 Выводы, цель и задачи исследований.....	22
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И УХОДА ЗА ПОСЕВАМИ КУКУРУЗЫ	24
2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы МФА.....	24
2.2 Оценка взаимодействия зуба МФА с почвой.....	28
2.3 Взаимодействие клина зуба с почвой	38
2.4 Математическая модель оптимизации параметров и режимов работы МФА.....	47
2.5 Выводы по главе.....	52
3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	53
3.1 Программа и методика исследования процесса боронования и внесения удобрений в лабораторно-полевых условиях.....	53
3.2 Методика определения коэффициентов трения скольжения, коэффициента витания аммиачных твердых минеральных удобрений в транспортирующем канале, скорости воздуха и удобрений	57
3.3 Методика планирования трехфакторного эксперимента по оптимизации параметров зуба пружинной бороны.....	59
3.4 Методика динамометрирования МФА	62
3.5 Методика определения величины износа зубьев МФА	64

3.6 Выводы по главе.....	68
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	70
4.1 Результаты экспериментальных исследований процесса работы МФА	70
4.2 Зависимости удельного тягового сопротивления МФА от его параметров и скорости движения.....	76
4.3 Оптимальные параметры и режим работы МФА	78
4.4 Влияние предлагаемой технологии и МФА на урожай зеленой массы кукурузы.....	92
4.5 Выводы по главе.....	96
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДО- ВАНИЙ.....	99
5.1 Методические особенности определения эффективности предлагаемой технологии предпосевной обработки и ухода за посевами кукурузы	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	104
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	117

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Производство зерна кукурузы в России в 2022 году составило 18,85 млн т, что на 4 % больше чем в 2021 году, а общая уборочная площадь – 2,6 млн га. В Краснодарском крае в 2022 году площадь посевов кукурузы на зерно составила 433 тыс. га, а валовый сбор 2,7 млн т, что на 14,5 % больше чем в 2021 году. Площади посевов кукурузы на силос в 2022 году составили 1,6 млн га в России и около 165 тыс. га в Краснодарском крае.

Предпосевная обработка почвы и уход за посевами являются одними из основных технологических операций при возделывании кукурузы. В числе приоритетных направлений научно-технического прогресса при возделывании кукурузы на зерно и зеленый корм является совершенствование механизации производственных процессов, а также разработка и освоение ресурсосберегающих технологий или отдельных их элементов.

В настоящее время ресурсосберегающие технологии возделывания кукурузы связаны с большой номенклатурой технических средств для выполнения сплошной культивации, боронования почвы и посевов, междурядных культиваций. Перспективным направлением в этой области является разработка агрегатов, совмещающих за один проход несколько технологических операций. Это позволяет повысить производительность труда и сократить материальные и финансовые затраты.

Тема исследования является актуальной, так как существующие технические средства возделывания кукурузы нуждаются в их дальнейшем совершенствовании. Работа выполнена в соответствии с планом НИР Кубанского ГАУ ЕГИСУ НИОКР №4А16-11602410038-8 (2016-2020 гг.), №121032300060-2 (2021-2025 гг.).

Степень разработанности темы. Исследованиями совершенствования почвообрабатывающих и посевных технологий, разработкой технических средств для их осуществления занимались: Г.Г. Маслов, Е.И. Трубилин, С.И. Камбулов, И.Б. Борисенко, А.С. Кузнецов, В.А. Милюткин, А.Ю.

Несмеян, И.М. Панов, И.М. Петренко, Ю.В. Попов, В.Б. Рыков, К.А. Сохт, Т.Р. Толорая, В.А. Небавский и др. Полученные ими результаты исследований по обоснованию ресурсосберегающих технологий в растениеводстве и новых технических решений по предпосевной обработке почвы для них позволили значительно поднять уровень технологий, однако сохраняется проблема повышения производительности труда и снижения эксплуатационных затрат при сплошной и междурядной культивациях.

Гипотеза. Повышение производительности и снижение эксплуатационных затрат при предпосевной обработке почвы и уходе за посевами кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений возможно путем применения многофункционального агрегата (МФА) с обоснованными оптимальными параметрами и режимами работы.

Цель работы – обоснование оптимальных параметров и режимов работы многофункционального агрегата для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы, обеспечивающего повышение производительности и снижение эксплуатационных затрат.

Объект исследования – многофункциональный агрегат для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы.

Предмет исследования – зависимости, связывающие параметры МФА с показателями качества обработки почвы.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены следующие задачи.

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему МФА для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы.
2. Разработать математическую модель и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МФА.
3. Исследовать влияние угла заточки граней зубьев на величину их истирания о почву.
4. Провести полевые исследования и обосновать конструкцию зуба пружинной бороны и его оптимальные параметры.

5. Сопоставить результаты теоретических и экспериментальных данных.
6. Определить экономическую эффективность результатов исследований.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений математики, физики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях с использованием общепринятых и частных методик в соответствии с действующими ГОСТами, а также с использованием общепринятых методик планирования многофакторного эксперимента. Обработка результатов исследований выполнялись по стандартным методикам с использованием программ Mathcad, Microsoft Excel.

Научную новизну работы составляют:

- конструктивно-технологическая схема МФА;
- математическая модель МФА и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МФА;
- регрессионная модель оптимизации параметров зуба МФА.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость представляют: математическая модель и алгоритм оптимизации параметров, режимов работы МФА, позволяющие определить оптимальные параметры агрегата.

Практическую значимость представляют: соотношение между параметрами и режимами работы предлагаемого агрегата с показателями обработки почвы; параметры и режимы работы МФА. Новизна технических решений подтверждена двумя патентами на изобретение РФ №2739803, №2771947 и полезную модель РФ №188549.

Степень достоверности и апробация результатов.

Степень достоверности выводов и положений подтверждена: сходимостью аналитических и экспериментальных результатов исследований; использованием рекомендованных методик; современных приборов и оборудования; результатами обширных полевых опытов.

Основные положения и выводы диссертации доложены и одобрены на Всероссийской (национальной) конференции «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (2019-2020 гг., г. Краснодар); на Научно-практической конференции с международным участием «Научно-образовательная среда как основа развития агропромышленного комплекса арктических территорий» (2020 г., г. Якутск). Опытный образец МФА был представлен на XXIII Агропромышленной выставке-ярмарке «Золотая Нива» (2023 г., г. Усть-Лабинск); на XXV Российской агропромышленной выставке «Золотая осень – 2023» (2023 г., г. Москва).

Основные положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема МФА;
- математическая модель и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МФА;
- параметры и режимы работы МФА;
- регрессионная модель оптимизации параметров зуба МФА;
- влияние конструкции зубьев на их износ;
- результаты сопоставления теоретических и экспериментальных данных;
- экономическая эффективность результатов исследований.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 12 научных работ, из которых 3 в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 2 в базе данных Scopus, 1 в базе данных Web of Sciences, 2 патента на изобретение РФ, 1 на полезную модель РФ, 3 в прочих изданиях. Общий объем публикаций составляет 2,5 п.л., из них личный вклад автора 1,5 п.л.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 140 страницах, включая 67 рисунков, 18 таблиц и приложений на 24 страницах. Список литературы включает 115 наименований, в том числе 9 иностранных.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ способов обработки почвы

Обработка почвы один из важнейших элементов системы агротехнических мероприятий при возделывании сельскохозяйственных культур. От выбора способов возделывания и соблюдения оптимальных параметров работы напрямую зависит урожайность и качество конечного продукта [56, 90].

Наука о составе и свойствах почвы тесно связана с точными и прикладными науками [69, 99–104, 106].

К первостепенным задачам почвообработки относятся:

- сохранение и повышение плодородия почвы, защита ее от эрозии;
- изменение строения и агрегатного состава почвы [56];
- уничтожение сорной растительности, возбудителей болезней и вредителей и др.

Отступление от технологии обработки ведут к потере плодородного слоя, сокращению соединительной способности, повышению смыва и др. [29, 50–53].

Происходящие процессы обработки почвы требуют научного обоснования [73–76].

Обработку почвы классифицируют на основную, предпосевную и послепосевную [47, 90].

Факторы системы почвообработки показаны на рисунке 1.1. [56].

Технологии обработки почвы, прежде всего, отличаются глубиной воздействия (основная обработка – глубина составляет от 16 см и более, поверхностная предполагает глубину до 8 см). Превышение 24 см уже означает глубокую обработку, а от 8 до 16 см – мелкую.

Основные виды почвообработки приведены на рисунке 1.2. [56].



Рисунок 1.1 – Показатели почвобработки

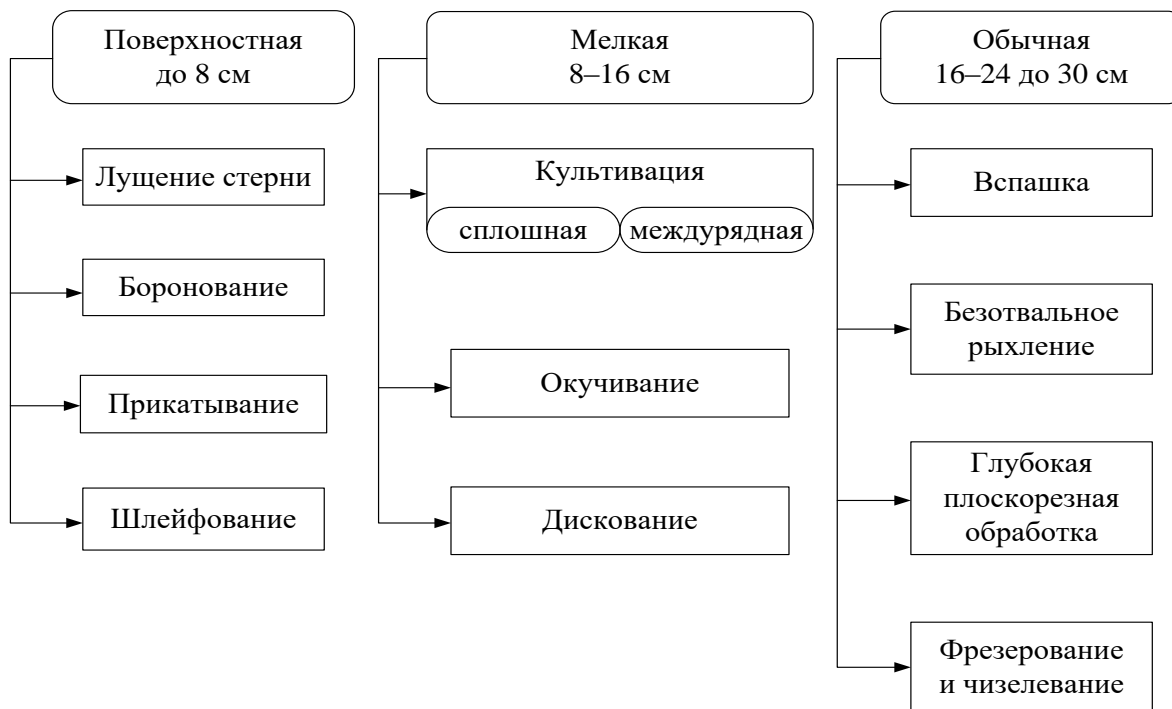


Рисунок 1.2 – Виды обработки почвы

Основные способы почвообработки приведены на рисунке 1.3.

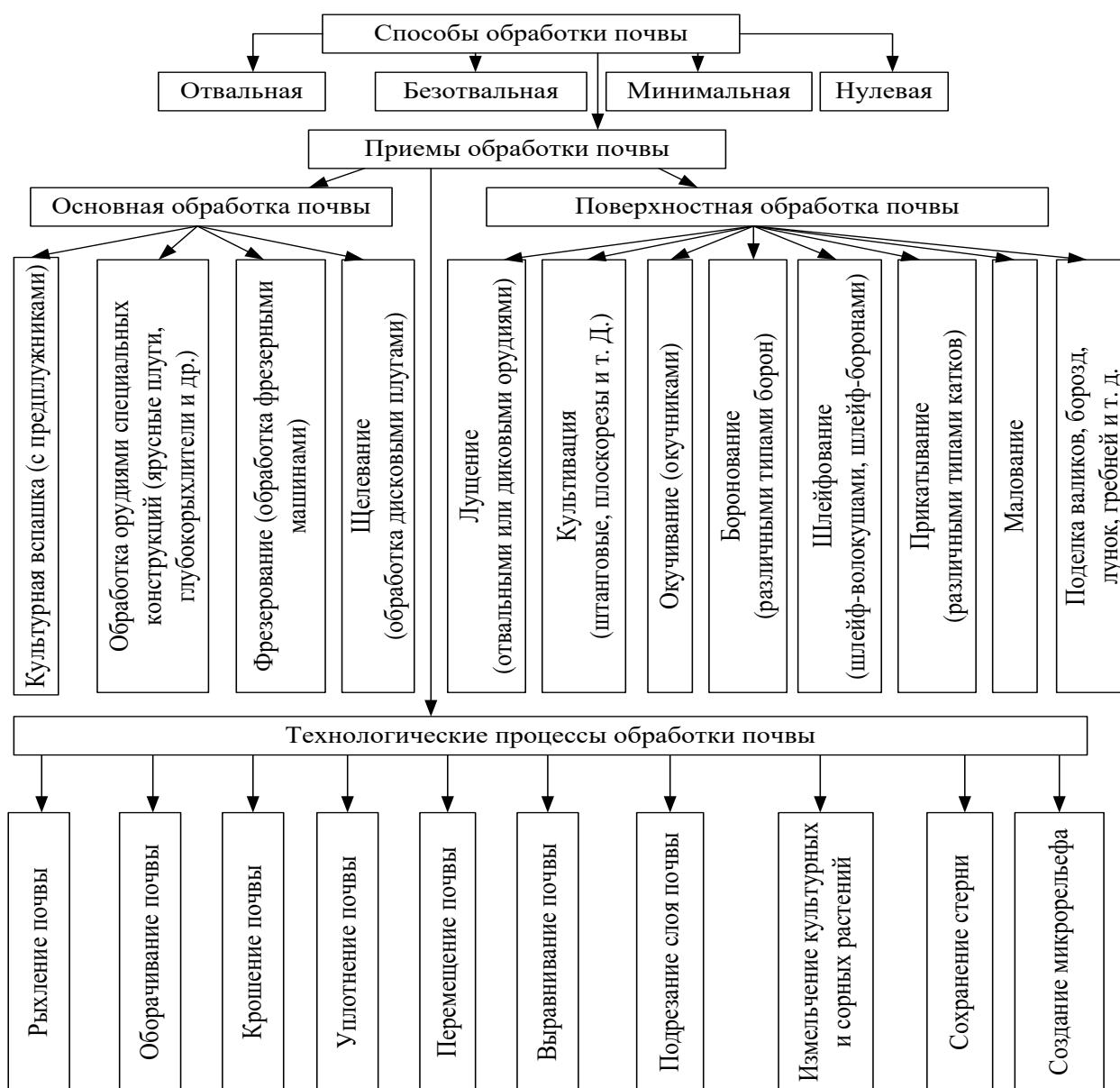


Рисунок 1.3 – Способы обработки почвы [56]

Для поверхностной обработки почвы достаточно широкое использование получили бороны, которые применяют для весеннего рыхления и выравнивания, подготовки почвы перед посевом и выравнивания после посева, после прикатывания гладкими катками, уничтожения корки и всходов сорняков, до и после появления всходов, боронования озимых и трав весной, во время обработки чистых и занятых паров.

Существует три метода боронования почвы: загонное, фигурное и поперечно-диагональное.

Широкое использование боронования обусловлено преимуществами данного метода обработки такими как [65, 67]:

- проста конструкции и надежность в применении;
- забивание остатками растительности практически исключено;
- после обработки участок имеет ровную поверхность;
- выравнивают грунт и уплотняют его;
- глубина обработки остается равномерной на всей площади;
- отличаются отличной производительностью в обработке;
- удобная транспортировка, мобильность;
- высокая производительность и скорость работы;
- оптимальный расход горючего;
- приемлемая стоимость.

Несмотря на множество явных положительных моментов использования боронования для обработки почвы бороны имеют ряд недостатков:

- ограниченное применение на каменистых почвах;
- невысокий ресурс пружинных зубьев [47].

1.2 Существующие технические решения машин для боронования почвы и посевов

В зависимости от конструкции машины для боронования почвы они классифицируются на основании нескольких параметров. В зависимости от типа рабочего органа – зубовые, сетчатые и дисковые. В зависимости от массы, которая приходится на один диск или зуб бороны – легкие, средние, тяжелые [56].

Широкое использование получили дисковые почвообрабатывающие машины серии БДК. В первую очередь – это борона БДК-2,5 (рисунок 1.4).

Агрегат предназначен для глубокого рыхления почвы, обработки почвы после уборки урожая, а также для устранения сорняков. Бороны данного типа, как правило, применяются на небольших площадях. Обусловлено это не высокой производительностью БДК-2,5 – до 3 га/ч. Модель БДК-3,5 обладает более высокой производительностью которая позволяет обрабатывать до 4,2 га/ч [62].



Рисунок 1.4 – Внешний вид дисковой бороны БДК-2,5

Универсальные тяжелые дисковые бороны модели Л-135 (рисунок 1.5). применяются для разрыхления и подготовки почвы под посев, удаления сорняков, разделки пластов почвы целинных земель.



Рисунок 1.5 – Внешний вид дисковой бороны Л-135

Дисковая борона Л-135 показывает высокие результаты при возделывании почвы после уборки пропашных культур и в удалении стерни. Установка обладает высокой производительностью:

- большую ширину захвата – до 4,5 м;
- глубину обработки – от 4 до 14 см за несколько проходов;
- большой процент уничтожения растительных и пожнивных остатков – не меньше 95 %.

Для уничтожения сорняков и рыхления почвы в садовых междурядьях предназначена тяжелая борона БДСТ-2,5 (рисунок 1.6). Данная модификация бороны оборудуется механизмом отвода от деревьев, благодаря чему исключено травмирование сельскохозяйственных растений. Борону можно применять для проведения сплошной обработки полей. Однако она имеет недостаток характерный для данного типа почвообрабатывающих машин – нельзя применять на каменистых почвах [13].



Рисунок 1.6 – Внешний вид дисковой бороны БДСТ-2,5

Зубовые бороны – почвообрабатывающие машины в которых в качестве рабочих органов применяются зубья. Они могут различаться по форме изготовления, иметь квадратную, круглую или ножевую форму. Различаются в зависимости от вида монтажа к раме. Классификация зубовых борон осу-

ществляется в зависимости от массы приходящейся на один зуб. В связи с этим выделяют легкие, средние и тяжелые.

Борона пружинная используется для эффективной подготовки почвы. Широко используется в экофермах, в которых использование пестицидов минимизировано. Высокая популярность данного почвообрабатывающего агрегата обусловлена достаточно высокой эффективностью и простотой использования [7].

Пружинные бороны применяются для борьбы с сорняками, как до всходов так и по всходам, закрытие влаги в плодородном слое и разрушение образовавшейся корки на обрабатываемом поле [19].

За счет применения в качестве рабочего органа пружинных зубьев обеспечивается высокая производительность. Конструктивная особенность дает возможность не допустить быстрого износа рабочих органов. Схема работы пружинного зуба – вибрационное воздействие, которое происходит в продольной плоскости, на обрабатываемый участок. Как следствие, обрабатываемый участок эффективно прорыхляется.

Борона пружинная БЗПТ 21 (рисунок 1.7) – широкозахватное, универсальное, орудие для ресурсосберегающей технологии обработки почвы позволяет осуществлять большое количество агротехнических операций [62].



Рисунок 1.7 – Внешний вид бороны пружинной БЗПТ-21

Борона БЗПТ-21 используется для качественной обработки почвы и эффективного разрушения почвенной корки, консервации влаги. Обработку можно выполнять до появления всходов и после появления – послевсходовое боронование технических и зерновых культур с целью уничтожения сорняков, легкой культивации, финишной подготовки поля, подготовки семяложа, заделки в почву удобрений и пожнивных остатков, эффективного выравнивания поверхности поля, крошения комьев [59].

Борона пружинная БПУ-18 (рисунок 1.8) с шириной захвата 18 м, применяется для довсходовой и послевсходовой обработки, в определенных моментах заменяет культивацию, заделывания минеральных удобрений, разрушения корки и консервация влаги. Борона пружинная данной модели в зависимости от различных комплектации может быть с захватом от 12 до 18 м [7].



Рисунок 1.8 – Внешний вид бороны пружинной БПУ-18

Конструктивная особенность пружинной бороны БПУ-18 предусматривает рабочее и транспортное положение. Наличие двух положений обеспечивает возможность обработки больших площадей, находящихся на значительном удалении не применяя дополнительных подъемно - транспортного оборудования. Пружинная борона данного типа удобна в использовании, для приведения в рабочее положение достаточно одного оператора. Приведенная

в положение для транспортировки может перевозиться по автомобильным дорогам без использования специальных транспортных средств [7].

В конструкцию бороны заложены возможности регулировок в различных диапазонах. Регулировка угла атаки рабочих органов что влияет на глубину обработки от 2-х до 12-ти сантиметров. Изменение расстояния между отдельными бороздами (зубового поля), совместно с вибрацией рабочих органов позволяет уничтожить ростки сорняков в фазе белой нитки до 100 %.

Пружинная борона БЛП-9 (рисунок 1.9) оснащена трехточечной системой навески. Основную часть образует рабочая рама, на которую монтируются дополнительные секции: одна центральная и две торцовые секции с левой и правой стороны. Перевод из рабочего в транспортное положение выполняется одним оператором при помощи гидроцилиндра установленного на центральной секции. Ширина захвата в рабочем положении составляет 9 м. [79].



Рисунок 1.9 – Внешний вид БЛП-9

Диаметр пружинных зубьев применяемых на боронах данного типа от 6 до 8 мм, что дает возможность качественной обработки с высокой эффективностью.

Пружинная борона характеризуется надежностью в работе, рабочие органы не забиваются, и не залипают. Скорость обработки бороной БЛП-9 до-

стигает 15 км/ч. Скорость при транспортировке – 20 км/ч. Работу на тракторе, может осуществлять один человек.

В Польше производится борона Eхром Aktywator (рисунок 1.10). Широко применяется при обработки кукурузы, всех видов зерновых, свеклы, гороха, репы, сурепицы, подсолнухов, фасоли, картофеля и большинства овощей. Возможность проведения работ по боронованию почвы после посева. Производитель предлагает широкий выбор ширины захвата от 6 м до 12 м, возможность выбора дополнительного оборудования. За счет применения гидравлически складываемых секций для работы с бороной достаточно одного человека.



Рисунок 1.10 – Внешний вид пружинной бороны Eхром Aktywator

В Канаде производят пружинные бороны Bourgault 6000-72 и Bourgault 6000-90 (рисунок 1.11) с шириной захвата 21,3 м и 27,4 м.



Рисунок 1.11 – Внешний вид бороны Bourgault 6000-72

За счет применения гидравлического привода из кабины трактора можно регулировать угол атаки и давление зубьев на почву, изменяя высоту штанги бороны на ходу. По мере износа рабочих органов, положение колес относительно рамы может быть изменено вручную, что позволяет использовать рабочие органы дольше.

Пружинные бороны как правило применяются для обработки почвы до стадии появления всходов и после, работы по сохранению влажности в почве, для борьбы с сорняками.

Пружинная борона состоит из плоских пружинных поводков и жестко прикрепленных к ним вертикально рабочих органов цилиндрической формы. Нижний торец рабочих органов бороны по патенту РФ № 2360389 выполнен под углом 5–10°. Для удобства монтажа рабочие органы выполнены съемными.

Зубья пружинной бороны снабжены втулкой, установленной на раме внутри спирали с возможностью перемещения в продольном направлении (А.С. СССР № 869585).

Для изменения угла атаки зубьев бороны без выхода оператора из транспортного средства каждая секция борон с пружинными зубьями снабжена гидравлическим механизмом регулирования угла атаки зуба съема (патент РФ № 195217). Конструкция бороны предусматривает подвеску. В состав подвески входит механизм для регулировки по высоте и копирующие колеса установленные парами.

Рабочие органы установлены на причем штанги располагаются на стойке, установленной в корпусе держателя который позволяет производить регулировку рабочих органов бороны по глубине при помощи стопорного болта (патент РФ № 132939).

Зуб бороны состоит из трех частей: рабочая часть, монтажная часть и стержневая часть. Рабочая часть выполнена изогнутой по радиусу в продольно-вертикальной плоскости. Край рабочей части выполнен отогнутым на угол при наименьшем наклоне стержневой части зуба. Такая форма позволя-

ет зубу максимально заглубляться в почву. Вместе с тем рабочая изогнутая часть зуба имеет режущую кромку, которая находится в продольно-вертикальной плоскости по патенту РФ № 2561533.

1.3 Анализ результатов теоретических исследований процесса боронования почвы

Основное направление теоретических исследований в области обработки почвы направлены на обоснование параметров и режимов работы рабочих органов почвообрабатывающих машин, для увеличения урожая и соблюдение агротехнических требований.

Основоположник теории машин Горячкин В. П. [26,30,31] заложил теоретические основы почвообрабатывающих машин, определил параметры воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин, в том числе анализ движения пружинного рабочего органа и воздействующие на него силы.

Сопротивление F обрабатываемой почвы при движении зуба определяется из проекций алгебраической суммы воздействующих на рабочий орган сил [26].

$$\bar{F} = \bar{F}_n + \bar{F}_{\text{Тр}}. \quad (1.1)$$

Сила трения будет определяться [26]:

$$F_{\text{Тр}} = f_{\text{Тр}} F_n = F_n \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.2)$$

где $f_{\text{Тр}}$ – коэффициент трения металла о почву, безразмерная величина; φ – угол трения, градусы.

На пружинный рабочий орган, перемещаемый в почве будет действовать нормальная сила F_n . Воздействующая сила определяется из значений горизонтального смятия F_{nc} (статическая) и F_{nd} (динамической)

$$\bar{F}_n = \bar{F}_{nc} + \bar{F}_{nd}. \quad (1.3)$$

При движении зуба F_{nc} будет ни чем иным, как сопротивлением почвы смятию по направлению движения. Динамическая сила зависит от скорости и образуется из сдвигаемой рабочим органом почвы. Далее определяем статическую нормальную силу [26].

$$F_{nc} = qS = qha, \quad (1.4)$$

где S – сопротивление поверхности, m^2 ; h – глубина хода рабочего органа, м; a – ширина захвата, м.

Изучение процесса технологии боронования пропашных культур представлены в работах [12, 63, 94–97]. Трубилин Е. И. [63] в своих трудах, рассматривая три вида крепления рабочего органа, определил основные параметры для обработки почвы, зависимость факторов от количества и длины зубьев, динамику работы зуба.

Варианты установки зуба для обеспечения равномерного воздействия. Перпендикулярно к раме (рисунок 1.12). Обозначим через h глубину, P – силу давления на почвы и R – силу сопротивления почвы [12].

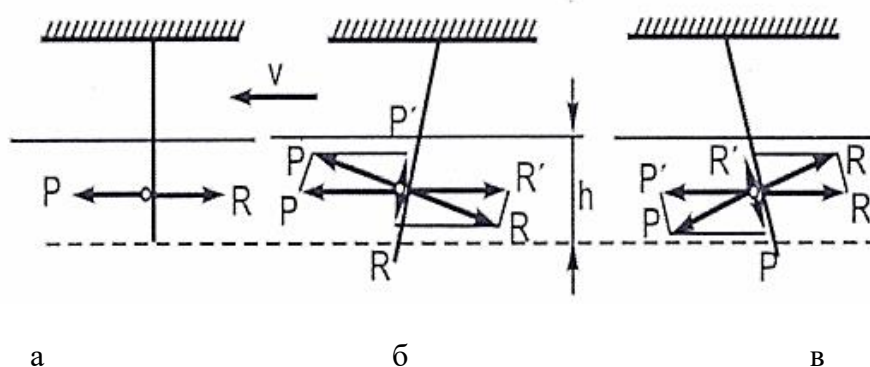


Рисунок 1.12 – Схема крепления на раме бороны

Интересные результаты применения машин для почвообработки изложены в работах Маслова Г. Г. [66–68]. Выполнен большой объем научных исследований по комплексному проведению уборки урожая с одновременным выполнением сопутствующих работ с применением МФА. Обоснованы основные параметры рабочих органов и технологических процессов. Большое внимание уделяется мероприятиям сохранения и воспроизводства пло-

дородия, иссушения почвы, ухудшения ее водного режима, разрушения структуры.

Борисенко И. Б. [18, 19] провел анализ влияния основных параметров рабочих органов пружинной бороны на процесс обработки почвы. Разработал и обосновал теоретические зависимости, которые определяют основные параметры и процессы работы зуба пружинной бороны. Рассмотрел вопрос совершенствования процесса послеваходового боронования почвы и применяемые технологии для обработки почвы с целью сохранения влаги.

В результате исследований определено воздействие на почву [18]:

$$K_{ai} = \frac{F}{B_w h_{ch}}, \quad (1.5)$$

где, K_{ai} – коэффициент площади рыхления, определяемым, F – зона разрыхления в поперечной плоскости, B_w рабочая ширина, h_{ch} – глубина.

После преобразования уравнение принимает следующий вид:

$$F_k = n \left(h_q M - \frac{(M - b)^2}{4} \right), \quad (1.6)$$

Принимая во внимание вышеизложенное, площадь поперечного сечения разрыхленной части пласта имеет вид:

$$F_{кп} = n_{п} h_q (h_q + b), \quad (1.7)$$

Соответственно для поперечного сечения разрыхленной части пласта при обработке грунта [18]:

$$F_{кс} = n \left[h_q B_{п} - \left(\frac{B_{п} - b}{2} \right)^2 \right]. \quad (1.8)$$

Интерес представляют исследования проводимые ФГБНУ «Росинформагротех» по аппроксимации данных результатов испытаний разбрасывателей минеральных удобрений и разработанная программа. Для повышения продуктивности культур в «Росинформагротех» проводились исследования по рациональной технологии обработки почвы рабочими органами почвообработыва-

ющих машин. Проводились полевые испытания зубовых борон: рыхление земли после вспашки, измельчение земляной корки после оттаивания, крошение комков, борьба с сорняками. Все исследованные агрегаты зубовых борон позволяют осуществлять послепосевную и довсходовую обработку.

Сравнительный анализ источников литературы и результатов исследований по обоснованию ресурсосберегающих технологий в растениеводстве и новых технологических решений по почвообработке их воздействие на проблему иссушения почвы, разрушения структуры помог систематизировать параметры представленных на рынке оборудования для сельскохозяйственных работ пружинных борон различных производителей.

1.4 Выводы, цель и задачи исследования

Использование пружинных борон обеспечивает широкий спектр агротехнических операций. Особенности конструкции рабочего органа этих машин – пружинных зубьев, определяют и технологические направления использования этого типа агрегатов. Большая ширина захвата таких борон, высокая рабочая скорость, качественное копирование рельефа поля обеспечивают высокую производительность с агротехническими показателями работы при незначительных затратах топлива. Расположение пружинных зубьев позволяет производить качественную обработку без пропусков. Регулируемый угол наклона зубьев позволяет изменять давление на зуб и глубину. Благодаря вибрационному действию пружинных зубьев бороны достигается высокое качество рыхления почвы [71]. Возможностью изменения угла наклона зубьев обеспечивается довсходовая и послеvсходовая бережная обработка. При условии использования отдельных рабочих секций на цепях пружинная борона, невзирая на свою большую рабочую ширину, успешно копирует, даже самый сложный рельеф. Боронование почвы обеспечивает разрушения поверхностной корки и закрытие влаги с помощью прерывания капиллярного

потока из нижних слоев почвы, а также заделку семян и минеральных удобрений, разбросанных по полю. Несомненным преимуществом боронования является механический способ борьбы с сорняками, который исключает применение гербицидов и значительно более экологичный, и экономически наиболее выгоден. Своевременное и правильное применение таких орудий способствует получению высоких урожаев.

Сделана попытка заменить на предпосевной обработке почвы под кукурузу культиваторы для сплошной обработки, а на междурядной – междурядные культиваторы предлагаемым МФА.

Учитывая вышесказанного были сформированы цель и задачи исследования.

Цель работы – повышение производительности труда и снижение эксплуатационных затрат предпосевной, междурядной обработки и боронования посевов кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений за счет применения многофункционального агрегата при сохранении качественных показателей обработки почвы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему МФА для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы.
2. Разработать математическую модель и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МФА.
3. Исследовать влияние угла заточки граней зубьев на величину их истирания о почву.
4. Провести полевые исследования и обосновать конструкцию зуба пружинной бороны и его оптимальные параметры.
5. Сопоставить результаты теоретических и экспериментальных данных.
6. Определить экономическую эффективность результатов исследований.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И УХОДА ЗА ПОСЕВАМИ КУКУРУЗЫ

2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы МФА

На основании проведенного обзора работ [23, 56, 91, 93] применяемая технология предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы уже исчерпала свои возможности по причине высокой металлоемкости, трудо-, энерго- и денежных затрат. За счет ее совершенствования необходимо повысить качество работ, производительность труда и урожайность, что и входит в задачи исследований.

В таблице 2.1 представлен состав машин используемых для возделывания кукурузы.

Таблица 2.1 – Состав машин

№№ п/п	Затраты труда, чел.-ч/га	Наименование работ	Состав МТА	Производительность, га/ч
1	0,16	Весеннее боронование зяби	Т-150К+СГ-21 + ЗБЗСС-1	6,3
2	0,25	Предпосевная культивация на 6–8 см	Т-150 + КПК-8	6,3
3	0,08	Посев кукурузы	Т-150 + СУПН-12	4,0
4	0,09	Довсходовое боронование посевов	Т-150 + СГ-21 + ЗБЗСС-1	12,1
5	0,48	Повсходовое боронование посевов	Т-150 + СГ-21 + ЗБСС-1	10,7
6	0,35	1-я междурядная культивация посевов на 8–10 см	МТЗ-80 + КРК-5,6	2,4
7	1,47	2-я междурядная культивация посевов на 6–8 см	МТЗ-80 + КРК-5,6	2,9

Базовая технология включает 6 марок машин, среди них трактор, культиватор для сплошной обработки КПС-4, кукурузная сеялка СУПН-12, сцепка СГ-21, зубовые бороны ЗБЗСС-1 и культиватор для междурядной обра-

ботки КРК-5,6. Затраты труда 1,44 чел.-ч/га. По предлагаемой (таблица 2.2) требуется всего три марки машин (трактор, сеялка СУПН-12 и МФА на базе пружинной бороны БП-27 с модернизированными зубьями). По новой технологии затраты уменьшаются в 3,5 раза (таблица 2.2). В 2021 году заложен полевой опыт по предлагаемой технологии с доведением до урожая. Экономический эффект получен за счет совершенствования процесса обработки почвы предлагаемым МФА. Подкормка кукурузы ЖКУ с окучиванием посевным культиватором «Скарабей» (Дорагромаш) обеспечивает прибыль урожая зеленой массы на 30 %.

В таблице 2.2 представлен предлагаемый состав машин для возделывания кукурузы.

Таблица 2.2 – Предлагаемый состав машин

№№ п/п	Затраты труда, чел.-ч/га	Наименование работ	Состав МТА	Производительность, га/ч
1	0,08	Весеннее боронование на 6–8 см в два следа	Т-150 + МФА	13,4
2	0,25	Посев кукурузы	Т-150К + СУПН-12	4,0
3	0,1	Довсходовое боронование посевов	Т-150 + МФА	9,6
4	0,1	Повсходовое боронование посевов	Т-150 + МФА	9,6
5	0,1	Боронование междурядий на посевах	Т-150 + МФА	9,6
6	0,1	Боронование междурядий посевов	Т-150 + МФА	9,6
7	0,13	Подкормка кукурузы с окучиванием	МТЗ1221 + «Скарабей»	7,7

В последующих опытах планируется проверить эффективность замены указанных культиваторов модернизированной пружинной бороной согласно патентам на полезную модель №188549 и изобретения №2739803, №2771947 с предлагаемыми зубьями с доведением опыта до урожая. За счет совмещения технологических операций, рекомендуемый многофункциональный агре-

гат, производит за один проход внесение удобрений, выравнивание почвы и уничтожение сорняков [1, 107–110].

Повышение производительности труда, снижение затрат – важные задачи. Однако требования зональной системы земледелия должны неукоснительно соблюдаться [56]. Цель данной работы – предложить новые направления по совершенствованию механизированных процессов боронования и внесения удобрений.

Основные требования системы земледелия при выполнении сельскохозяйственных работ является борьба с сорняками. По данным системы земледелия [56] с помощью механической обработки при до- и послеваходовом бороновании уничтожается до 70 % сорняков.

Предлагается обработка почвы под посевы кукурузы и ухода за посевами, которая предполагает исключение культиваторов. Предлагается только одна модернизированная пружинная борона, которая позволяет уменьшить тяговое сопротивление, снизить расхода топлива; увеличить производительность. МФА служит для до- и послеваходовой обработки посевов с одновременным разбросным внесением минеральных удобрений. Для транспортировки твердых минеральных удобрений на тракторе смонтированы два специальных бункера. Синтез конструктивно-технологической схемы МФА базируется на следующих составляющих: зубопружинная борона с модернизированной конструкцией зубьев, фронтальный бункер для удобрений на передней навесе трактора и разбрасыватель удобрений – на задней. (рисунок 2.1). [111, 113].

Конструктивно-технологическая схема МФА предлагаемой установки для выполнения программы исследований представлена на рисунке 2.1. Предлагаемый multifunctional агрегат включает трактор 1, зубопружинную борону 4, разбрасыватель твердых минеральных удобрений 3, емкости для удобрений 2, соединенные тукопроводом 5.

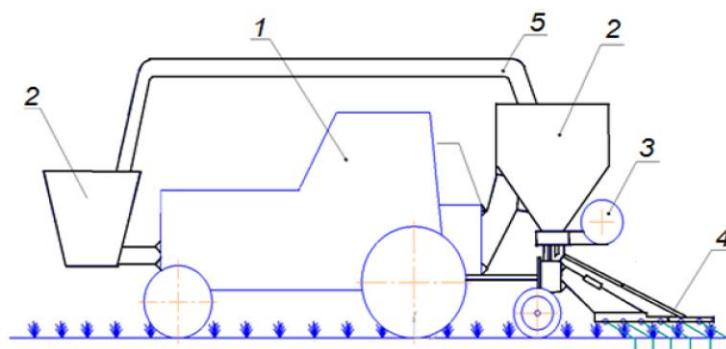


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологическая схема МФА для боронования с одновременным внесением удобрений:
 1 – трактор; 2 – емкость для удобрений; 3 – разбрасыватель твердых минеральных удобрений; 4 – зубопружинная борона; 5 – тукопровод

Фронтальный бункер и можно использовать от компании MONOSEM (рисунок 2.2, а) емкостью 1000–1600 л. Производитель MONOSEM широко представлен на рынке. Технические решения компании совместимы с большинством продуктов представленных на рынке. Характеризуются простотой в использовании и надежностью.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.2 – Элементы МФА:

а – фронтальный бункер; б – разбрасыватель минеральных удобрений;
 в – зубопружинная борона; г – комплект сменных секций зубьев диаметром пружин 8, 10, 12, 14 и 16 мм

Особенности предлагаемой конструктивно-технологической схемы состоят в наличии фронтального бункера 2 для удобрений на передней навеске трактора 1 и разбрасывателя 3 – на задней (рисунок 2.1). Такая схема уравнивает нагрузки на переднюю и заднюю оси трактора, улучшает сцепление с почвой, и снижает буксование. В качестве разбрасывателя удобрений на задней навеске трактора можно использовать распределитель удобрений производства компании ООО «ОПТСЕЛЬМАШ» (Россия) (рисунок 2.2, б).

2.2 Оценка взаимодействия зуба МФА с почвой

Оценку взаимодействия зуба с почвой рассчитывается по функции 1,1 – 1,4. За базовое значение можно взять коэффициент равный 1 ед. Предполагается изменить значение функции за счет изменения угла трения. Для этого предварительно необходимо произвести оценку прочности зуба.

Предлагаемый пружинный зуб МФА (рисунок 2.3), для черенкового ножа представлен на рисунке 2.4 [80].

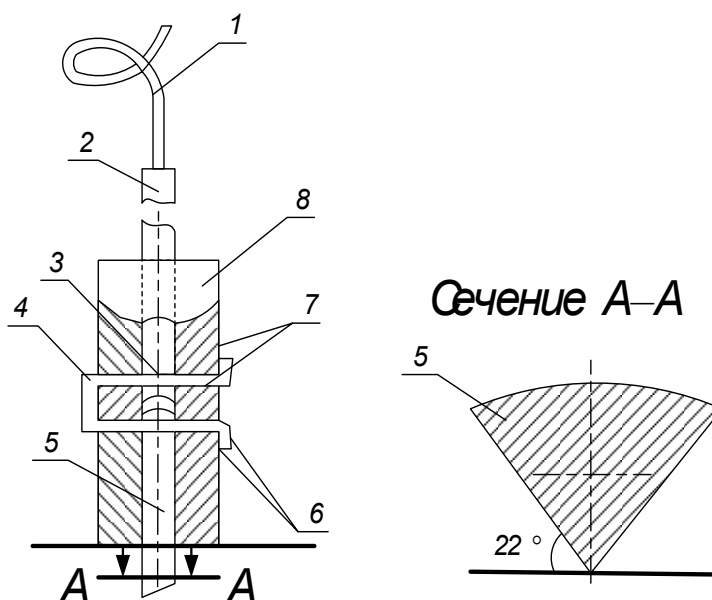


Рисунок 2.3 – Зуб пружинной бороны:

- 1 – плоские пружинные поводки; 2 – стойка; 3 – осевые сквозные отверстия;
 4 – монтаж; 5 – зуб; 6 – поперечные сквозные отверстия;
 7 – закрепляющие элементы; 8 – втулка

Втулка 8 имеет осевые сквозные отверстия 3 и поперечные сквозные отверстия 6. Стойка 2 и зуб 5 сопрягаются между собой. Втулка и зуб имеют одинаковый диаметр и сквозные отверстия для сочленения. Монтажный элемент 4 выполнен в виде П-образного стержня. Он служит для крепления элемента 7 при сопряжении стойки 2 и зуба 5 соответственно расположены в сквозных отверстиях 6 втулки 8. При этом лобовая рабочая поверхность зуба 5 выполнена клиновидной. Ее боковые стороны относительно плоскости обрабатываемой почвы, перпендикулярной направлению движения бороны, имеют угол не менее 22° , что соответствует углу, меньшему угла трения материала зуба о почву.

При движении бороны ее зубья 5 движутся в почве на заданной глубине, разделяя ее клином и производя рыхление. За счет клина зуба и срезанного торца под углом $5-10^\circ$ к горизонтали значительно снижается трение о почву и тяговое сопротивление.

Предусмотрена замена зуба на новый. Для выполнения ремонтных работ достаточно демонтировать крепежный элемент 7 удалить поврежденный зуб 5 из втулки 8, а на его место установить исправный зафиксировав его крепежным элементом. За счет достаточно низкой трудоемкости выполнения данной операции, работы можно проводить в полевых условиях не привлекая дополнительных сил и средств.

Выполнение лобовой поверхности зуба в виде клина с углом, меньшим угла трения материала о почву, уменьшает силы трения и тяговое сопротивление бороны, а крепление зуба и стойки шплинтовым соединением упрощает конструкцию.

Пружинные зубья рыхлят почву, разрушая корни, уничтожают нитевидные проростки сорняков, и заделывают гранулы во влажные слои почвы на заданную глубину.

Применение МФА благодаря совмещению двух технологических операций позволит снизить потребность в одном тракторе для внесения удобрений, сократить одного механизатора. Довсходовое и послеваходовое бороно-

вание особенно полезно с одновременным внесением удобрений. Боронованием до и после всходов можно уничтожить 60–70 % сорняков, и, в некоторых случаях исключить применение дорогостоящих гербицидов [56].

Совершенствование технического уровня машин [7] позволяет не только повысить производительность труда, сократить затраты, но и обеспечить, выполнение экологических требований [47, 56].

В результате поисковых исследований угол заточки рабочих органов пружинной бороны

Поскольку рабочие органы на рисунках 2.3 и 2.4 близки по новой конструкции, воспользуемся формулой для расчета силы сопротивления ножа [44].

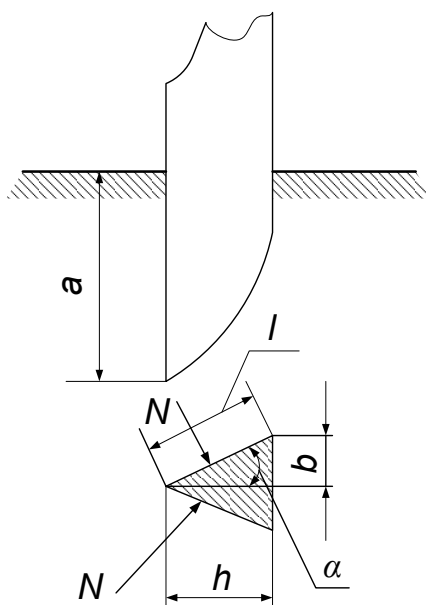


Рисунок 2.4 – Схема сил, действующих на черенковый нож

Если черенковый нож имеет симметричное треугольное сечение, то нормальное давление N на щеку l при вертикальном погружении ножа на глубину a (рисунок 2.4) равно [75]:

$$\bar{N} = pl\bar{a}, \quad (2.1)$$

где p – давление на единицу площади; a – глубина хода ножа; l – длина грани ножа;

Касательная сила T рассчитывается по формуле [74]:

$$\bar{T} = fpl\bar{a}, \quad (2.2)$$

Сила сопротивления равна сумме проекций этих сил на направление движения:

$$P = Nx + Tx,$$

$$P = 2pla \sin\alpha + 2fpla \cos\alpha,$$

или, так как $l \sin\alpha = b$, то:

$$P = 2pab (1 + fctg\alpha), \quad (2.3)$$

а так работа на протяжении x

$$Px = 2p (1 + fctg\alpha)abx.$$

или в единицу времени

$$Pv = 2p(1 + fctg\alpha) \frac{dV}{dt},$$

где V – объем почвы, разрезанной ножом в единицу времени.

Это формула аналогична с формулой для ножей соломорезки [94].

$$P = 2pa(b + fh), \quad (2.4)$$

где a – глубина хода ножа; b – длина основания сечения; l – длина граней ножа; α – угол наклона граней; h – высота сечения ножа.

Конструкции пружинного блока показана на рисунке 2.5. Считаем, нормальная сила сопротивления почвы P приложена к зубу по середине длины заглубления зуба в почву.

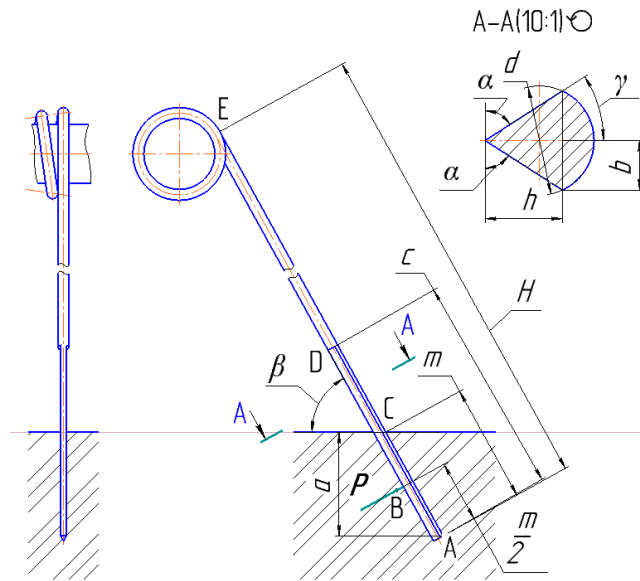


Рисунок 2.5 – Конструкция пружинного блока

На рисунке P – нормальная сила сопротивления почвы; a – глубина хода зуба; α – угол наклона граней; h – высота сечения зуба; d – диаметр сечения зуба; β – угол наклона зуба; m – длина заглубления зуба в почву; c – длина заточки зуба; H – общая длина зуба. Для данного пружинного блока конструктивно принимаем размеры: $a = 100$ мм; $d = 10$ мм; $c = 200$ мм; $H = 600$ мм; для расчета на прочность принимаем $\beta = 15^\circ \dots 90^\circ$; для расчета на прочность принимаем $\alpha = 10^\circ \dots 60^\circ$.

Нормальная сила сопротивления почвы определяется по формуле (2.4) с учетом наклона на угол β [8]:

$$P = 2pa(b + fh)\sin\beta, \quad (2.5)$$

где f – коэффициент трения зуба о почву, $f = 0,5$; b – длина основания сечения; p – удельное тяговое сопротивление, принимаем $p = 0,04$ Н/мм² [8, таблица 6].

Высота сечения зуба h

$$h = d \sin\gamma. \quad (2.5)$$

Длина основания сечения b

$$b = d \cos\gamma. \quad (2.5)$$

$$\gamma = 0,5(180^\circ - 2\alpha). \quad (2.7)$$

Для минимального угла заточки $\alpha = 10^\circ$ угол γ_1

$$\gamma_1 = 0,5(180^\circ - 2 \cdot 10^\circ) = 80^\circ.$$

$$h_1 = 10 \sin 80^\circ = 9,8 \text{ мм.}$$

$$b_1 = 10 \cos 80^\circ = 1,7 \text{ мм.}$$

Для максимального угла заточки $\alpha = 60^\circ$ угол γ_2

$$\gamma_2 = 0,5(180^\circ - 2 \cdot 60^\circ) = 30^\circ.$$

$$h_2 = 10 \sin 30^\circ = 5,0 \text{ мм.}$$

$$b_2 = 10 \cos 30^\circ = 8,7 \text{ мм.}$$

Плотность почвы переменна, поэтому возникает переменная (пульсирующая) нагрузка. По [8] в этом случае расчеты выполняются не по номинальным, а по расчетным нагрузкам.

$$P_p = K_d P, \quad (2.8)$$

где P_p – расчетная нагрузка; K_d – коэффициент динамичности, принимаем $K_d = 1,3$ [8].

При расчете зуба на прочность будем рассматривать его как одноконсольную балку с заделанным верхним концом и нагруженную силой P_p , приложенной в точке В.

Расчетная схема нагружения зуба при работе для удобства повернутая на угол 90° , показана на рисунке 2.6.

Изгибающий момент в сечении Е (рисунок 2.6)

$$M_E = P_p (H - 0,5m). \quad (2.9)$$

Изгибающий момент в сечении D (рисунок 2.6), с которого начинается заточка зуба

$$M_D = P_p (c - 0,5m). \quad (2.10)$$

Длина заглабления зуба в почву m

$$m = \frac{a}{\sin \beta}. \quad (2.11)$$

Для минимального угла наклона зуба $\beta = 15^\circ$

$$m_1 = \frac{100}{\sin 15^\circ} = 386,4 \text{ мм.}$$

Для максимального угла наклона зуба $\beta = 90^\circ$

$$m_2 = \frac{100}{\sin 90^\circ} = 100 \text{ мм.}$$

При расчете зуба на прочность будем рассматривать варианты сочетаний углов α и β , при котором значение расчетных изгибающих моментов будут максимальной. Результаты расчетов величин расчетных нагрузок и изгибающих моментов в точках E и D (рисунок 2.6) по формулам (2.5), (2.9), (2.10) и (2.11) приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчетов величин расчетных нагрузок и изгибающих моментов

Параметры	Варианты сочетаний углов							
	вариант 1		вариант 2		вариант 3		вариант 4	
	$\alpha = 10^\circ$	$\beta = 15^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\beta = 90^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\beta = 15^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\beta = 90^\circ$
Сила сопротивления P , Н	8,9		34,3		15,1		58,2	
Расчетная нагрузка P_p , Н	11,6		44,6		19,6		75,7	
Длина заглубления зуба t , мм	386,4		100		386,4		100	
Изгибающий момент M_E , Н·мм	4719		24525		7985		41649	
Изгибающий момент M_D , Н·мм	79		6689		133		11359	

Из таблицы 2.3 видно, что максимальные изгибающие моменты будут при угле наклона граней $\alpha = 60^\circ$ и угле наклона зуба $\beta = 90^\circ$.

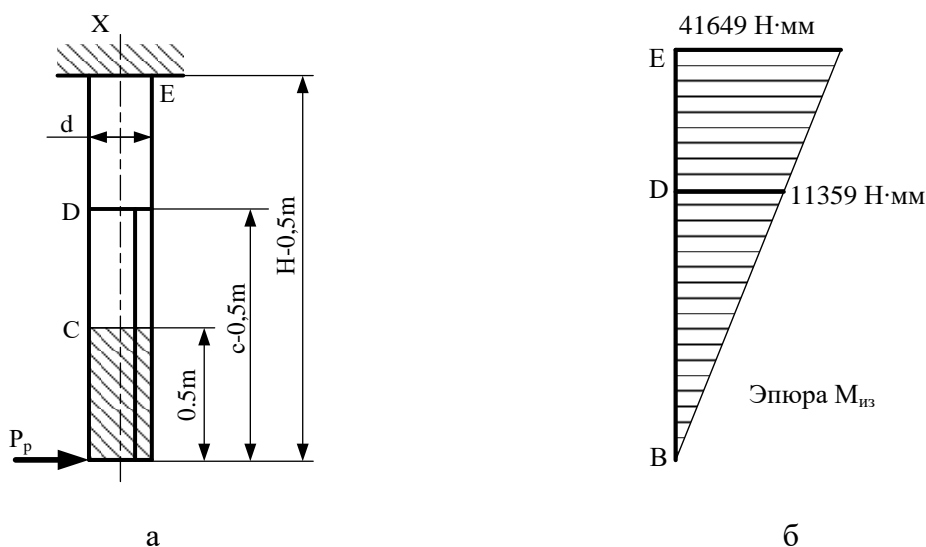


Рисунок 2.6 – Схема для определения нагрузок, действующих на зуб и эпюра изгибающих напряжений:
 а – схема для определения нагрузок; б – эпюра изгибающих напряжений

Условие прочности для сечения E имеет вид

$$\sigma = \frac{M_E}{W_E} \leq [\sigma], \quad (2.12)$$

где M_E – изгибающий момент в сечении E; W_E – момент сопротивления сечения E; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на изгиб, для материала зуба – стали 60С2 – $[\sigma] = 500$ МПа [8].

Сечение вала в опасной точке E представляет собой круг диаметром $d = 10$ мм. Момент сопротивления для такого сечения [8]

$$W_E = 0,1d^3. \quad (2.13)$$

$$W_E = 0,1 \cdot 10^3 = 100 \text{ мм}^3.$$

$$\sigma = \frac{41649}{100} = 416,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 416,5 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 500 \text{ МПа}.$$

Условие прочности в сечении E выполнено.

Условие прочности для сечения D имеет вид

$$\sigma = \frac{M_D x_{\max}}{I_D} \leq [\sigma], \quad (2.14)$$

где M_D – изгибающий момент в сечении D; I_D – момент инерции сечения D относительно оси Oх; x_{\max} – расстояние от оси Oх до наиболее удаленной точки сечения, для сечения D; $x_{\max} = h = 9,3$ мм; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на изгиб, для материала зуба – стали 60С2 – $[\sigma] = 500$ МПа [8].

Момент инерции сечения D относительно оси Oх

$$I_D = I_{D1} + I_{D2}, \quad (2.15)$$

где, I_{D1} – момент инерции треугольника в сечении D относительно оси Oх;
 I_{D2} – момент инерции сегмента в сечении D относительно оси Oх.

Сечение зуба в опасной точке D представляет собой равносторонний треугольник с сегментом (рисунок 2.7). Момент инерции для треугольника и сегмента [8] относительно их оснований – оси Oх

$$I_{D1} = \frac{2bh^3}{12}. \quad (2.16)$$

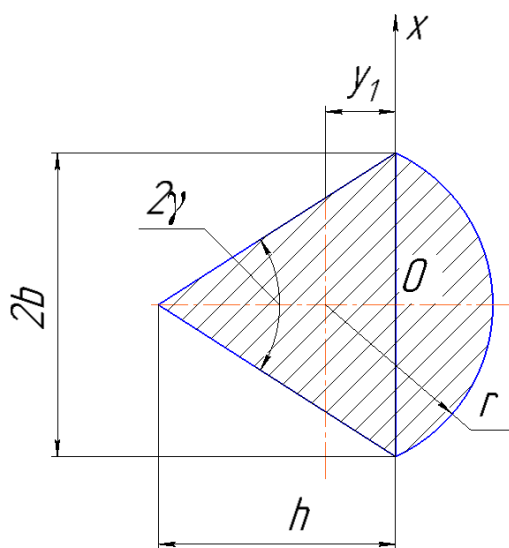


Рисунок 2.7 – Сечение зуба в опасной точке D

Момент инерции для сегмента [8] относительно оси Oх

$$I_{D2} = \pi r \frac{2\gamma^\circ}{180^\circ} \cdot \frac{r^3}{8} - \frac{r^4}{8} \sin 2\gamma \cos 2\gamma, \quad (2.17)$$

где r – радиус сегмента, $r = 0,5d = 0,5 \cdot 10 = 5$ мм.

$$I_{D1} = \frac{2 \cdot 3,6 \cdot 9,3^3}{12} = 482,6 \text{ мм}^4.$$

$$I_{D2} = 3,14 \cdot 5 \cdot \frac{2 \cdot 69^\circ}{180^\circ} \cdot \frac{5^3}{8} - \frac{5^4}{8} \sin(2 \cdot 69^\circ) \cos(2 \cdot 69^\circ) = 226,9 \text{ мм}^4.$$

$$I_D = 482,6 + 226,9 = 709,5 \text{ мм}^4.$$

$$\sigma = \frac{11359 \cdot 9,3}{709,5} = 148,9 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 500 \text{ МПа}.$$

Условие прочности в сечении D выполнено.

2.3 Взаимодействие клина зуба с почвой

Движение зубьев бороны противодействует сила сопротивления почвы, действующая в направлении, противоположном движению.

Рассмотрим взаимодействие клина зуба с почвой [57]

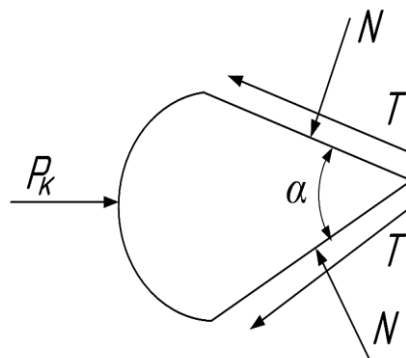


Рисунок 2.8 – Силы, действующие на клин

Силы, действующие на зуб можно разделить:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (2.18)$$

где P – общее усилие; P_1 – сопротивление при действии нормальной силы; P_2 – сопротивление при действии тангенциальной силы; P_3 – сопротивление при действии тангенциальной силы на боковой стороне.

Силы показаны на рисунке 2.8, где N представляет нормальные силы, а T – тангенциальные силы. Для клина, имеющего форму, показанную на рисунке 1, очевидно, что P_3 в уравнении 2.18 будет равно нулю. Если распознать простое поведение трения почва–металл касательные силы могут быть выражены в терминах нормальных сил, и трение определяется как источник касательных сил. Рассмотрим силы сопротивления (рисунок 2.9):

$$P = 2N \sin \frac{\alpha}{2} + 2\mu' \cos \frac{\alpha}{2} + N_1\mu', \quad (2.19)$$

где, α – угол клина; μ' – коэффициент трения скольжения; N – нормальное усилие, действующее на клин; N_1 – нормальное усилие на боковой поверхности.

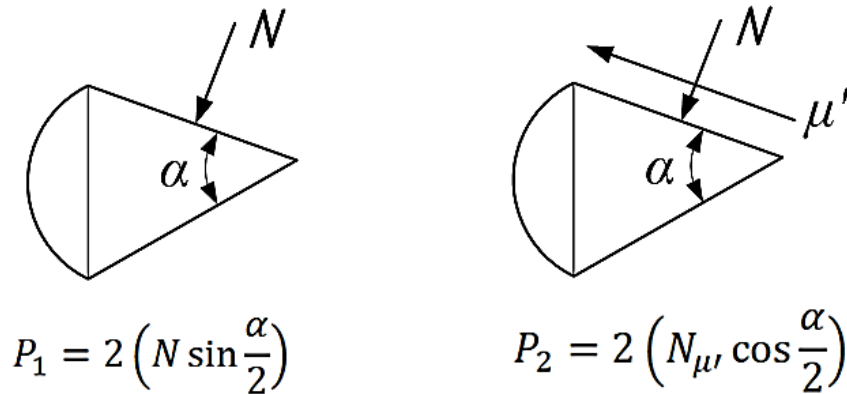


Рисунок 2.9 – Действие сил

Нормальные силы:

$$N = K_1 F_1, \quad (2.20)$$

где K_1 – удельное сопротивление деформации; F_1 – площадь клина

$$N_1 = K_2 F_2, \quad (2.21)$$

где K_2 – удельное давление почвы; F_2 – площадь боковой поверхности.

K_2 отличается от K_1 тем, что K_1 стремится к нулю при остановке движения зуба; K_2 , с другой стороны, продолжает давить на боковые стороны.

Тогда

$$P = 2K_1F_1 \sin \frac{\alpha}{2} + 2K_1F_1\mu' \cos \frac{\alpha}{2} + 2K_2F_2\mu', \quad (2.22)$$

Максимальная деформация:

$$L_{max} = \frac{S}{2 \cos\left(\frac{\alpha}{2} + d\right)}, \quad (2.23)$$

где S – ширина клина; d – угол трения почвы о материал зуба; α – угол клина; L_{max} – наибольшая деформация.

Деформация почвы вдоль клина будет изменяться от нуля на вершине до максимума, показанного в уравнении 2.23, так что среднюю деформацию почвы L_0 можно рассчитать по соотношению

$$L_0 = \frac{0 + L_{max}}{2} = \frac{S}{4 \cos\left(\frac{\alpha}{2} + d\right)}. \quad (2.24)$$

Удельное сопротивление и удельное давление обусловлены упругими и пластичными деформациями почвы

$$K_1 = K_{e1} + K_{p1}, \quad (2.25)$$

где K_{e1} – напряжение от упругой деформации; K_{p1} – напряжение от пластической деформации.

При этом:

$$K_{p1} = \frac{1}{L_0}. \quad (2.26)$$

С этой минимальной деформацией связана постоянная K_0 , заданная

$$K_0 = \frac{1}{L_{00}}, \quad (2.27)$$

где L_{00} – диаметр частиц почвы; K_0 – максимальное напряжение, вызывающее деформацию.

Уравнение (2.24) было достаточно точным до тех пор, пока L_0 было больше L_{00} . Чтобы преодолеть ограничение, наложенное на уравнение 2.24, использован метод равной площади для оценки формы кривых, в результате:

$$K_{p1} = \frac{B}{2L_0} \left[K_0 L_{00} + \ln \frac{2L_0}{L_{00}} \right], \quad (2.28)$$

где B – коэффициент пластичности.

Затем

$$K_{e1} = K_0 - K_{p1}. \quad (2.29)$$

Используя методику равной площади получим:

$$K_{e1} = \frac{A}{2L_0} \left[K_0 (2L_0 - L_{00}) - \ln \frac{2L_0}{L_{00}} \right], \quad (2.30)$$

где A – коэффициент упругости.

Характер разрушения почвы клином зубовой бороны показан на рисунке 2.10 [115]

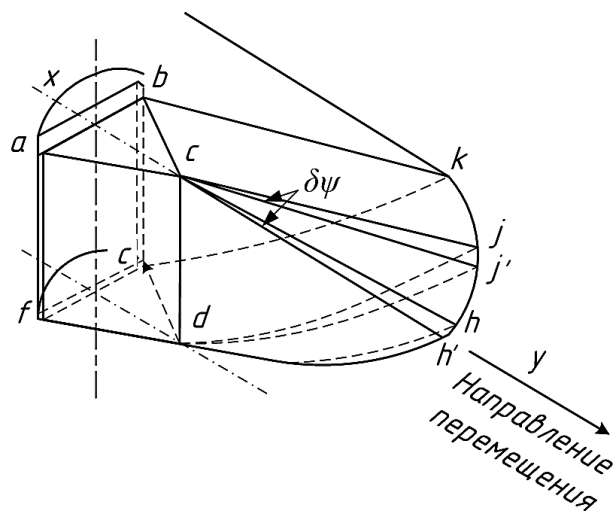


Рисунок 2.10 – Схема разрушения почвы

Предполагалось [115], что на клин действует восемь сил (всего 10, поскольку клин имеет две вертикальные стороны). На рисунке 2.11 показано направление.

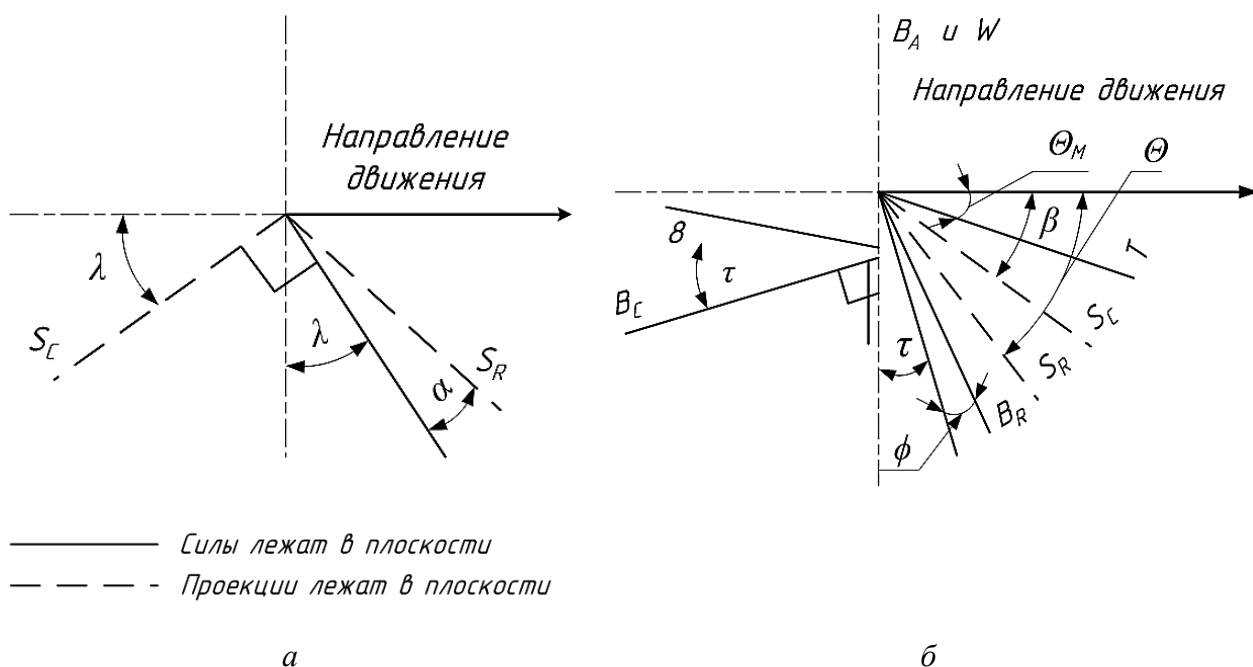


Рисунок 2.11 – Ориентация сил, действующих на клин:
 а - в горизонтальной плоскости; б - в вертикальной плоскости.
 (По Пейну, Jour. Agr. Engin. Res.)

Составляющие сил в направлении движения можно определить по рисунку 2.12.

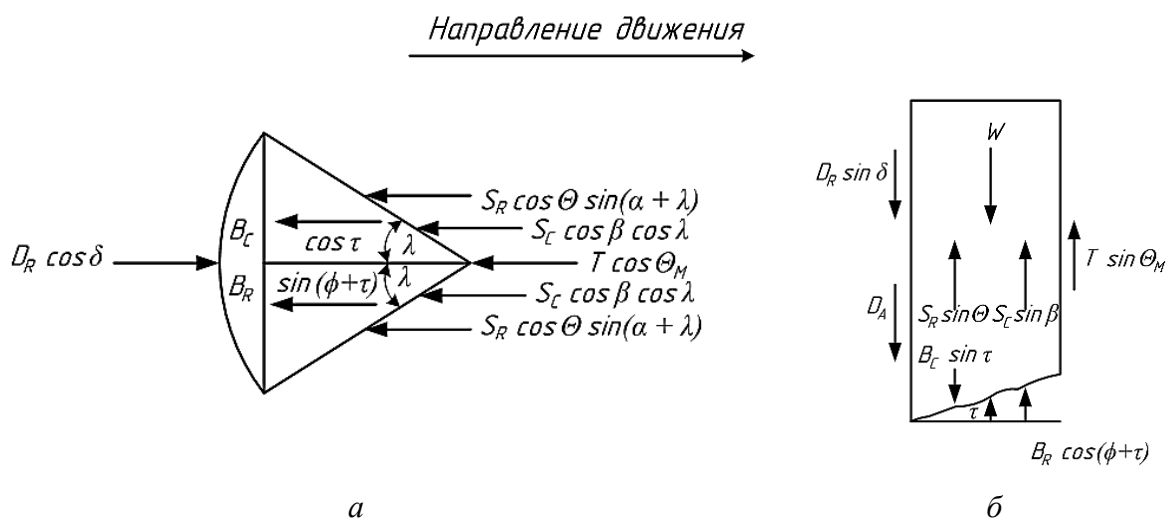


Рисунок 2.12 – Местоположение и направление сил, действующих на клин:
 а – горизонтальная плоскость; б – вертикальная плоскость

Равновесие сил:

$$D_R \cos \delta = B_C \cos \tau + B_R \sin(\phi + \tau) + T \cos \Theta_M + 2[S_R \cos \Theta \sin(\alpha + \lambda) + S_C \cos \beta \cos \lambda], \quad (2.31)$$

У клина две вертикальные стороны, и вертикальные силы можно уравновесить так, что из рисунка 2.12:

$$W + D_R \sin \delta + D_A + B_C \sin \tau = T \sin \Theta_M + B_R \cos(\phi + \tau) + 2[S_R \sin \Theta + S_C \sin \beta], \quad (2.32)$$

Тогда

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} + \delta \right) = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} - \delta, \quad (2.33)$$

где τ – угол между горизонтальной плоскостью и поверхностью разрушения дна; ϕ – угол внутреннего трения почвы; δ – угол трения почвы о металл.

Угол в горизонтальной плоскости

$$\tan \lambda = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)}{\cos \delta}, \quad (2.34)$$

где λ – угол между направлениями движения и сторонами клина в горизонтальной плоскости.

Сила D_A :

$$D_A = Cal, \quad (2.35)$$

где l – глубина работы заглабления зуба; a – ширина; Ca – сцепление почвы с металлом.

$$B_C = \frac{Ca}{2} \frac{a}{2 \tan \lambda \cos \tau} = \frac{Ca^2}{4 \tan \lambda \cos \tau}, \quad (2.36)$$

где C – сцепление грунта при разрушении.

$$S_C = \frac{C_r a}{2 \sin \lambda} \left[l - \frac{a \tan \tau}{4 \tan \lambda} \right], \quad (2.37)$$

где l – глубина; a – ширина; C_r – остаточное сцепление почвы.

Вес клина почвы:

$$W = \frac{a^2 \gamma}{4 \tan \lambda} \left[l - \frac{a \tan \tau}{4 \tan \lambda} \right], \quad (2.38)$$

где W – общий вес клина; γ – объемная плотность почвы.

На рисунке 2.13 показаны силы, действующие на клин, и их расположение.

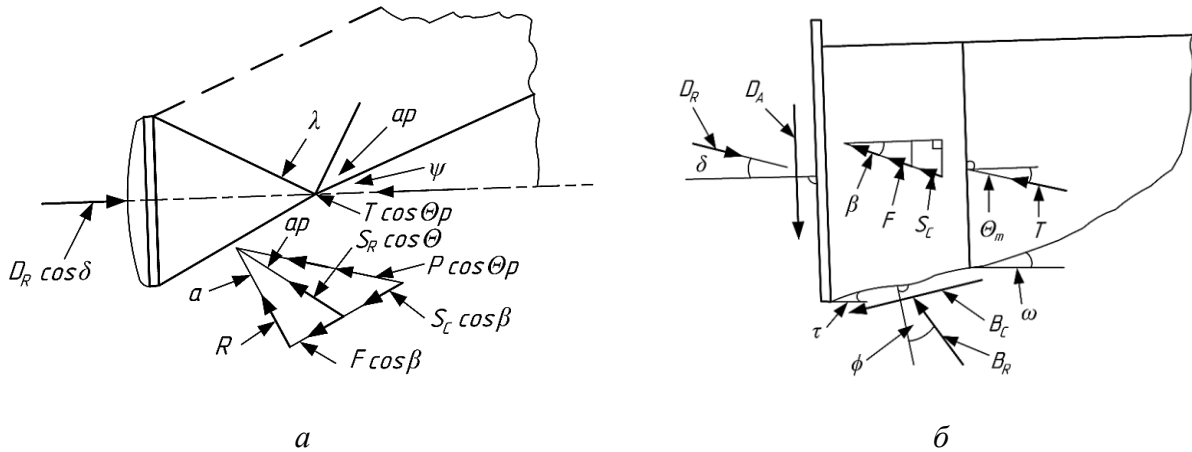


Рисунок 2.13 – Силы и их расположение при действии на клин грунта, образованный узким вертикальным инструментом:
 a – горизонтальная плоскость; b – вертикальная плоскость

На рисунке 2.14 показаны силы со стороны клина в перспективе, а также на поперечном сечении крыла.

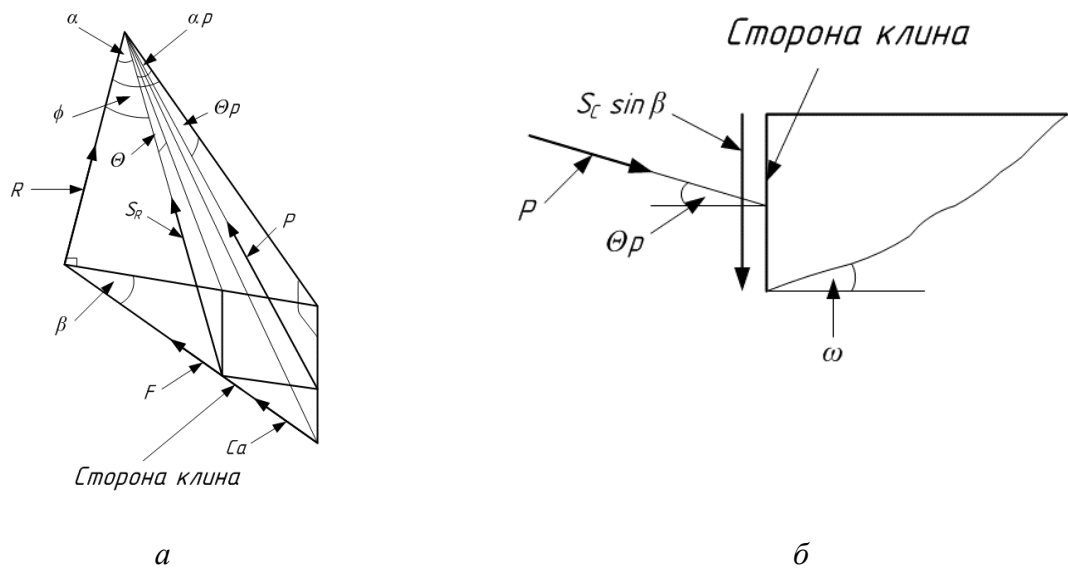


Рисунок 2.14 – Силы, действующие со стороны клина грунта:
 a – в перспективе; b – на поперечном сечении.

Критические значения угла заточки α найдем из условий прочности зуба на изгиб [8]:

$$\sigma = \frac{M_{\text{изг.}}}{W_x} \leq [\sigma], \quad (2.39)$$

где σ – рабочее напряжение; $M_{\text{изг.}}$ – момент изгиба; W_x – осевой момент сопротивления относительно нейтральной оси x , проходящей через центр масс сечения.

Условия наименьшего сопротивления почвы.

Момент изгиба

$$M_{\text{изг.}} = F_{\text{сопр}} \cdot h, \quad (2.40)$$

где, $h = \frac{l}{2}$ – половина длины зуба; $F_{\text{сопр}}$ – сила сопротивления почвы.

Осевой момент сопротивления

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\text{max}}} \quad (2.41)$$

где I_x – момент инерции сечения относительно оси x до наиболее удаленной от оси точки сечения (точка A).

Найдем положение центра масс сечения [8].

Сечение состоит из двух фигур: 1 – ΔABD и сегмент BDK . Очевидно, что центр масс сечения находится на оси симметрии AK . Выберем ось y , с началом в точке A .

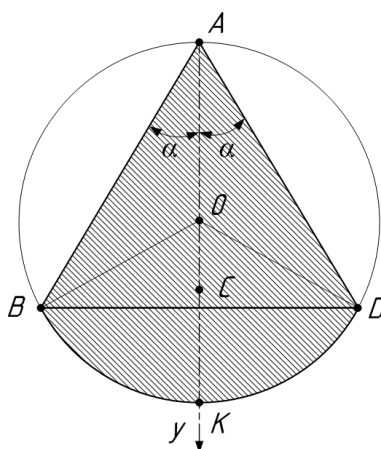


Рисунок 2.16 – Сечение зуба

$$y_c = \frac{S_1 \cdot y_1 + S_2 \cdot y_2}{S_1 + S_2} = \frac{S_1 \cdot y_1 + S_2 \cdot y_2}{S_{\text{сеч.}}}, \quad (2.42)$$

Площадь сечения $S_{\text{сеч.}} = S_1 + S_2$.

Находим площадь ΔABD .

$$S_1 = R \cdot \sin 2\alpha \cdot (R + R \cos 2\alpha) = R^2 \sin 2\alpha \cdot (1 + \cos 2\alpha), \quad (2.43)$$

Находим площадь сегмента.

$$S_2 = R^2 \cdot \alpha - \frac{1}{2} \cdot 2R \cdot \sin 2\alpha \cdot R \cdot \cos 2\alpha = 2R^2 \cdot \alpha - \frac{R^2}{2} \cdot \sin 4\alpha, \quad (2.44)$$

Находим координаты центров масс Δ и сегмента:

$$y_1 = \frac{2}{3} \cdot (R + R \cdot \cos 2\alpha) = \frac{2}{3} R \cdot (1 + \cos 2\alpha), \quad (2.45)$$

$$y_2 = R + \frac{1}{3} R \cdot \frac{\sin 2\alpha}{\alpha} = R \cdot \left(1 + \frac{\sin 2\alpha}{3\alpha}\right).$$

$$\begin{aligned} y_c &= \frac{\sin 2\alpha(1+\cos 2\alpha) \cdot \frac{2}{3} R(1+\cos 2\alpha) + (2\alpha - 0,5 \sin 4\alpha) \cdot R \left(1 + \frac{\sin 2\alpha}{3\alpha}\right)}{\sin 2\alpha(1+\cos 2\alpha) + (2\alpha - 0,5 \sin 4\alpha)} = \\ &= R \cdot \frac{\frac{2}{3} \sin 2\alpha(1+\cos 2\alpha) + (2\alpha - 0,5 \sin 4\alpha) \cdot \left(1 + \frac{\sin 2\alpha}{3\alpha}\right)}{\sin 2\alpha(1+\cos 2\alpha) + 2\alpha - 0,5 \sin 4\alpha}. \end{aligned}$$

Момент инерции сечения состоящего из Δ и сегмента $I_x = I_{x_1} + I_{x_2}$.

$$I_{x_1} = 482,6 \text{ мм}^4, \quad I_{x_2} = 226,9 \text{ мм}^4, \quad I_x = 709,5 \text{ мм}^4.$$

$$M_{\text{изг.}} = 11359 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Тогда условие прочности при изгибе

$$\sigma = \frac{M_{\text{изг.}}}{W_x} = \frac{M_{\text{изг.}} \cdot y_c}{I_x} \leq [\sigma], \quad (2.46)$$

в явном виде

$$\sigma = \frac{11359 \cdot R \left[\frac{2}{3} \sin 2\alpha(1+\cos 2\alpha)^2 + (2\alpha - 0,5 \sin 4\alpha) \cdot \left(1 + \frac{\sin 2\alpha}{3\alpha}\right) \right]}{[\sin 2\alpha(1+\cos 2\alpha) + 2\alpha - 0,5 \sin 4\alpha] \cdot 709,5} \leq 500, \quad (2.47)$$

Из решения этого неравенства следует, что значение угла $\alpha \geq 19,5^\circ$ и $\alpha_1 = 20^\circ$.

Для обеспечения наименьшего сопротивления движения зуба в почве принимаем значение угла заточки $\alpha = 30^\circ$.

Таким образом, интервал зон угла заточки составляет $20^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$.

Так как на работу пружинного зуба оказывают влияние множество факторов, определить рабочие параметры не представляется возможным. Получение параметров пружинного зуба будет проводиться экспериментальным методом.

2.4 Математическая модель оптимизации параметров и режимов работы МФА

Применение в сельском хозяйстве МФА является важным фактором повышения конкурентоспособности продукции растениеводства. Подобные машины уже нашли применение в нашей стране [107] и за рубежом [115]. Решение проблемы совмещения технологических операций за один проход агрегата по полю позволяет повысить производительность труда и снизить затраты. Что является актуальным [4, 7, 9]. В настоящем разделе на основании полученных результатов выполненных исследований обоснованы оптимальные параметры и режимы работы предлагаемого МФА по критерию оптимизации минимум общих затрат на выполнение процесса довсходового и послеवсходового боронования посевов кукурузы с внесением удобрений.

Современные методы математического моделирования и оптимального проектирования сложных производственных процессов широко применяются в науке для технико-организационного обеспечения производства продукции растениеводства с наименьшими затратами соответствующих ресурсов [2, 9, 21, 60, 61]. Под техническим обеспечением понимают обоснование для соответствующих условий эксплуатации оптимальных параметров и режимов работы как простых машинно-тракторных агрегатов, так и многофункциональных. В качестве критерия оптимизации при моделиро-

вании предлагаемого нами агрегата принят минимум I_3 издержек эксплуатационных работ на выполнение процесса боронования почвы с одновременным внесением минеральных удобрений:

$$I_3 \rightarrow \min, \quad (2.46)$$

где I_3 – издержки эксплуатационных работ агрегата, руб./га.

В результате решения задачи необходимо определить следующие параметры агрегата: мощность двигателя трактора – N_e , емкость бункера V_6 для удобрений, ширину захвата борона B_p , рабочую скорость V_p агрегата, длину гона L_p , коэффициент использования рабочего времени τ агрегата, его производительность W за 1 ч сменного времени, издержки эксплуатационных работ агрегата U_3 и издержки эксплуатационных работ I_3 . При минимальном значении I_3 будут определены значения всех остальных параметров.

Была получена математическая модель рабочего процесса МФА [109] по критерию оптимизации минимум издержек эксплуатационных работ I_3 .

$$\left\{ \begin{array}{l} N_e = \frac{K_{M0} \cdot B_p \cdot V_p [1 + 0,06(V_p - 4) + 2,4V_6]}{3,24}; \\ C_B^T = 38,7 \cdot N_e; \\ \tau = 13,6L_p / (13,6L_p + 0,2 + 0,18B_p + 0,00005B_p/V_6); \\ W = f(V_p, B_p, \tau); \\ I_3 = \left(0,2C_B^T + 250 + \frac{42,83B_p}{W} + \frac{1}{13,7} \cdot 10^{-9}N_e^2 + \frac{4,22}{N_e} + 4,22 \right) \cdot 10^{-6} \cdot N_e + \exp(0,76 \ln N_e - 2,66) + \exp - \\ - 8,71 \cdot 10^{-6} \cdot N_e^2 + 0,383 \ln N_e + 6,16 \cdot 10^{-6} \cdot N_e; \\ K = (1,27C_B^T + 139,52B_p/W); \\ K_{M0} = f(\alpha, \beta, V_p); \\ I_3 \rightarrow \min. \end{array} \right.$$

где N_e – мощность двигателя трактора, кВт; K_{M0} – коэффициент удельного сопротивления МФА, кН/м; B_p – ширина захвата агрегата, м; V – скорость движения агрегата, км/ч; V_6 – емкость бункера для удобрений, м³; C_B^T – балансовая стоимость трактора, руб.; τ – коэффициент использования рабочего времени смены; L_p – длина гона, м; I_3 – издержки эксплуатации на процесс работы агрегата, руб./га; K – капиталовложения, руб./га.

Для выполнения операций математической модели был составлен алгоритм решения на ЭВМ (рисунке 2.17).

В результате решения задачи необходимо определить следующие параметры многофункционального агрегата: мощность двигателя трактора – N_e , емкость бункера V_6 для минеральных удобрений, ширину захвата бороны B_p , рабочую скорость V_p агрегата, длину гона L_p , коэффициент использования рабочего времени τ агрегата, его производительность W за 1 ч сменного времени, удельные эксплуатационные U_3 и издержки эксплуатационных работ I_3 . При минимальном значении издержек эксплуатационных работ I_3 будут определены значения всех остальных параметров МФА.

В блок-схему (рисунок 2.17) включено 10 операторов: 1-й оператор – ввод исходных данных в программу; 2-й арифметический оператор рассчитывает мощность двигателя применяемого трактора N_e ; 3-й оператор – рассчитывает балансовую стоимость трактора C_B^T , тыс. руб; 4-й арифметический оператор – коэффициент использования рабочего времени смены τ ; 5-й оператор рассчитывает производительность за 1 ч сменного времени W ; 6-й арифметический оператор рассчитывает издержки эксплуатации на процесс работы агрегата I_3 , руб./га; в 7-м арифметическом операторе определяется величина капиталовложений K в средства механизации для выполнения заданного технологического процесса; в 8-й арифметический оператор рассчитывает критерий оптимизации C по минимальному значению которого находят оптимальные параметры МФА и режим его работы; 9-й – логиче-

ский; 10-й – вывод на печать результатов решения задачи. Все расшифровки символов параметров на рисунке 2.17 даны ниже. Кроме этого: C_B^T – балансовая стоимость трактора, тыс. руб.; K_{Mo} – коэффициент удельного сопротивления предлагаемого агрегата при рабочей скорости движения 4 км/ч, кН/м.

В блок-схеме шестой арифметический оператор проводит расчет издержек эксплуатации (I_3) на выполнение работ. Эти затраты включают амортизационные отчисления, отчисления на ремонт, на зарплату, на топливо-смазочные материалы (ТСМ) и прочие. В формуле для расчета I_3 (блок 6) нами выведены зависимости удельного расхода топлива (кг/ч) на работу агрегата G_p (рисунок 4.16), на холостые проходы G_x (рисунок 4.17) и на остановки с работающим двигателем G_o в течение смены (рисунок 4.18).

Также нами получен методом анализа времени смены коэффициент τ (блок 4):

$$\tau = \frac{13,6L_p}{\left(13,6L_p + 0,2 + 0,18V_p + 0,008B_p \frac{V_p}{V_6}\right)} \quad (2.47)$$

В зависимости τ (2.20) учтены все условия работы МФА: длина гона L_p , емкость бункера для удобрений V_6 , ширина захвата агрегата B_p и рабочая скорость движения V_p . В главе 4 построены также зависимости производительности агрегата W от условий эксплуатации L_p , B_p , V_6 и режима работы V_p .

Десятый оператор логический. В нем проверяется использование в расчетах всех данных исходной информации, представленных в блоке 1. После проверки 9–1 оператор передает управление 10-му, для распечатки готового отчета, и затем останавливает печать.

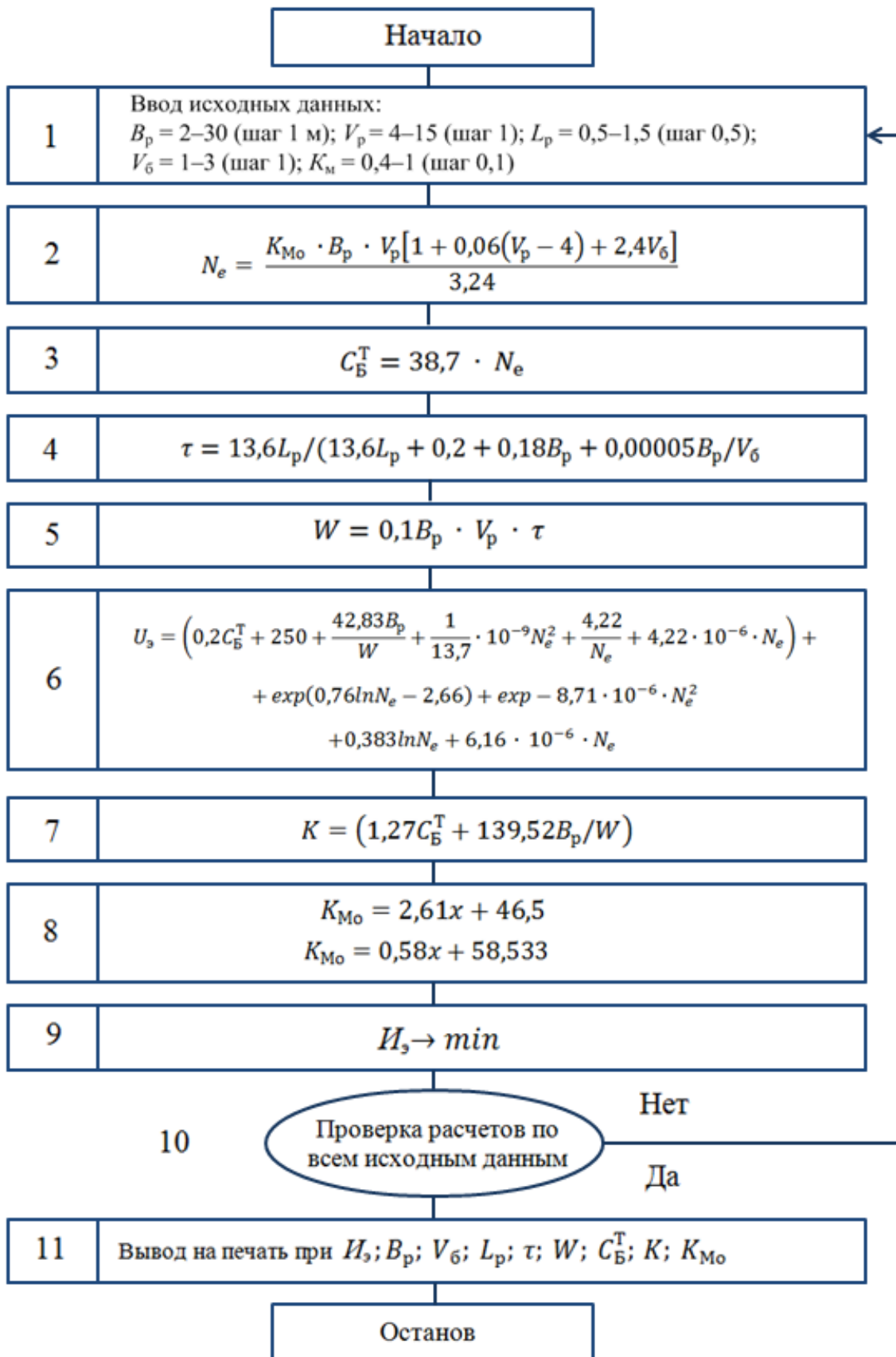


Рисунок 2.17 – Блок-схема алгоритма оптимизации

2.5 Выводы по главе

На основании исследований по теоретическому обоснованию МФА сделаны следующие выводы.

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема МФА с одновременным внесением твердых минеральных удобрений. Схема агрегата разработана в соответствии с патентами на изобретение №2739803, №2771947 и полезную моделью № 188549.

2. Обоснована конструкция рыхлящего зуба пружинной бороны для до- и послеваходового боронования. Величина угла заточки находится в интервале $20^{\circ} - 30^{\circ}$.

3. Разработана математическая модель и алгоритм оптимизации параметров МФА и режимов его работы.

4. Обоснованы оптимальные режимные и конструктивные параметры МФА: ширина захвата – 30 м, скорость движения – 8 км/ч, емкость двух бункеров для удобрений – 3 м³. На выполнение процесса боронования с внесением минеральных удобрений требуемая мощность двигателя трактора составила 98 кВт, коэффициент использования сменного времени – 0,86, производительность агрегата – 24,0 га/ч.

3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа и методика исследования процесса боронования и внесения удобрений в лабораторно-полевых условиях

Программа лабораторно-полевых исследований предусматривала:

1. Изучение приборной базы и методики для планируемых исследований и обработки полученных экспериментальных данных.
2. Исследование почвенного агрофона для проведения лабораторно-полевых исследований.
3. Проведение лабораторно-полевых исследований МФА для боронования почвы с внесением минеральных удобрений.
4. Изучение скорости воздушного потока и движения минеральных удобрений в транспортирующем канале.
5. Определение коэффициентов трения, скольжения и выталкивания твердых минеральных удобрений (аммиачной селитры).
6. Выполнение динамометрирования МФА.
7. Определение величины износа зубьев пружинной бороны.
8. Методом планирования трехфакторного эксперимента оптимизация параметров зуба бороны.

Испытания агрегата проводились на поле № 4 полевого севооборота на опытном поле Кубанского ГАУ. Предшественник – пахота стерни озимой пшеницы; вид планируемой работы – боронование почвы на глубину 4 см разработанным агрегатом, состоящим из секции пружинной бороны ЗБП и приспособления для внесения минеральных удобрений в виде бункера объемом 1 м³, изготовленного по патенту Кубанского ГАУ (патент РФ №2739803). Бункер был навешен на переднюю гидронавеску трактора МТЗ-80. Для одновременного с обработкой почвы внесения минеральных удобрений последние пневмотранспортом подавались к секции пружинной бороны по четырем полиэтиленовым тукопроводам.

Измерение твердости почвы проводились по ГОСТ 20915-2011 [32]. Для этого использовался измеритель SC 900 (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Прибор SC 900

Прибор позволяет выполнять измерения твердости почвы на различных глубинах. Для выполнения измерений оператор устанавливает наконечником с конусом в участок поля, где проводятся замеры. При нажатии, величина уплотнения почвы будет пропорциональна сопротивлению проникновения конуса. Для измерения глубины прибор оборудован ультразвуковым датчиком глубины. SC 900 позволяет анализировать твердость почвы на разной глубине для обеспечения оптимальной обработки сельскохозяйственных культур.

Образцы почвы, взятые на поле, загружали в специальную тару (рисунок 3.2). После взятия образцов тара помещается в сушильный шкаф (рисунок 3.3).

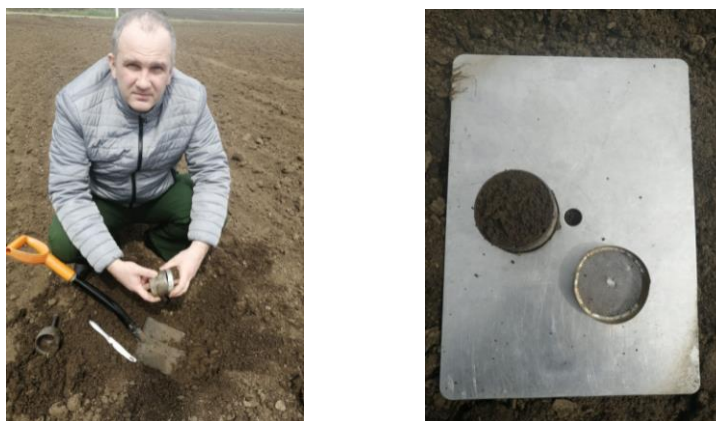


Рисунок 3.2 – Тара для проб



Рисунок 3.3 – Лаборатория с сушильными шкафами

Для измерения массы образцов использовались весы MASSA-K BK-300.1 (рисунок 3.4). Весы позволяют определять массу веществ с высокой точностью.



Рисунок 3.4 – Весы

Почвенный бур АМ-16 (рисунок 3.5) применялся с целью отбора проб почвы с определенной глубины.

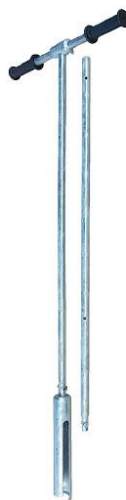
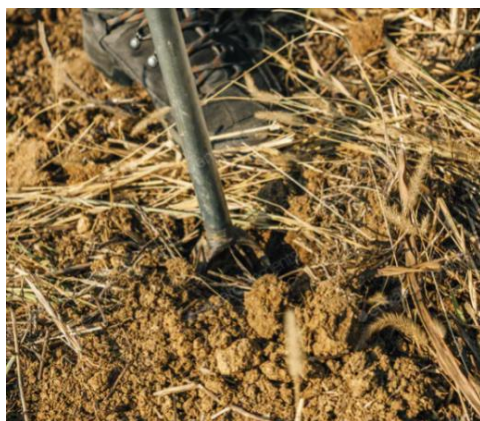


Рисунок 3.5 – Бур АМ-16



а



б

Рисунок 3.6 – Экспериментальные исследования почвы:
а – заглубление бура; б – сбор пробу

Набор сит диаметром 0,25 – 10 мм применялся с целью анализа почвы по структуре и агрегатному составу (рисунок 3.7).

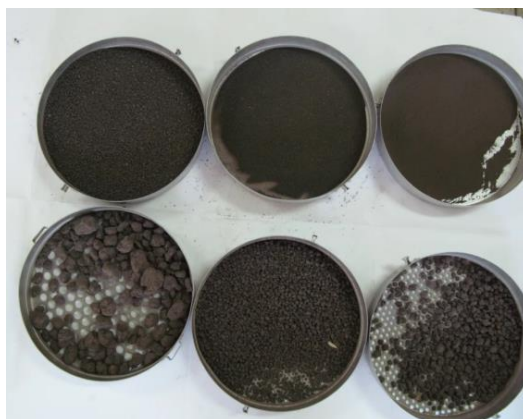


Рисунок 3.7 – Сита

Бортовой компьютер трактора СКРТ ЛАЙТ 31 GPS (рисунок 3.8) применялся для контроля параметров и режимов работы трактора.

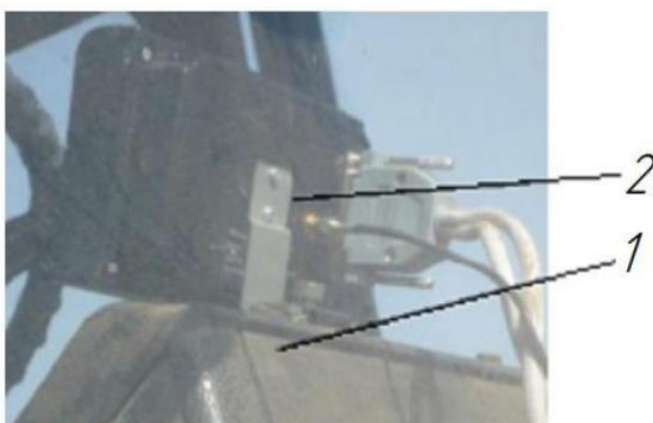


Рисунок 3.8 –Терминал: 1 – панель трактора; 2 – терминал

Замер расхода топлива производился датчиком ДРТ-5Т (рисунок 3.9).

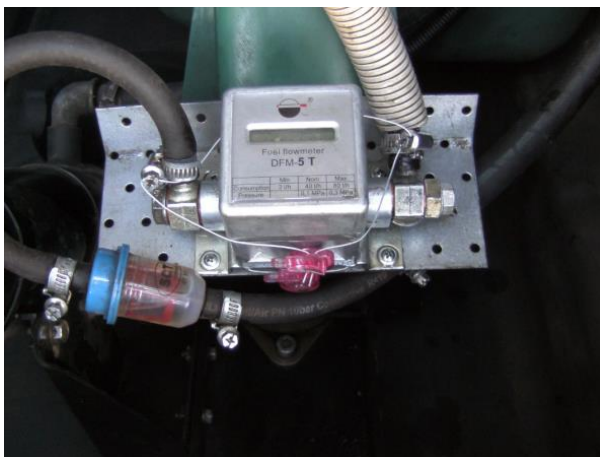


Рисунок 3.9 – Датчик, установленный на двигателе

3.2 Методика определения коэффициентов трения скольжения, коэффициента витания аммиачных твердых минеральных удобрений в транспортирующем канале, скорости воздуха и удобрений

В процессе выполнения диссертационного исследования на этапе определения условий проведения эксперимента было необходимо определить физико-механические свойства используемого удобрения, в качестве которого выбрали аммиачную селитру. К определяемым физико-механическим свойствам относятся: плотность, объемный вес, коэффициент трения скольжения и коэффициент витания.



Рисунок 3.10 – Внешний вид оборудования для определения плотности

Для определения плотности и объемного веса использовали весы MASSA-K BK-300.1 (рисунок 3.10) и мерный стакан.

Геометрические параметры используемого удобрения имеют значительную вариацию. Исследования проводились в трехкратной повторности, а при интерпретации полученных результатов рассчитывали средневзвешенное значение определяемого параметра.

Для определения коэффициента трения скольжения использовали прибор конструкции академика В. А. Желиговского (рисунок 3.11).

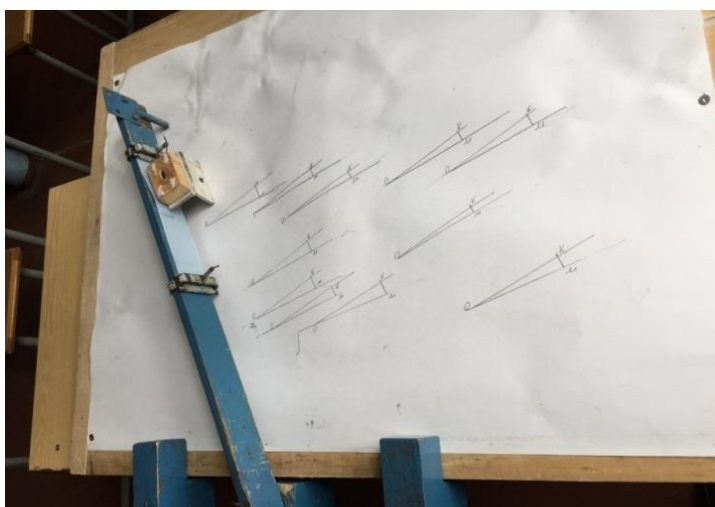


Рисунок 3.11 – Внешний вид прибора конструкции академика В. А. Желиговского

Работа прибора конструкции академика В. А. Желиговского основана на определении угла между нормалью к опорной поверхности и лучом, определяющим направление равнодействующей сил при перемещении каретки. Этот угол равен углу трения скольжения, величина которого будет характеризоваться катетом КМ.

Для определения коэффициента витания использовали парусный классификатор К-293 (рисунок 3.12) и весы той же марки. При определении коэффициента витания изначально определялся диапазон скоростей, в начале которого будет выдуваться не более 2–3 % исследуемого материала, а в конце уже весь материал. Полученный диапазон делился на десять равных интервалов. В процессе определения коэффициента витания устанавливалась

минимальная скорость, при которой через парусный классификатор пропущалась взвешенная навеска исследуемого материала. Оставшуюся после опыта часть навески повторно взвешивали и определяли массу выдуваемого материала. Затем увеличивали скорость и засыпали оставшуюся навеску и т. д.



Рисунок 3.12 – Внешний вид оборудования для определения коэффициента витания

Результаты проведенных исследований по определению физико-механических свойств используемых удобрений представлены в таблицах 4.1 и 4.2. Плотность исследуемой аммиачной селитры и объемный вес приведены в 4-й главе.

3.3 Методика планирования трехфакторного эксперимента по оптимизации параметров зуба пружинной бороны

При планировании эксперимента изучали влияние следующих трех факторов, полученных в результате выполненных однофакторных опытов, а также их фиксированных значений на оптимальных уровнях на тяговое усилие сопротивления агрегата: угол наклона (α) и заточки зуба (β), град; скорость агрегата (V), км/ч.

Так как иные параметры не являются определяющими для снижения

тягового усилия, использовать их в качестве управляемых факторов нецелесообразно.

Использован симметричный композиционный план Вк, звездные точки которого равны ± 1 (таблица 3.1), (таблица 3.2) [2, 69].

Таблица 3.1 – Факторы (Ф), кодированное обозначение (К), интервалы варьирования и их уровни (У).

Ф	К	И	У		
			-1	0	+1
Угол наклона зуба (α), град	x_1	30	30	60	90
Угол заточки зуба (β), град	x_2	10	10	20	30
Скорость агрегата (V), км/ч	x_3	5	5	10	15

Угол наклона рабочих органов регулировали путем проворачивания грядиля, а замеряли с помощью цифрового угломера. Угол заточки регулировали заменой рабочих органов с соответствующим углом. Скорость движения определяли, измеряя секундомером время движения агрегата на определенном расстоянии, отмеченном вешками.

Факторы были определены в результате предварительно проведенных однофакторных опытов, а также их фиксированных значений на оптимальных уровнях по удельному тяговому сопротивлению зубопружинной бороны. Управляемые факторы (таблица 3.1) оказывают, существенное влияние на удельное тяговое сопротивление модернизированной согласно патенту на полезную модель зубопружинной бороны. Другие ее параметры, кроме ширины захвата агрегата, не оказывают влияние на величину удельного тягового сопротивления бороны.

Верхний и нижний уровни факторов приняты также с учетом качества работы бороны. Первый фактор угол наклона P зуба бороны регулировали при проведении опыта путем проворачивания грядиля с пружинными зубьями, жестко закрепленными на нем. Величину угла замеряли цифровым угломером. Угол у заточки зуба устанавливали заменой зубьев на грядиле с соот-

ветствующим углом по плану эксперимента. Рабочую скорость V движения агрегата устанавливали с помощью коробки перемены передач трактора, количеством подаваемого топлива и уточняли, измеряя секундомером время движения агрегата на расстоянии 50 м при направлении движения «туда» и «обратно». Поделив расстояние на время, получали скорость движения.

Матрицей планирования трехфакторного эксперимента (таблица 3.2) предусмотрено 14 опытов в трехкратной повторности с различными сочетаниями натуральных значений переменных и значениями функции отклика – удельного тягового сопротивления зубопружинной бороны (Н/м).

Матрица планирования трех факторного эксперимента приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица планирования эксперимента

Кодированные значения			Натуральные значения			Y, Н/м
			α ,град	β ,град	V, км/ч	
X ₁	X ₂	X ₃				
+1	+1	+1	90	30	15	394
-1	+1	+1	30	30	15	459
+1	-1	+1	90	10	15	452
-1	-1	+1	30	10	15	454
+1	+1	-1	90	30	5	455
-1	+1	-1	30	30	5	445
+1	-1	-1	90	10	5	456
-1	-1	-1	30	10	5	383
+1	0	0	90	20	10	436
-1	0	0	30	20	10	432
0	+1	0	60	30	10	436
0	-1	0	60	10	10	434
0	0	+1	60	20	15	436
0	0	-1	60	20	5	431

Фото замеров глубины обработки почвы агрегатом показаны на рисунке 3.3



Рисунок 3.13 – Замеры глубины обработки почвы агрегатом МФА:
а – общий вид экспериментальной установки;
б – замеры глубины обработки



Рисунок 3.14 – Замеры профиля поля (а) и профиля дна борозды (б) после прохода МФА

3.4 Методика динамометрирования МФА

Мировые цены на дизельное топливо для выполнения сельскохозяйственных работ повышаются. В настоящее время актуальны энерго- и ресурсосберегающие технологии [16, 78]. Возрастает роль энергетической оценки машин, с оптимальным балансом мощности тракторного агрегата и минимальном расходе топлива на единицу возделываемой площади или на единицу выпускаемой продукции. Методика проведения измерений соответствова-

ла требованиям ГОСТ 34631-2019 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки». Показатели энергетической оценки определяли по результатам измерений, полученных при испытаниях полевой экспериментальной установки (рисунок 3.15). На каждом режиме работы сельскохозяйственной машины или агрегата должны быть выполнены не менее четырех измерений каждой величины, продолжительностью не менее 20 с.

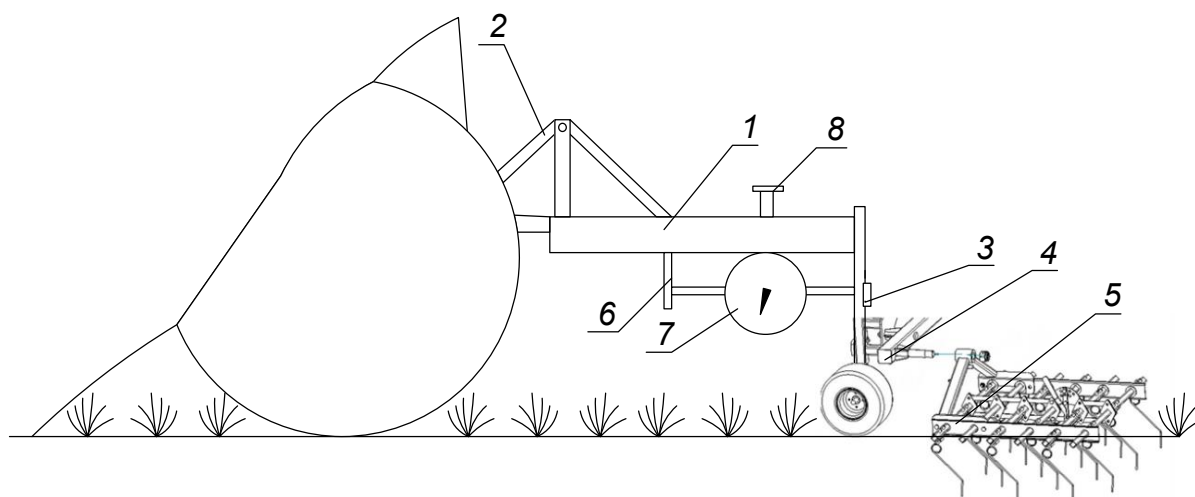


Рисунок 3.15 – Схема технологической установки для замера сопротивления рабочих органов:

- 1 – динамометрическая рамка; 2 – гидронавеска трактора; 3 – шарнирное звено;
4 – кронштейн; 5 – секция бороны; 6 – кронштейн; 7 – динамометр;
8 – видеочкамера

При определении показателей энергетической оценки навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин измеряют время; тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины при выполнении технологических операций; длину пути, пройденного сельскохозяйственной машиной за время измерения.

Выполнялись измерения силы сопротивления блок-секции зубопружинной бороны при обработке почвы [113] (рисунок 3.16).

Установку была монтирована на трактор тягового класса 1,4. Длина участка, равное 100 м, измерялось заготовленным шаблоном, и обозначали метками (начало и конец).



Рисунок 3.16 – Опытный образец

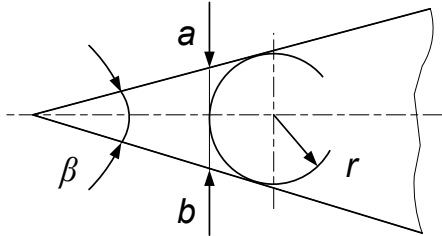
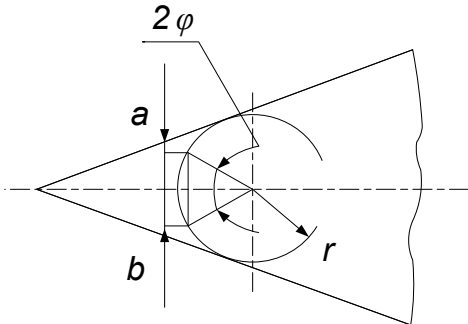
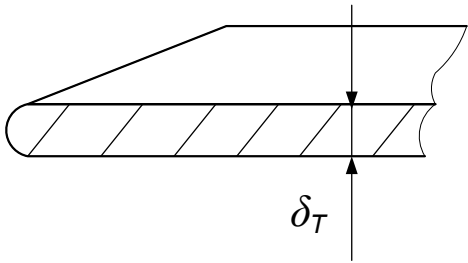
Работа установки состоит в следующем [113]. Обработка почвы совершается за счет перемещения установки. При перемещении секция зубо-пружинной бороны 5 происходит погружение рабочих органов в почву на глубину обработки. Силы сопротивления воздействующие на рабочие органы секции 5, вследствие чего происходит отклонение шарнирного звена 3 в обратном направлении движения установки. За счет отклонения шарнира силы передаются на динамометр 7. Фиксация изменения показаний динамометра 8 производилась видеокамерой, установленной на кронштейне рамы секции опытного образца. Полученные данные показателей замеров анализировались и обрабатывались по общепринятым методикам [23, 43, 48, 49, 84, 93]. В 4 главе диссертационного исследования представлен анализ данных и зависимости удельного тягового сопротивления.

3.5 Методика определения величины износа зубьев МФА

Для установления ресурса на испытаниях рабочие органы измеряются как правило только по величине линейного износа – достаточно легко измеряемой величине с четким значением. Однако этот показатель не дает полного понимания остроты почвообрабатывающих органов.

В работах В. П. Горячкина, [26, 30, 31], В.А. Желиговского, М. М. Севернева отводилось большое значение остроте рабочих органов машин для почвообработки. В результате анализа источников литературы получены разные критерии оценки остроты рабочих органов (таблица 3.3). Исходя из полученных результатов, для данной оценки, основным параметром в большинстве методик принимают радиус (r) и толщину рабочего органа.

Таблица 3.3 – Критерии оценки износа лезвий

Автор	Схемы	Формула
В. П. Горячкин		$ab = 2r \frac{1 - \sin \beta/2}{\cos \beta/2}$
В. А. Желиговский		$ab = 2r \cdot \sin \varphi$
А. Ш. Рабинович, В. Н. Ткачев		$\delta_{\tau} \leq 2r$

Жусин Б. Т., Медянов А. Х. [40] предлагают остроту определять способностью лезвия концентрировать контактные напряжения, а показатель остроты оценивать по изменению формы рабочих органов по мере их износа.

Схема профиля изношенного лезвия показана на рисунке 3.17. По мере износа происходит постоянно снижение характеристик, поэтому, рассматри-

вая изменение параметров целесообразно, вычислить динамику изменения радиуса и угла наклона затылочной фаски. Однако конструкция рабочих органов предполагает различные материалы несущего и режущего слоев, различные толщины деталей. Почвы также отличаются различными характеристиками влияющими на износ. В таких условиях изменения параметров, которые определяют предельное состояние, существенно отличаются.

Анализируя изменений основных показателей остроты лезвия желательна применение прибора (рисунок 3.18) [40]. Глубина вдавливания при использовании данного прибора [40]:

$$h=0,463 - 0,228d,$$

где h – глубина внедрения, мм; d – диаметр лезвия, мм.

$$0,228 \cdot d = 0,463 - h;$$

$$r = \frac{0,463 - h}{0,456}.$$

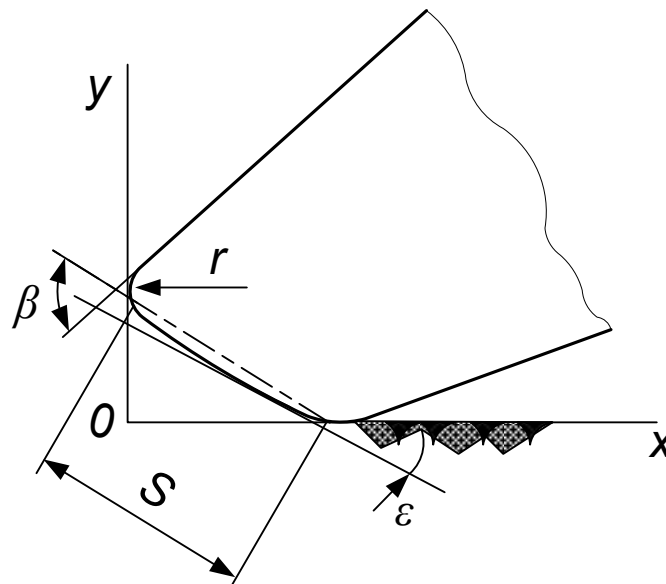


Рисунок 3.17 – Схема профиля изношенного лезвия:

ϵ – ширина и угол наклона затылочной фаски

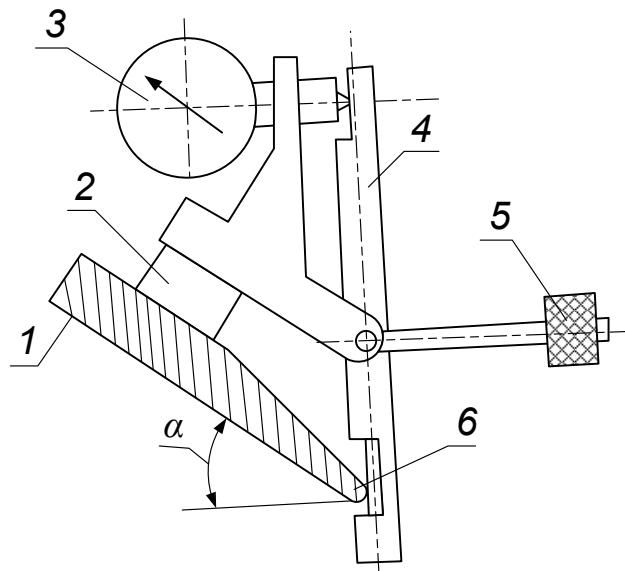


Рисунок 3.18 – Схема прибора для оценки остроты лезвий в полевых условиях [40]:

α – угол наклона лезвия

- 1 – рабочий орган; 2 – магнит; 3 – индикатор часового типа;
4 – кронштейн; 5 – противовес; 6 – упругий элемент

Для выполнения необходимых измерений рабочий орган 1 устанавливается на магнитный держатель 2, сам магнит крепится на кронштейне. Для точных измерений служит индикатор часового типа 3, который размещается на кронштейне. Противовес 5 создает нагрузку на упругий элемент 6. При проверке кронштейн 4 устанавливается перпендикулярно дну борозды. После деформации упругого элемента перемещается кронштейн, и индикатор.

Остроту почворежущего лезвия рекомендуется оценивать по радиусу его закругления в точке касания с нормалью рабочего органа, установленного под углом крошения борозды с учетом угла заострения изношенного лезвия.



Рисунок 3.19 – Внешний вид прибора для измерения остроты лезвия предлагаемого зуба МФА

Аналогичный прибор изготовлен нами, и выполнены исследования износа лезвия четырех зубьев бороны с разными углами заточки (10° , 20° , 30°), (см. рисунки 3.19 и 3.20). Результаты исследований представлены в главе 4.



Рисунок 3.20 – Внешний вид экспериментальной лабораторной установки для исследования износа зубьев МФА

3.6 Выводы по главе

В третьей главе изложены программа и методика проведения лабораторных и полевых исследований.

1. Изготовлена экспериментальная установка для закладки мелкоделяночного опыта по технологии предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы.

2. Представлена методика планирования трехфакторного эксперимента по оптимизации параметров зуба пружинной бороны.

3. Представлены методики определения коэффициента скольжения аммиачной селитры о поверхность полиуретанового тукопровода при внесении минеральных удобрений МФА, скорости воздушного потока и движения в транспортном канале, коэффициент витания удобрений.

4. Выполнено динамометрирование секции МФА для определения зависимости удельного тягового сопротивления.

5. Изложена методика определения остроты лезвия зубьев МФА при наработке в почве 90 часов. Изготовлена установка для исследования износа зубьев в почве и прибор для измерения износа лезвия.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты экспериментальных исследований процесса работы МФА

Изучение процесса работы МФА проводилось в лабораторных и лабораторно-полевых условиях. В лабораторных условиях определен коэффициент трения скольжения аммиачной селитры о внутреннюю поверхность тукопровода. В полевых условиях получены и проанализированы зависимости удельного тягового сопротивления МФА от скорости движения агрегата при разных углах заточки граней зуба пружинной бороны, определено качество заделки минеральных удобрений, качество заделки семян кукурузы сеялкой СУПН-8 на контроле и на опытном участке при возделывании кукурузы без применения культиватора КПС-4 для сплошной культивации и без КРН-5,6 для междурядной культиваций, заложен полевой мелкоделяночный опыт по базовой технологии возделывания кукурузы и предлагаемой с заменой указанных культиваторов разработанным МФА.

Определение коэффициента трения скольжения аммиачной селитры о внутреннюю поверхность тукопровода.

Необходимость определения коэффициента трения селитры, коэффициента витания и параметров системы пневмотранспорта удобрений связана с расчетом производительности и нормы внесения удобрений при работе МФА одновременно с проведением боронования.

В третьей главе по указанным вопросам представлена программа и методика исследований, приборы и аппаратура. В таблице 4.1 приведены результаты лабораторных исследований по определению коэффициента трения скольжения аммиачной селитры о внутреннюю поверхность тукопровода, изготовленного из полиуретана.

Таблица 4.1 – Результаты опытов по определению коэффициента трения скольжения аммиачной селитры

Материал	Повторность	Угол α , град.	Катет КМ, мм	Коэффициент трения, f_i	Среднее значение коэффициента трения	Отклонение от среднего значения	Квадрат отклонения от среднего значения	Среднеквадратическое отклонение
Полиуретан	1	67,6	16	0,16	0,13	-0,03	0,0009	0,0173
	2	67,6	10	0,10		0,03	0,0009	
	3	67,6	14	0,14		-0,01	0,0001	
	4	67,6	12	0,12		0,01	0,0001	
	5	67,6	14	0,14		-0,01	0,0001	
	6	55,2	13	0,13		0	0,0000	
	7	55,2	12	0,12		0,01	0,0001	
	8	55,2	15	0,15		-0,02	0,0004	
	9	55,2	12	0,15		0,01	0,0001	
	10	55,2	12	0,12		0,01	0,0001	

Опыты проводили в 10-кратной повторности. Определили угол наклона поверхности трения от 55,2° до 67,6°, а коэффициент трения в интервале 0,10–0,16.

Таблица 4.2 – Результаты опытов по определению коэффициента витания аммиачной селитры

Наименование показателя	Повторность 1									
	Значение показателя									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход воздуха, м ³ /ч	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144
Скорость воздуха, м/с	9,9	10,56	11,22	11,8	12,54	13,2	13,86	14,52	15,18	15,84
Масса оставшейся навески, г	199,1	197,8	195,8	185,6	143,5	30,5	18,5	9,9	4,3	0
Масса выдутых семян при заданной скорости, г	0,9	1,3	2	10,2	42,1	113	12	8,6	5,6	4,3

Продолжение таблицы 4.2										
Средневзвешенная критическая скорость по повторности, м/с	13,2									
Поверхность 2										
Расход воздуха, м ³ /ч	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138
Скорость воздуха, м/с	9,24	9,9	10,56	11,22	11,88	12,54	13,2	13,86	14,52	15,18
Масса оставшейся навески, г	198,9	198,1	194,3	182,1	147,2	29,7	13,3	8,1	3,7	0
Масса выдутых семян при заданной скорости, г	1,1	0,8	3,8	12,2	34,9	117,5	16,4	5,2	4,4	3,7
Средневзвешенная критическая скорость по повторности, м/с	12,5									
Поверхность 3										
Расход воздуха, м ³ /ч	94	99	104	109	114	119	124	129	134	139
Скорость воздуха, м/с	10,34	10,89	11,44	11,99	12,54	13,09	13,64	14,19	14,74	15,2
Масса оставшейся навески, г	199,2	197,2	194,8	183,4	142,8	26,6	15,7	9,5	4,6	0
Масса выдутых семян при заданной скорости, г	0,8	2	2,4	11,4	40,6	116,2	10,9	6,2	4,9	4,6
Средневзвешенная критическая скорость по повторности, м/с	13									
Средневзвешенная критическая скорость по опыту, м/с	12,9									

Согласовано полученным данным (таблиц 4.1 и 4.2) среднее значение коэффициента трения скольжения аммиачной селитры по полиуретану составляет 0,13, при среднеквадратичном отклонении 0,42 м/с, что будет соответствовать коэффициенту витания, равном $K_n = 0,059 \text{ м}^{-1}$. Плотность аммиачной селитры получена равной 1,68 г/см³, а объемная масса – 1,04 г/см³.

Для расчета пневмотранспорта удобрений к зубьям пружинной бороны необходимо было определить в лабораторных условиях: расход воздуха (м³/ч), скорость воздуха (м/с) и средневзвешенную критическую скорость, которая составила 12,9 м/с (таблица 4.2). Среднеарифметическое значение расхода воздуха вентилятором составило 116,5 м³/ч.

Анализ данных таблицы 4.3 по равномерности глубины предпосевной обработки почвы показал, что агротребования по качеству обработки выполняются и существенных различий по вариантам не обнаружено.

Таблица 4.3 – Статистические характеристики качества глубины обработки почвы перед посевом кукурузы

Статистические характеристики глубины предпосевной культивации	Сравниваемые машины	
	МФА	КПС-4
Установочная глубина обработки, мм	50	50
Среднеарифметическое значение, мм	45,15	45,42
Среднеквадратическое отклонение σ , ± мм	5,57	5,93
Коэффициент вариации v , %	12,3	15,3
Ошибка опыта ρ , %	3,21	4,0

Равномерность профиля дна борозды

В таблице 4.4 представлены статистические характеристики профиля дна борозды по вариантам обработки (рисунок 3.13).

Таблица 4.4 – Статистические характеристики качества профиля дна борозды

Статистические характеристики глубины предпосевной культивации	Сравниваемые машины	
	МФА	КПС-4
Среднее значение $M_{\text{ср}}$, мм	1,38	1,40
Среднеквадратическое отклонение σ , ± мм	0,14	0,58
Коэффициент вариации v , %	10,2	4,1
Ошибка опыта m , %	0,73	0,33

Согласно данных таблицы 4.4 качество подготовленного дна борозды под посев кукурузы удовлетворяет агротребованиям и существенной разницы по вариантам нет.

Гранулометрический состав почвы также отвечает необходимым требованиям [91, 93] и разница по вариантам не существенная (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Гранулометрический состав посевного слоя почвы по вариантам опыта

Гранулометрический состав посевного слоя почвы	Сравниваемые машины	
	МФА	КПС-4
Масса почвенной пробы, г	1000	1000
Наличие агрономически ценных фракций в пробе, %	87,5	95,4
Пылевидные частицы < 0,5 мм, %	3,5	4,0

Полевые опыты показали, что гранулометрическому составу качество предпосевной обработки почвы существенно улучшилось.

Предпосевная культивация проводилась 27 апреля на поле №4 учхоза «Кубань». Характеристика участка: плотность почвы на опытном участке (МФА) составила 1,2 г/см³, на контрольном (КПС-4) – 1,2 г/см³; влажность почвы в посевном слое, соответственно, – 18,1 и 18,2 %; количество сорняков перед культивацией на опыте 6 на 1 м², на контроле 11 на 1 м²; профиль поля (гребнистость) перед посевом составила на опыте 2,4 см; на контроле 2,6 см.

Равномерность глубины заделки удобрений на опыте и контроле (таблица 4.6) не имела существенной разницы. Посев кукурузы выполнен 27.04.2021 г. сеялкой СУПН-8.

Таблица 4.6 – Статистические характеристики глубины заделки семян кукурузы по вариантам опыта

Статистические характеристики глубины заделки семян кукурузы	Сравниваемые машины	
	МФА	КПС-4
Установочная глубина посева, см	5,0	5,0
Фактическая глубина заделки M_{cp} , мм	1–4	1–4

Согласно проведенным исследованиям качество посева кукурузы по вариантам опыта существенно не отличается.

Учитывая изложенное, экспериментальными исследованиями доказана возможность замены культиваторов для сплошной культивации предлагаемым МФА.

Результаты оценки показателей качества работы МФА.

При полевых исследованиях показателей качества работы МФА на предпосевной обработке почвы и ухода за посевами кукурузы изучались следующие показатели: равномерность глубины обработки почвы и профиля поля и дна борозды, гранулометрический состав почвы перед посевом, профиль поля после посева. Необходимость определения указанных показателей связана с принятием решения о замене в технологии культиватора для сплошной культивации предлагаемым МФА, который должен заменить также междурядный культиватор и средние зубовые бороны для до- и послевахового боронования. Единственную операцию, которую не может выполнить предлагаемый нами МФА – это окучивание посевов кукурузы при междурядной культивации. Выполнение окучивания мы переносим на культиватор-подкормщик «Скарабей» (Дорагромаш), который предлагается включить дополнительно в технологию ухода за посевами кукурузы. Например, в Германии подкормка посевов кукурузы жидкими органическими удобрениями обеспечила прибавку урожая зеленой массы от 5 до 30 % с початками молочно-восковой спелости [53]. Таким образом, предлагается подкормщиком «Скарабей» (Дорагромаш) вносить жидкие удобрения в междурядья и одновременно проводить окучивание посевов кукурузы.

Рассмотрим показатели качества работы МФА на предпосевной обработке почвы.

Равномерность глубины обработки почвы

В таблице 4.3 представлены показатели глубины обработки почвы в весенний период перед посевом (рисунок 3.12). Равномерность глубины после прохода агрегата МФА сравнивали с показателями культиватора для сплошной культивации.

4.2 Зависимости удельного тягового сопротивления МФА от его параметров и скорости движения

Далее выполнен анализ результатов динамометрирования лабораторной установки многофункционального агрегата (МФА) с модернизированными зубьями.

Зависимость удельного тягового сопротивления МФА от скорости движения, угла заточки граней и наклона зубьев.

С помощью динамометрирования согласно методике, изложенной в главе 3, получили экспериментальные зависимости при работе опытного образца МФА шириной захвата $B_p = 1$ м. Математически обработанные опытные данные использовали для построения графиков зависимости (рисунок 4.4) удельного сопротивления МФА от скорости движения.

На зуб пружинной бороны действует нормальная сила и сила трения [30], которые определяют величину сопротивления почвы смятию в горизонтальной плоскости [38, 44], а также сдвигу ее зубом бороны и передачи определенной скорости [30]. При расчете тягового сопротивления бороны используется зависимость [30]:

$$F = f_6 G_6 + n_3 \cdot P. \quad (4.1)$$

где f_6 – коэффициент прения бороны; G_6 – сила тяжести бороны; n – количество зубьев бороны; P – усилие.

В результате динамометрирования нами получены зависимости удельного тягового сопротивления МФА от скорости движения при разных углах заточки граней пружинного зуба (рисунок 4.1) и при разных углах наклона зубьев к горизонту (рисунок 4.2).

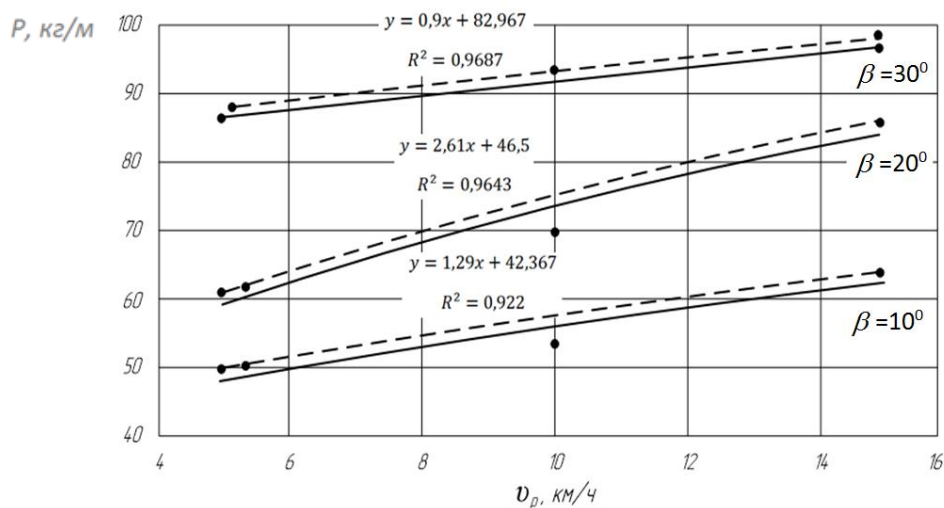


Рисунок 4.1 – График зависимости удельного тягового сопротивления МФА от скорости v_p при разных углах заточки граней зубьев — теоретическая; - - - экспериментальная

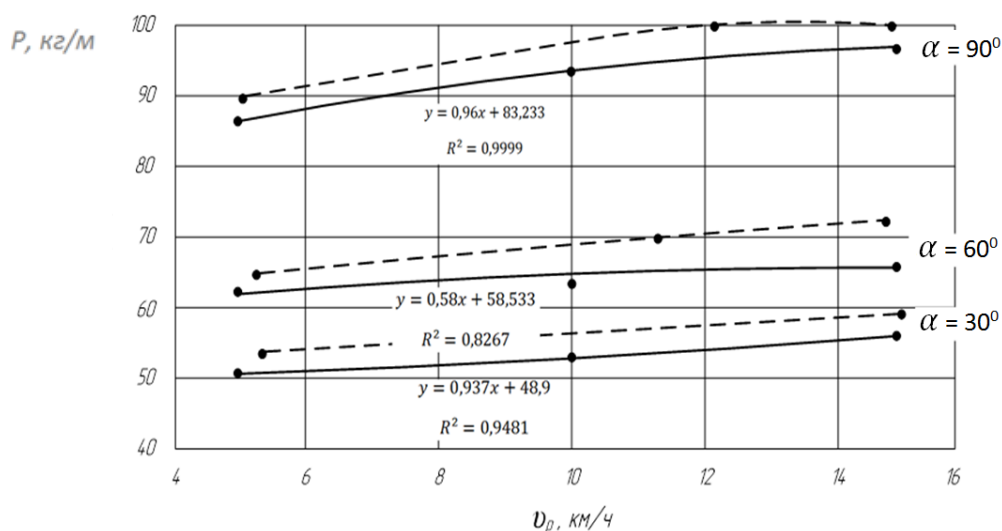


Рисунок 4.2 – График зависимости удельного тягового сопротивления МФА от скорости v_p движения при разных углах наклона зубьев — теоретическая; - - - экспериментальная

Как следует из графика, с увеличением скорости движения v_p агрегата удельное тяговое сопротивление возрастает для всех углов наклона зубьев и заточки граней. Так, при скорости 5 км/ч, угле заточки 10° и угле наклона зубьев 30° удельное сопротивление МФА составило 50 кг/м. Для угла наклона 60° и той же скорости – уже 60 кг/м, а при угле наклона 90° удельное сопротивление возросло до 88 кг/м при скорости 15 км/ч также пропорционально возрастает удельное тяговое сопротивление агрегата: при наклоне

зубьев 30° и угле заточки 10° оно возросло до 60 кг/м ; при угле наклона зубьев 60° – до 83 кг/м . Максимальное тяговое сопротивление имеет место при угле наклона зубьев 90° и угле заточки 30° , которое составило $97,6 \text{ кг/м}$.

Более существенная разница в сопротивлении агрегатов получена в зависимости от угла наклона зубьев бороны при работе. Так, для зуба с углом заточки 10° при скорости движения МФА 5 км/ч и угле наклона зуба 30° удельное сопротивление минимальное и составляет 50 кг/м . При угле наклона 60° и той же скорости сопротивление возрастает в $1,24$ раза, а при угле 90° – уже в $1,86$ раза, с 50 кг/м до $88,1 \text{ кг/м}$. При скорости движения 15 км/ч удельное сопротивление агрегата возросло до 68 кг/м , а при угле наклона 90° – удельное сопротивление максимально и составило 98 кг/м .

Полученные зависимости удельного тягового сопротивления МФА от скорости v_p движения, угла заточки граней зубьев и угла наклона зубьев, представленные на графиках рисунков 4.4 и 4.5, использованы при оптимизации параметров и режимов работы МФА.

Сходимость теоретической и экспериментальной зависимости удельного тягового сопротивления МФА от рабочей скорости при углах заточки зубьев $10 - 30^\circ$ определялась по общепринятой методике, относительная ошибка составила 4% . (рисунок 4.1).

Сходимость теоретической и экспериментальной зависимости удельного тягового сопротивления МФА от рабочей скорости при углах наклона зубьев $30 - 90^\circ$, относительная ошибка составила 5% . (рисунок 4.2).

4.3 Оптимальные параметры и режимы работы МФА

При моделировании процесса работы на поле экспериментальной установки для функции отклика использовали полином второго порядка с тремя переменными (β , γ , V). После математической обработки полученных экспериментальных данных используя программу Mathcad на ЭВМ получили уравнение регрессии с кодированными значениями факторов (4.2).

Для функции отклика в эксперименте при моделировании использовали полином второго порядка с тремя переменными (таблица 3.2).

Уравнение после обработки:

$$y = 432,62 + 2x_1 + x_2 + 2,5x_3 - 15,75 x_1x_2 - 18,75x_1x_3 - 14,25x_2x_3 + 1,375x_1^2 + 2,375x_2^2 + 0,875x_3^2, \quad (4.2)$$

где y – удельное тяговое сопротивление, Н/м; x_1 – кодированное значение угла наклона зуба; x_2 – кодированное значение угла заточки зуба; x_3 – кодированное значение рабочей скорости агрегата.

Уравнение перевода кодированных значений факторов в действительные:

$$X_1 = 30x_1 + 60; X_2 = 10x_2 + 20; X_3 = 5x_3 + 10, \quad (4.3)$$

где X_1 – значение угла наклона рабочих органов, град; X_2 – значение угла заточки рабочих органов, град; X_3 – значение рабочей скорости агрегата, км/ч.

Полученные в результате расчета коэффициенты данного уравнения (4.2) все коэффициенты оказались значимыми по критерию Стьюдента.

Для проверки уравнения на адекватность по критерию Фишера [2], используем полученные опыты в центре плана, для нахождения дисперсии опыта.

Дисперсия опыта $S_y^2 = 1,3$; $F_{\text{табл}} = 4,88$; $F_{\text{расч}} = 3,98$. Поскольку $F_{\text{табл}} \geq F_{\text{расч}}$, уравнение (4.2) адекватно.

Далее продифференцировали уравнение (4.3) по каждой их переменных и выполнили решение.

Координаты центра поверхности отклика: $x_1 = 0,0623$; $x_2 = 0,0976$; $x_3 = 0,0388$.

Значение отклика в новом начале координат $Y_S = 432,776$.

В канонической форме уравнение регрессии:

$$Y - 432,776 = 1,375x_1^2 - 5,382x_2^2 + 8,632x_3^2. \quad (4.4)$$

Уравнение поверхности отклика в канонической форме (факторы 1 и 2 взаимодействуют):

$$Y_{12} - 432,776 = -6,016X_1^2 + 9,766X_2^2. \quad (4.5)$$

Поверхность отклика гиперболоид вращения. Оптимальное значение функции отклика находится в точке с координатами: $X_1 = 61,86^\circ$, $X_2 = 20,98^\circ$.

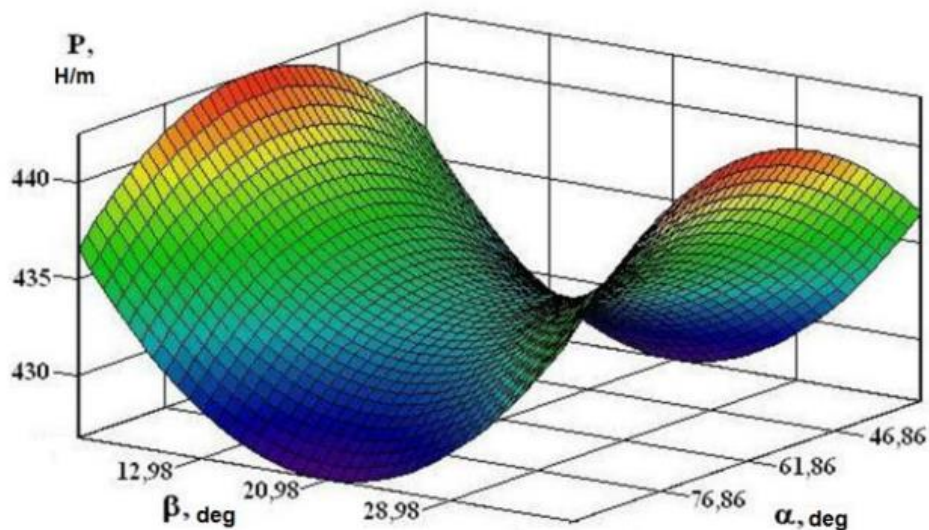


Рисунок 4.3 – Поверхность отклика для зависимости сопротивления агрегата от угла наклона рабочих органов и от угла их заточки

Угол наклона рабочих органов меньше влияет на сопротивление агрегата, чем угол заточки рабочих органов.

При $x_3 = 0,0338$ в кодированном виде, т. е. когда значение сопротивление агрегата в центре плана эксперимента равно 432,776 Н, угол наклона рабочих органов – 61,86, а угол заточки рабочих органов 20,98°.

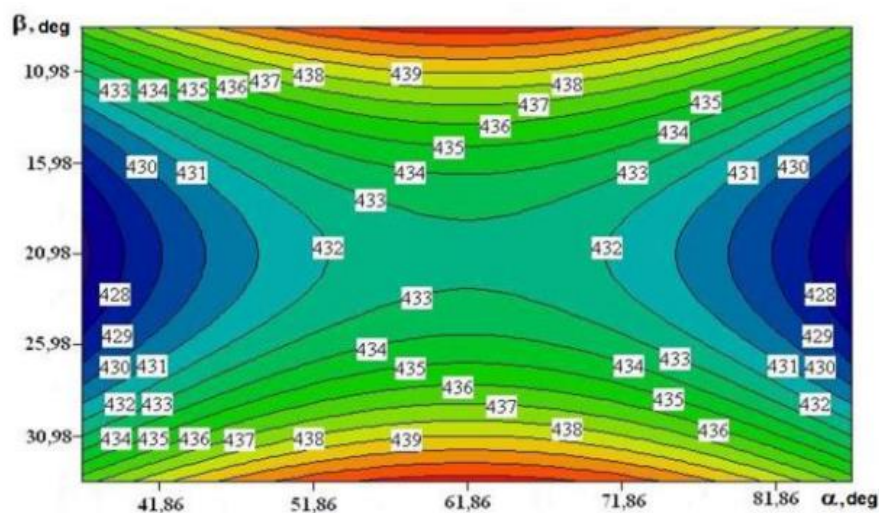


Рисунок 4.4 – Двухмерное сечение поверхности отклика для зависимости сопротивления агрегата от угла наклона и заточки

Уравнение при взаимодействии факторов 1 и 3:

$$Y_{13} - 432,776 = 10,503X_1^2 + 8,253X_3^2. \quad (4.6)$$

Поверхность отклика гиперboloид вращения.

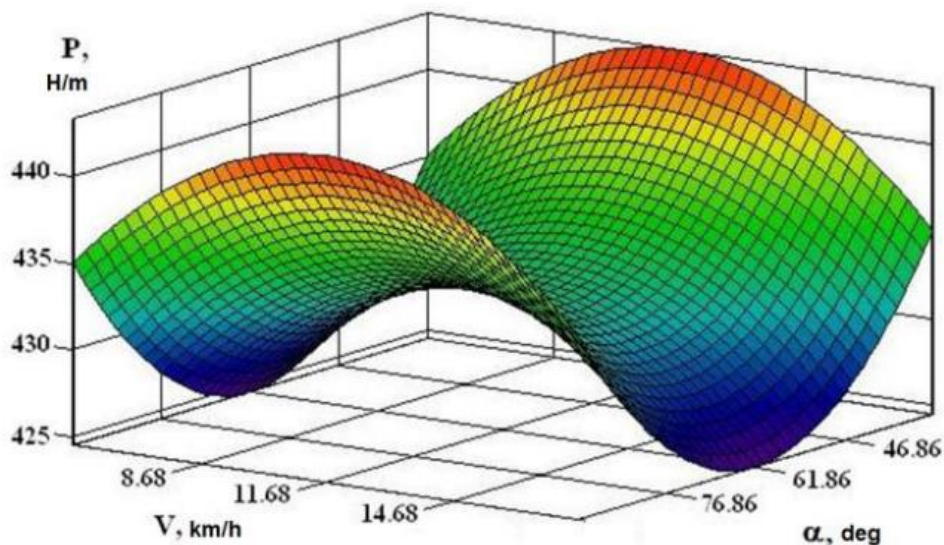


Рисунок 4.5 – Поверхность отклика зависимости сопротивления агрегата от угла наклона рабочего органа и скорости агрегата

Оптимальное значение функции отклика находится в точке:
 $X_1 = 61,86^\circ; X_3 = 11,68 \text{ км/ч.}$

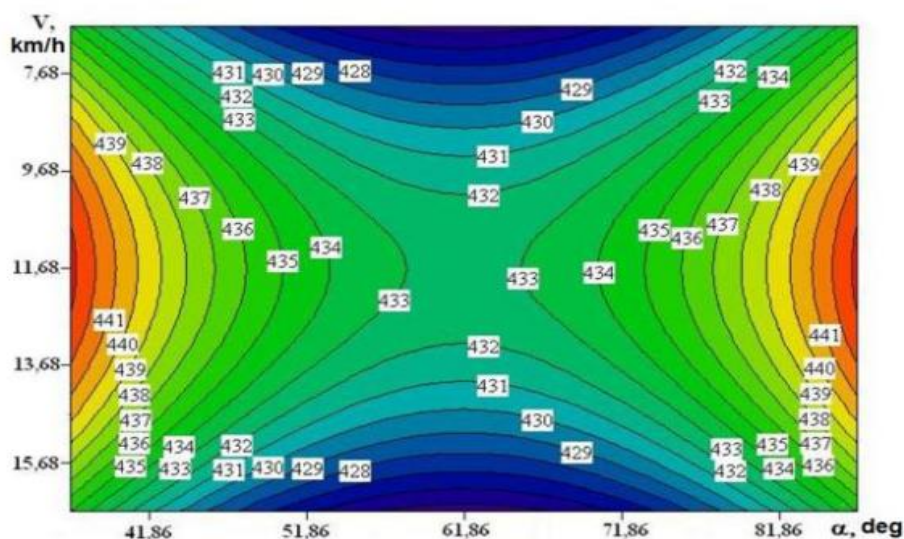


Рисунок 4.6 – Двумерное сечение поверхности отклика зависимости сопротивления агрегата от угла наклона рабочего органа и скорости агрегата

Изменение скорости движения агрегата влияет меньше на сопротивление агрегата, чем угол наклона рабочих органов, так как вытянутость изолиний больше по x_3 , а коэффициент уравнения регрессии $|B_{11}| < |B_{33}|$.

Уравнение поверхности отклика в канонической форме при взаимодействии факторов 2 и 3:

$$Y_{23} = 8,789X_2^2 - 5,539X_3^2. \quad (4.7)$$

Поверхность отклика – вращения, а оптимальное значение функции отклика находится в точке с координатами: $x_2 = 0,0976, x_3 = -0,0338$ (рисунок 4.8).

Влияет на скорость агрегата, это подтверждается в уравнении $|B_{22}| < |B_{33}|$, 8,789 и -5,539 соответственно.

Рассмотрели двумерное сечение поверхности отклика плоскостью X_2SX_3 (рисунок 4.6), когда $x_1 = 0,0623$, т. е. оптимальное минимальное значение угла наклона рабочих органов равно $61,81^\circ$. Изолинии сечений поверхности отклика в области оптимума отклика минимакс.

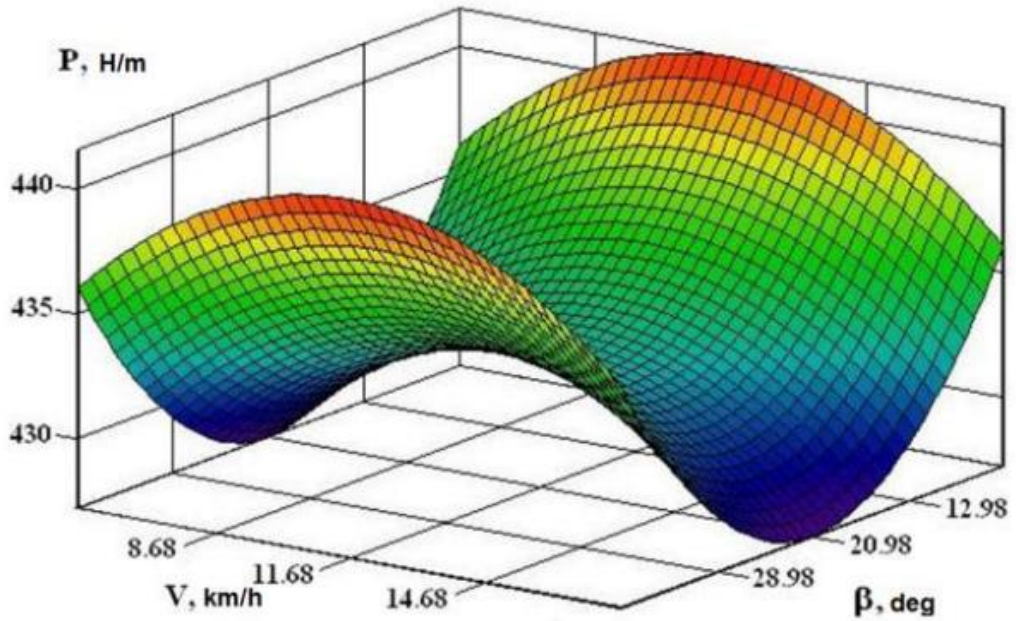


Рисунок 4.7 – Поверхность отклика зависимости сопротивления агрегата от угла заточки рабочих органов и скорости движения агрегата

Рассмотрели двумерное сечение поверхности отклика плоскостью X_2SX_3 , когда $x_1 = 0,0623$, т. е. оптимальное минимальное значение угла наклона рабочих органов равно $61,81^\circ$. Изолинии сечений поверхности отклика в области оптимума отклика минимакс.

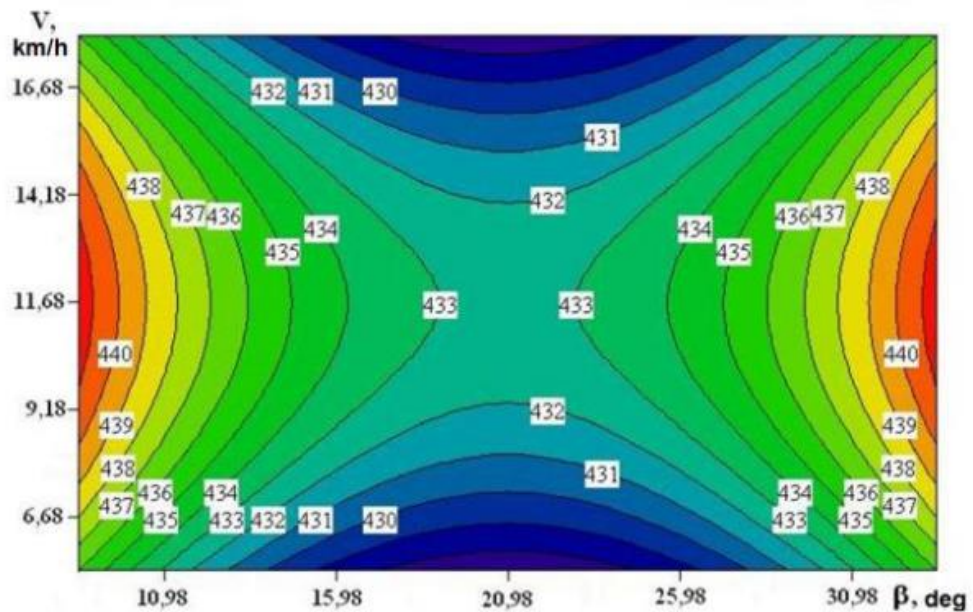


Рисунок 4.8 – Двухмерное сечение поверхности отклика зависимости сопротивления агрегата от угла заточки рабочих органов и скорости движения агрегата

Согласно полученному уравнению регрессии по критерию минимального сопротивления агрегата, угол наклона рабочих органов составил $\alpha = 61,86^\circ$, угол заточки рабочих органов $\beta = 20,98^\circ$ при скорости движения агрегата $V = 11,68$ км/ч, а сопротивление агрегата $Y = 432,776$ Н.

Оптимизация параметров широко применяется в научных исследованиях [22, 91].

Моделирование МФА с использованием целевой функции минимальных общих затрат на процесс боронования посевов кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений выполнено в соответствии с математической моделью по алгоритму, представленному на рисунке 2.17. В результате расчетов получены зависимости: критерия оптимизации (издержки эксплуатационных работ $I_э$) от основных параметров МФА (мощность двигателя Ne , при различной ширине захвата агрегата). Эта зависимость (рисунок 4.9) линейная.

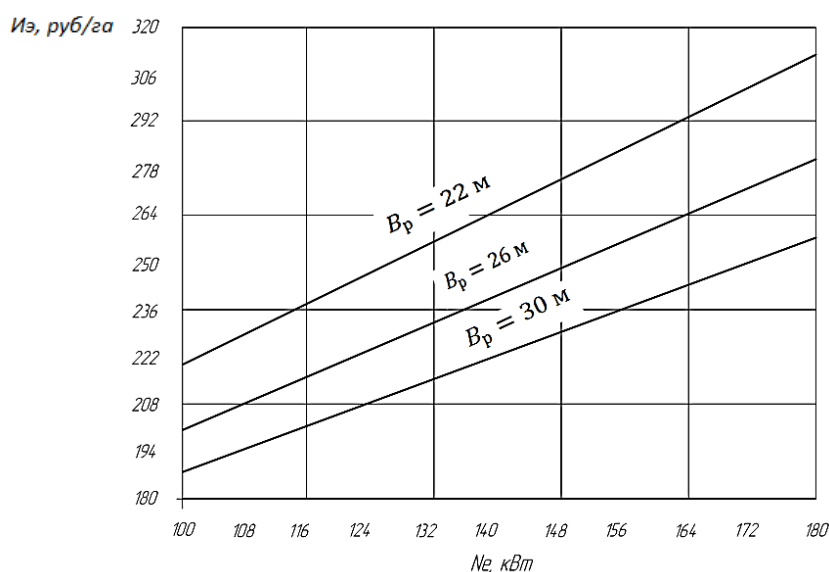


Рисунок 4.9 – Зависимость издержек $I_э$ от мощности двигателя при различной ширине захвата МФА

Анализируя зависимость общих затрат от ширины захвата B_p агрегата и потребной мощности двигателя Ne , можно сделать вывод о их пропорциональном увеличении с ростом мощности двигателя и снижении в связи с ро-

стом ширины захвата. Маломощные агрегаты для боронования имеют более высокие затраты. Оптимальной шириной захвата следует считать $B_p = 30$ м (рисунок 4.9).

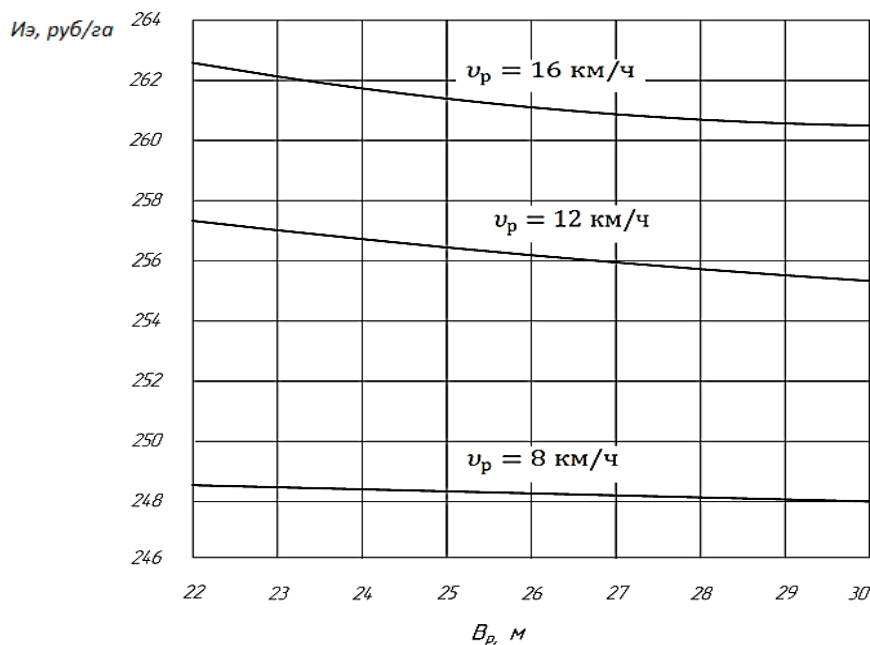


Рисунок 4.10 – Зависимость общих издержек $Iэ$ от скорости Vp

Издержки эксплуатационных работ $Iэ$ от ширины захвата агрегата B_p и рабочей скорости движения v_p (рисунок 4.10) также имеют линейную зависимость. Чем больше ширина захвата МФА, тем меньше издержки и, наоборот с увеличением рабочей скорости агрегата они возрастают. Можно сделать вывод, что гораздо выгоднее выполнять боронование с большой шириной захвата и меньшей скоростью. Это выгодно с точки зрения количества рабочих ходов, расхода топлива и качества боронования. К тому же интенсивность изменения затрат от роста ширины захвата незначительная, а с увеличением рабочей скорости затраты при одной и той же ширине захвата интенсивно возрастают. Так, при одной и той же ширине захвата, например, 22 м издержки на скорость 8 км/ч составляют 248,8 руб./га, на скорости 12 км/ч – уже 257,2, а на скорости 16 км/ч – 262,2 руб./га.

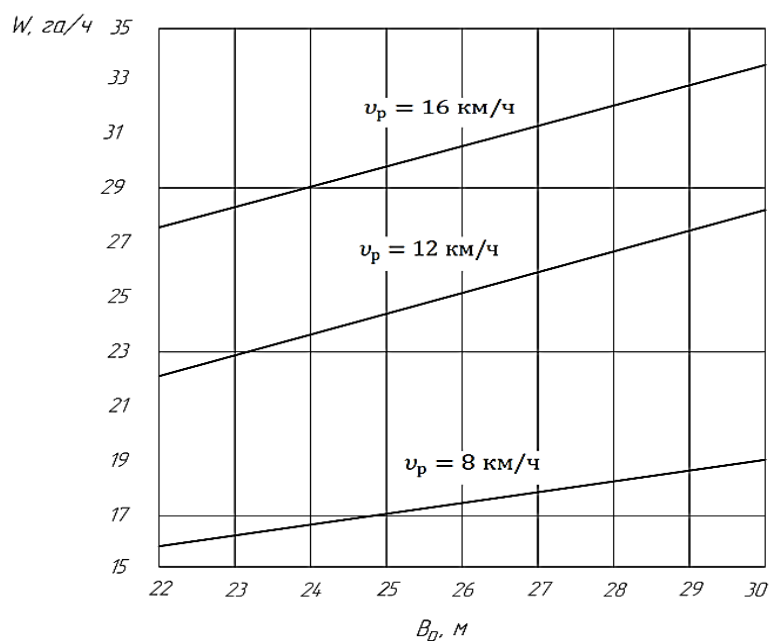


Рисунок 4.11 – Зависимость производительности МФА от ширины захвата от B_p и скорости движения v_p

Также прямо пропорционально возрастает производительность агрегата с ростом скорости и ширины захвата (рисунок 4.11). Так, если при ширине захвата агрегата 22 м на скорости 8 км/ч производительность составила 15,5 га за 1 час сменного времени, то на скорости 12 км/ч – уже 21,8 га/ч, а на скорости 16 км/ч достигается самая высокая сменная производительность 27,4 га/ч. Интенсивно возрастает производительность за 1 ч сменного времени с ростом ширины захвата агрегата на одной скорости движения при использовании тракторов соответствующей мощности. Если на рабочей скорости 12 км/ч при ширине захвата агрегата 22 м производительность составила 21,8 га/ч, то при ширине захвата 30 м – 24 га/ч сменного времени, или возрастает на 22 %. Можно сделать вывод о целесообразности использования на бороновании широкозахватных агрегатов с мощными тракторами. Это экономически выгоднее, чем с тракторами малой мощности и меньшей шириной захвата.

Изучена также зависимость часовой производительности агрегата от емкости бункера для удобрений (рисунок 4.12).

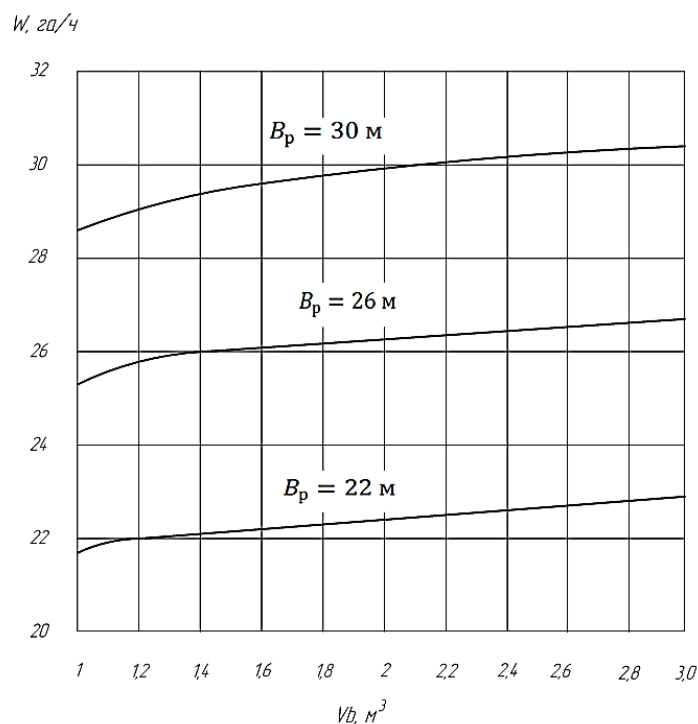


Рисунок 4.12 – Зависимость производительности МФА от емкости бункера V_b для удобрений при различной ширине захвата B_p

Из представленных зависимостей часовой производительности от емкости бункера можно сделать вывод о росте производительности при увеличении емкости бункера на агрегате. При этом, чем выше ширина захвата агрегата, тем выше производительность. Максимальная часовая производительность получена при ширине захвата агрегата 30 м и емкости бункера 1 м³, которая составила 28,3 га/ч. При емкости бункера 3 м³ и ширине захвата 30 м часовая производительность агрегата превысила 30 га/ч. Для агрегата шириной захвата 22 м при емкости бункера 1 м³ часовая производительность составила 21,8 га/ч, а при емкости 3 м³ – уже 22,5 га/ч. Таким образом, по возможности, емкость бункера для удобрений надо увеличивать.

На основании исследований коэффициента использования времени смены (рисунок 4.14) при работе агрегата установлено также его возрастание с увеличением емкости бункера для удобрений. Но интенсивность этого роста в зависимости от ширины захвата не значительная. Так, при ширине захвата агрегата 22, 26 и 30 м при емкости бункера 1 м³ величина коэффициен-

та использования времени смены изменяется только во втором знаке после запятой. Аналогичная тенденция имеет место для емкости 2 м³ и выше.

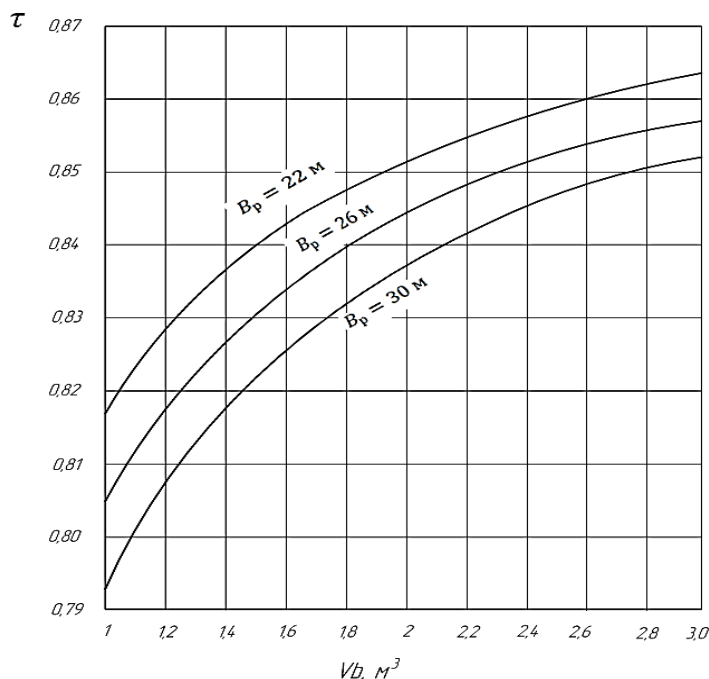


Рисунок 4.13 – Зависимость τ от Vb при различной ширине захвата МФА

Зависимости потребной мощности движения транспорта на функционирование предлагаемого нами агрегата представлены на рисунке 4.14. Судя по графику, требуемая мощность двигателя интенсивно возрастает в зависимости от ширины захвата агрегата и рабочей скорости движения. Так, при ширине захвата агрегата 22 м потребная мощность двигателя трактора составила 70,9 кВт, при работе на скорости 8 км/ч. С шириной захвата 26 м – уже 90 кВт, а при ширине захвата 30 м – почти 100 кВт. При одной ширине захвата 22 м для работы на скорости 8 км/ч требуется трактор мощностью двигателя 70,9 кВт; при работе на скорости 12 км/ч – уже 120,2; а для ширины захвата 30 м требуется почти 190 кВт. Учитывая тенденцию снижения затрат с ростом ширины захвата агрегата целесообразно использовать на бороновании широкозахватные агрегаты.

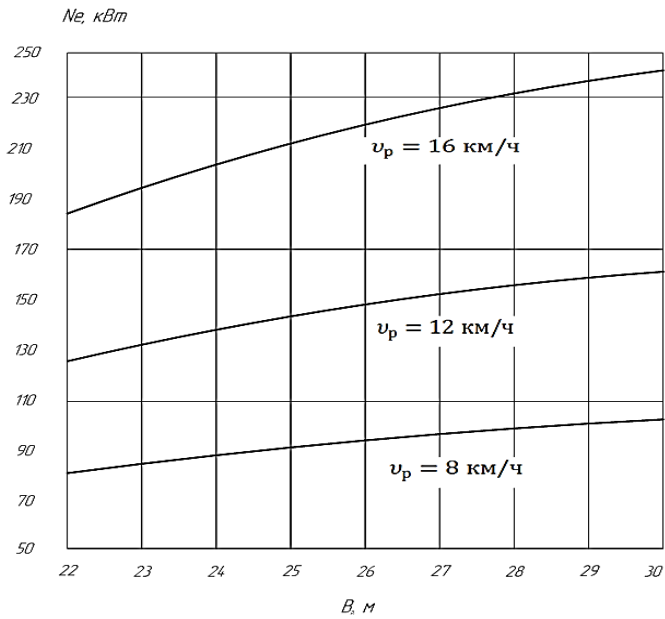


Рисунок 4.14 – Зависимость мощности двигателя от ширины захвата МФА

На основании динамометрирования предлагаемого МФА на экспериментальной установке получены опытные данные его удельного тягового сопротивления при работе на выщелоченном черноземе в учхозе «Кубань» Кубанского ГАУ. Схема рабочего органа – зуба пружинной бороны представлена ранее на рисунке 2.3. Характер зависимости удельного тягового сопротивления модернизированной пружинной бороны, полученного в лабораторно-полевых условиях (рисунок 4.15).

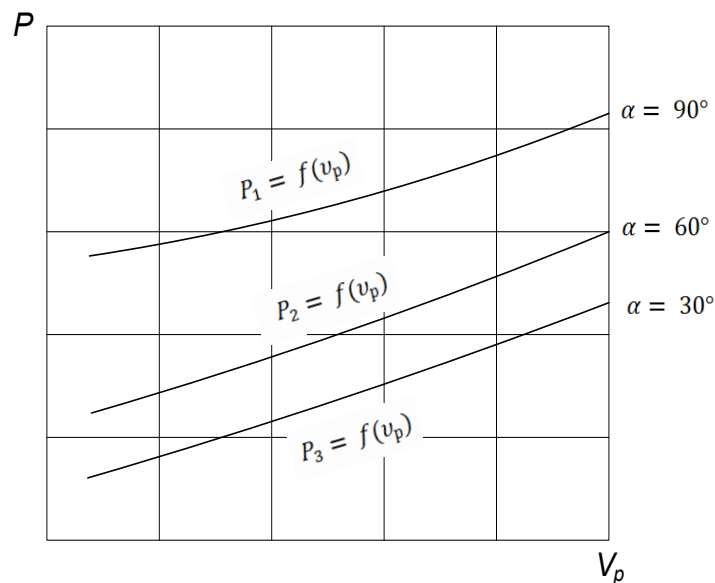


Рисунок 4.15 – Зависимость удельного тягового сопротивления от скорости, предлагаемого многофункционального агрегата

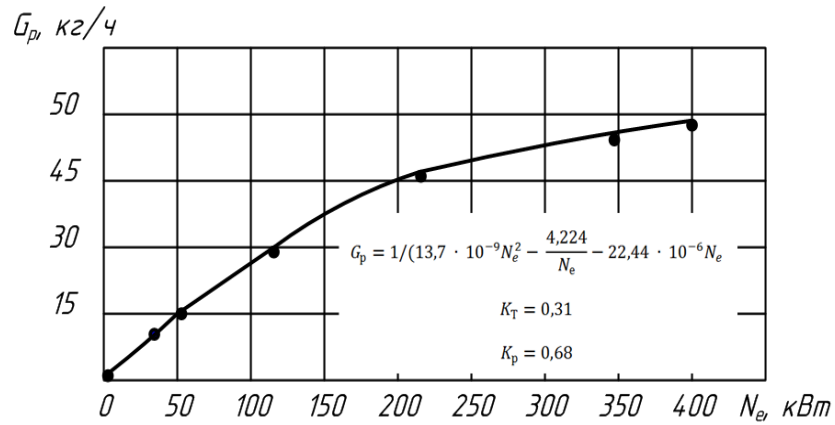


Рисунок 4.16 – Зависимость G_p от N_e для МФА

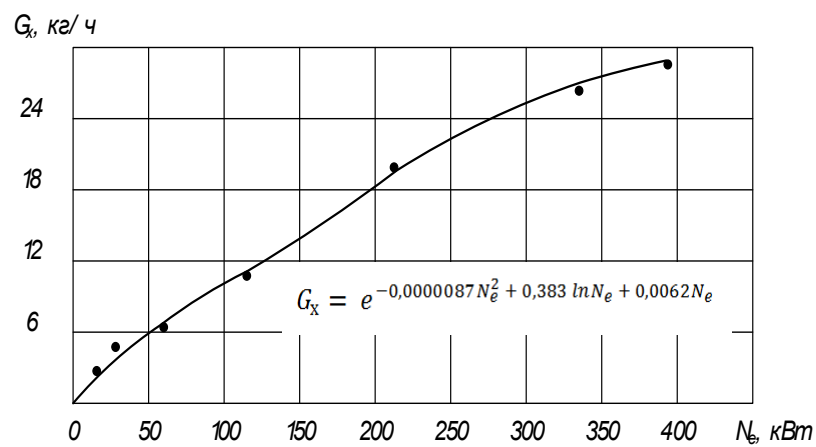


Рисунок 4.17 – Зависимость G_x от N_e для МФА

Составляющие удельного расхода топлива в кг/ч зависят от мощности двигателя N_e (рисунок 4.18). Адекватность зависимостей подтверждена критерием Кохрена: его расчетное значение для всех кривых меньше табличного.

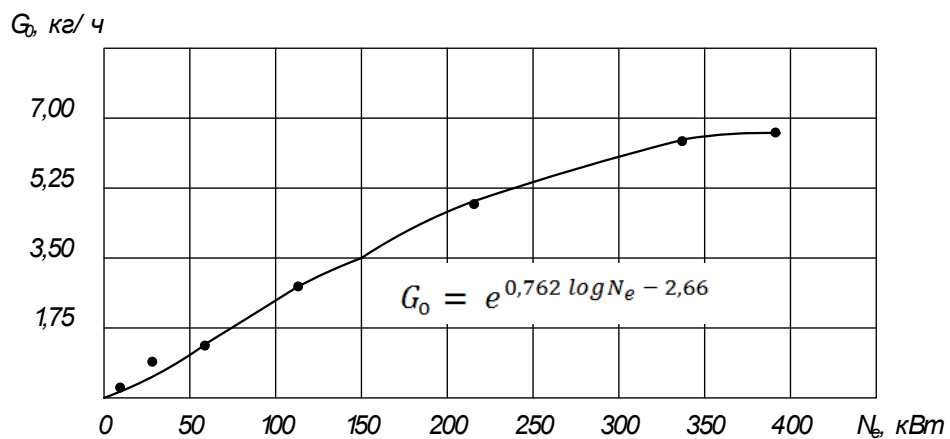


Рисунок 4.18 – Зависимость G_0 от N_e для МФА

Таким образом, анализ результатов моделирования МФА в различных условиях позволил установить следующие значения оптимальных параметров (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Оптимальные параметры МФА

Критерий оптимизации C , р/га	Мощность двигателя Ne , кВт	Ширина захвата, B_p , м	Скорость движения v_p , км/ч	Емкость бункера V_b , м ³	Производительность W , га/ч	Коэффициент сменного времени τ
185	98	30	8	3	24,0	0,86

Эти параметры использованы нами при разработке технологических карт предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы с применением МФА.

Листинг программ на ЭВМ и промежуточные расчеты представлены в приложениях.

Износ зуба пружинной бороны изучали в почвенном канале на предкавказском слабовыщелоченном черноземе. Как сказано в методике исследований (3 глава) исследования износа проводили в зависимости от угла заточки граней зубьев (10^0 , 20^0 и 30^0). Экспериментальная установка для лабораторных исследований (рисунок 3.10), а прибор для измерения величины износа лезвия зуба – на рисунке 3.9. Три зуба с различными углами заточки граней и контрольный без заточки испытали в почвенном канале в течение 90 ч. Результаты испытаний приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Величина износа зубьев МФА по вариантам опыта после 90 ч наработки

Показатели износа зубьев	Варианты зубьев				НСР ₀₅
	1-й контроль	2-ой < 30°	3-й < 20°	4-й < 10°	
Масса зуба до испытаний, г	186	165	145	133	2,6
Масса зуба после испытаний, г	182,3	161,7	142,1	129,8	
Радиус закругления r лезвия мкм	4,8	3,8	3,3	3,0	
Величина истирания, г	3,72	3,3	2,9	3,3	
Износ зубьев, %	11,0	9,0	8,8	6,0	

Как показали результаты исследований, минимальное истирание зубьев о почву имело для зуба с углом заточки 20° что составило 2,9 г и максимальное – для контрольного зуба 3,72 г. Для углов с заточкой граней зуба 10° и 30° величина истирания зуба от его массы составила 3,3 г. Максимальное истирание контрольного зуба без заточки граней 3,72 г объясняется большой лобовой поверхностью зуба.

4.4 Влияние предлагаемой технологии и МФА на урожай зеленой массы кукурузы

Во второй главе диссертации разработана технология (таблица 2.2) и конструктивно-технологическая схема предлагаемого МФА для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы с исключением культиваторов для сплошной и междурядной культиваций. Замена их МФА на базе зубопружинной бороны упростила технологию, сократив две марки культиваторов (КПС и КРК), повысила качество обработки почвы и экономическую эффективность. Добавление новой операции – окучевания посевов кукурузы с подкормкой ЖКУ является обязательным приемом в технологии, способствующим повышению урожайности при сохранении экономической эффективности и высоком преимуществе при снижении затрат труда, по сравнению с контролем. Опыты по посеву кукурузы по вариантам технологий заложены в учхозе «Кубань». Характеристика опытного участка приведена в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Характеристика опытного участка

№ п/п	Показатель	Значение	
		опыт	контроль
1	Сорт кукурузы	Краснодарский 291	
2	Вид почвы	Западно-предкавказский выщелоченный чернозем	
3	Предшественник	Озимая пшеница	

Продолжение таблицы 4.9		
4	Основная обработка почвы	Дискование на глубину 10–12 см в два следа, вспашка на глубину 25–27 см,
5	Дата посева кукурузы	20.04.2021 г.
6	Дата боронования всходов	02.05.2021 г.
7	Влажность почвы в слое 0–10 см, %	26,4

Предлагаемая технология состоит из пяти операций:

- 1) Двукратное ранневесеннее боронование зяби;
- 2) Двукратное предпосевное боронование;
- 3) До- и после всходов боронование посевов;
- 4) Трехкратное боронование посевов;
- 5) Подкормка посевов кукурузы ЖКУ с окучиванием агрегатом «Скарабей» (Дорагромаш) (рисунок 4.19).



Рисунок 4.19 – Общий вид подкормщика «Скарабей»

Серийная борона может применяться непосредственно перед посевом и по достижению ростками высоты 25 см, для борьбы с прорастающим сорняком и аэрации почвы, для удаления почвенной корки, при использовании на тяжелых заплывающих почвах [54, 56, 83].

При этом применение МФА по пропашным культурам способно заменить несколько обработок с большей производительностью и дешевле, чем междурядные обработки.

Удобрения, внесенные лентой, по опытным данным [55] обеспечивают прибавку урожая в 1,5–2 раза больше по сравнению с разбросным внесением.

Для достижения большего эффекта необходимо локальное внесение удобрений.

Внесение твердых минеральных удобрений в подкормку на посевах кукурузы зависит от количества выпадающих осадков и не всегда эффективно. Опытами в Германии доказана высокая эффективность подкормки [53] посевов кукурузы ЖКУ с помощью агрегата «Скарабей» в междурядья растений. При этом корневая система не повреждается.

В результатах внесения удобрений, с использованием МФА, наблюдалась неравномерность. Гранулы были расположены в слое 1 – 4 см.

Значения коэффициента вариации распределения семян по глубине, представлены в таблице 4.6. Данный способ и технологический процесс показывают качественные характеристики заделки по глубине. Определение заделки семян и удобрений выполнили методом фактического нахождения по методике, вдоль посевного ряда срезался пласт грунта (рисунок 4.21).



Рисунок 4.21 – Замеры заделки семян и удобрений и их распределение под слоем при посеве в полевых условиях

Проведенные исследования по определению динамики всходов показывают, что семена, заделанные на опытном участке и контроле при климатических условиях 2021 г. показали подобный результат (рисунок 4.22).

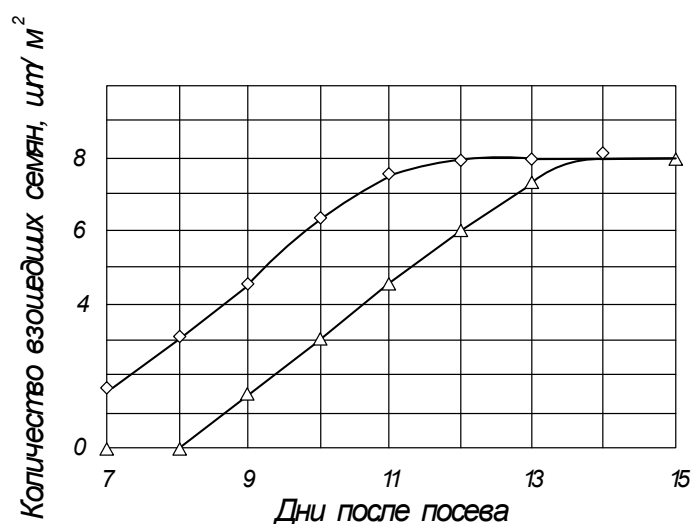


Рисунок 4.22 – Результаты всходов:

на опыте – \diamond и контроле – \triangle

Полевая всхожесть в опыте также была одинакова. По общему виду посевов кукурузы на опыте и контроле (2021 г.) после последней обработки (рисунок 4.23) существенных различий не обнаружено.



а

б

Рисунок 4.23 – Фото посевов кукурузы:
а – на опытном участке; б – на контрольном участке

Результаты в 2021 году одногодичного опыта по влиянию предлагаемой технологии с применением МФА (таблица 4.10) показали тенденцию прибавки зеленой массы на опытном участке, но экономическая эффективность и особенно затраты труда намного сокращаются (см. 5 главу).

Таблица 4.10 – Влияние предлагаемой технологии и МФА на урожайность зеленой массы кукурузы

Участок	Урожайность зеленой массы кукурузы по повторениям, ц/га				НСР ₀₅
	1-я	2-я	3-я	Средняя	
Опыт	190,7	190,6	190,8	190,7	15,4
Контроль	190,5	190,4	190,6	190,5	

4.5 Выводы по главе

1. Обоснована технология предпосевной обработки и ухода за посевами кукурузы предлагаемым агрегатом, предусматривающим создание требуемого гранулометрического состава верхнего слоя почвы, равномерного по глубине профиля дна борозды и гребнистости поверхности поля, уничтожения сорняков, и заделки минеральных удобрений. Все перечисленные требования выполняются при надежной работе агрегата, снабженного пружинными зубьями конструкции согласно патентам на изобретение №2739803, №2771947 и полезную модель № 188549.

2. Внесение заданной нормы минеральных удобрений агрегатом на примере аммиачной селитры обеспечивается с учетом их физико-химических свойств (коэффициент трения скольжения 0,13; плотность 1,68 г/см³; скорость воздуха 12,74 м/с; расход воздуха 116 м³/ч и средневзвешенная критическая скорость 13 м/с при диаметре тукопровода 0,027 м, глубине заделки до 4 см.)

3. При статистическом приложении нагрузки на пружинный зуб 9,5 Н предельная величина его отклонения от исходного составляет 4,3 мм для диаметра зуба 10 мм.

4. Установлена закономерность влияния угла заточки граней зубьев на величину их истирания о почву и радиуса закругления лезвия. За 90 часов испытаний зуба в почвенном канале минимальная величина истирания зуба о почву с углом заточки 20° составила 2,9 г и максимальная величина истира-

ния – для контрольного зуба – 3,72 г. Для углов с заточкой граней зуба 10° и 30° величина истирания зуба от его массы составила 3,3 г. На основании полученных зависимостей было установлено, что рациональный угол заточки граней зубьев составляет 20° .

5. Удельное тяговое сопротивление агрегата с модернизированными зубьями, зависящее от нормальной силы и силы трения при разных углах граней зуба ($10\text{--}30^\circ$), углах их наклона ($30\text{--}90^\circ$) на слабовыщелоченном предкавказском черноземе с влажностью 18 % в интервале рабочей скорости от 5 до 15 км/ч составило 0,4–0,98 кН/м.

5. На основании зависимости удельного тягового сопротивления от скорости движения, угла заточки и наклона зубьев, а также критерия оптимизации затрат на процесс боронования с одновременным внесением удобрений от параметров и режимов работы получено следующее. С увеличением мощности двигателя затраты пропорционально возрастают с 182 до 313 руб./га при изменении ширины захвата от 22 до 30 м. С ростом скорости движения от 8 км/ч до 16 км/ч общие затраты также возрастают с 248 до 260 руб./га. Производительность агрегата с увеличением скорости и ширины захвата пропорционально возрастает с 15 до 35 га/ч, а с ростом емкости бункера для удобрений с 1 до 3 м³ темпы роста производительности при емкости 3 м³ составляют 20 % при ширине захвата 30 м и 30 % при ширине захвата 22 м. Требуемая мощность двигателя пропорционально возрастает с ростом скорости движения и ширины захвата: при ширине захвата 30 м и скорости 8 км/ч требуется мощность 98 кВт, а уже при той же ширине и скорости 16 км/ч – 242 кВт, производительность труда повышается в 2,3 раза с 0,7 в до 1,62 га/ч с применением МФА.

6. Качество предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы по предлагаемой технологии по сравнению с базовой в полной мере соответствует агротехническим требованиям. Особенно ценно сохранение при междурядных обработках посевов равномерной глубины при коэффициенте

вариации до 10 % по сравнению с серийным междурядным культиватором при коэффициенте вариации 32 %.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Методические особенности определения эффективности предлагаемой технологии предпосевной обработки и ухода за посевами кукурузы

Отличительная особенность предлагаемой технологии предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы состоит в следующем. В предлагаемой технологии упразднены культиваторы для сплошной и между-рядной культивации, а предпосевная обработка почвы, до- и послевсходовое боронование посевов кукурузы выполняется пружинными боронами ЗБП-24 с модернизированными зубьями согласно патентов автора. Замена культиваторов доказана лабораторно-полевым опытом в учхозе «Кубань» Кубанского ГАУ в 2021 г. В технологии сделано допущение, что на поле под кукурузу отсутствуют многолетние сорняки, как это предусмотрено системой земледелия [56, 90], а проростки однолетних сорняков легко уничтожаются боронованием. Кроме того, окучивание посевов кукурузы проводится в обязательном порядке, как и предусмотрено системой земледелия [56, 90], но выполняется специальным серийным агрегатом культиватором-подкормщиком жидкими комплексными удобрениями «Скарабей». Культиватор снабжается окучниками для окучивания растений кукурузы, как это требует система земледелия [56]. Жидкие удобрения в обычных технологических картах пока не предусмотрены, но эффект от них очень высокий. Так, в Германии даже на повторных посевах кукурузы на силос получена прибавка урожая зеленой массы 15–30 % с початками молочно-восковой спелости [74].

Варианты сравниваемых технологий представлены в таблице 5.1. Поскольку в технологии требуется окучивание посевов, к пружинным боронам

добавлен один агрегат «Скарабей» для внесения жидких удобрений и окуливания кукурузы.

Таблица 5.1 – Варианты технологий предпосевной обработки почвы и ухода за посевами

№ п/п	Наименование операции	Состав МТА	Производительность, га/ч	Расход топлива, кг/га
а) Базовая технология				
1	Боронование зяби в 2 следа	Т-150К + СГ-21 + ЗБЗСС-1	6,3	3,0
2	Культивация на 8 см	Т-150К + КПС-4	6,1	5,8
3	Предпосевная культивация на 6 см	Т-150К + КПС-4	6,3	5,3
4	Довсходное боронование	Т-150К + СГ-21 + ЗБСС-1	12,1	1,1
5	Повсходное боронование	Т-150К + СГ-21 + ЗБСС-1	9,6	1,2
6	1-я междурядная культивация на 8–10 см	МТЗ-1221 + КРК-5,6	2,4	2,3
7	2-я междурядная культивация	МТЗ-1221 + КРК-5,6	2,9	2,1
б) Предлагаемая технология				
1	Боронование зяби в 2 следа	Т-150К + МФА	12	6,0
2	Предпосевное боронование	Т-150К + МФА	24	2,0
3	Боронование до всходов	Т-150К + МФА	19,2	2,0
4	Повсходное боронование	Т-150К + МФА	12,0	2,5
5	Боронование междурядное трехкратное	Т-150К + МФА	12,0	2,5
6	Подкормка посевов кукурузы с окуливанием	МТЗ-1221 + «Скарабей»	7,7	3,4

Судя по данным таблицы 5.1, можно сделать вывод, что по предлагаемой технологии требуется только четыре марки машин для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы, а в базовой технологии – шесть.

Эксплуатационные затраты и удельные затраты труда подчеркивают преимущество предлагаемой технологии ухода (таблица 5.2).

Расчеты экономической эффективности выполнены в соответствии с ГОСТ 34393-2018. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической

оценки [35]. Исходные данные к расчетам приведены в приложении 12. Расчеты показывают высокую эффективность предлагаемой технологии по производительности труда и эксплуатационным затратам (таблица 5.2). Так, производительность труда на предпосевной обработке почвы и ухода за посевами кукурузы повышается с 0,7 га/ч в базовой технологии до 1,62 га/ч или в 2,3 раза. Эксплуатационные затраты снижаются с 2890,7 руб/га до 2043,3 руб/га, капиталовложения в механизацию процесса окупаются за один сезон без учета прибавки урожая от ЖКУ.

Таблица 5.2 – Экономическая эффективность предлагаемой технологии ухода за посевами кукурузы

	Показатель	Значение показателя		Эффективность	
		применяемый	предлагаемый	абсолютный	относительный, %
1	Затраты труда, чел.-ч/га	1,42	0,62	-1,80	-54,6
2	Производительность труда, га/ч	0,7	1,62	+0,91	+242,9
3	Эксплуатационные затраты, руб.	2890,7	2043,3	-807,4	-25,9
	в том числе:				
	– оплата труда с начислениями	176,3	38,8	-137,5	-77,9
	– амортизационные отчисления	1811,8	1006,9	-804,9	-44,4
	– затраты на ремонт и технические обслуживания	895,6	1036,0	+140,4	+15,7
– стоимость ТСМ	7,1	1,6	-5,5	-77,5	
	– прочие прямые затраты				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов исследований по обоснованию предлагаемой технологии предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы сделаны следующие выводы.

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема МФА, совмещающего технологические операции внесения удобрений и боронование почвы с модернизацией пружинных зубьев согласно патентам РФ на изобретения №2739803, №2771947 и полезную модель №188549.

2. Разработана математическая модель и алгоритм оптимизации параметров МФА и режимов его работы: ширина захвата – 30 м, скорость движения – 8 км/ч, емкость двух бункеров для удобрений – 3 м³. На выполнение процесса боронования с внесением минеральных удобрений требуемая мощность двигателя трактора составила 98 кВт, коэффициент использования сменного времени – 0,86, производительность агрегата – 24,0 га/ч.

3. Проведенные лабораторные исследования показали влияние угла заточки граней зубьев на величину их истирания о почву и радиуса износа лезвия. За 90 ч испытаний зуба в почвенном канале величина его истирания превысила в 1,3 раза для зуба с углом заточки 20° и в 1,1 раза для зубьев с углом 10° и 30°. Радиус закругления лезвия зуба снизился с 3,8 мкм у зуба с углом заточки 30° до 3,3 у зуба с углом 20° и до 3 мкм у зуба с углом заточки 10°.

4. Согласно регрессионной модели по критерию оптимизации минимум удельного тягового сопротивления 0,43 кН/м достигается при угле заточки зуба 20,98° и наклоне 61,86°.

5. Сходимость теоретической и экспериментальной зависимостей удельного тягового сопротивления МФА от рабочей скорости при углах заточки зубьев 10 – 30° определялась по общепринятой методике, относительная ошибка составила 4%.

6. Экономическая эффективность предлагаемого МФА для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы показала его целесооб-

разность: производительность повышается в 2,3 раза с 0,7 га/ч до 1,62 га/ч в сравнении с базовой технологией, а эксплуатационные затраты снижаются в 1,4 раза с 2890,7 руб./га до 2043,3 руб./га. Капиталовложения в механизацию процессов предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы окупаются за один сезон.

Рекомендации производству

Рекомендуется к внедрению в АПК ресурсосберегающая технология предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы на базе МФА с модернизированной конструкцией зубьев и с научно обоснованными параметрами и режимами работы. Комплекс машин в предлагаемой технологии обеспечит по сравнению с серийным повышением производительности труда в 2,3 раза и снижение эксплуатационных затрат в 1,4 раза.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшее совершенствование предлагаемого МФА и технологии предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы будет направлено на использование автоматизированной системы внесения минеральных удобрений на базе ГЛОНАСС или GPS с применением листовой и почвенной диагностики, а также на модернизацию конструкции МФА для возможности междурядных обработок посевов в более поздние фазы их развития по сравнению с базовой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авлюшин, В. А. Ареалы и зоны вредоносности основных сорных растений, вредителей и болезней сельскохозяйственных культур [Текст] / В. А. Авлюшин. – СПб. : ВИЗР РАСХН, 2005. – 84 с.
2. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Марков, Ю. В. Греновский. – М. : Наука, 1976. – 278 с.
3. Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности [Текст] : учебник для вузов/ А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высшая школа, 1990. – 400 с.
4. Алтухов, А. И. Экономика производства кукурузы [Текст] / А. И. Алтухов, В. И. Нечаев, А. И. Трубилин [и др.]. – М. : Агри Пресс, 2006. – 528 с.
5. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] : В 3 т. Т 2. – 8-е изд., перераб. и доп. / под ред. И. Н Жестковой / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001. – 912 с. : ил.
6. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] : В 3 т. Т 3. – 8-е изд., перераб. и доп. / под ред. И. Н Жестковой / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001. – 864 с. : ил.
7. Атнагулов, Д. Т. Обоснование конструктивно-технологической схемы сошника и его параметров для полосного посева семян зерновых культур [Текст] / Д. Т. Атнагулов. – Уфа, 01.01.2012.
8. Ачеркан, Н. С. Детали машин. Сборник материалов по расчету и конструированию в двух книгах [Текст] / Н. С. Ачеркан. – М. : Машиностроение, 1953.
9. Баловнев, В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин [Текст] : учеб. пособие / В. И. Баловнев. – М. : Высшая школа, 1981.

10. Баздырев, Г. И. Борьба с сорными растениями в почвозащитном земледелии : Земледелие на рубеже XX века [Текст] / Г. И. Баздырев. – М. : МСХА, 2003. – С. 44–52.
11. Баздырев, Г. И. Сорные растения и меры борьбы с ними в современном земледелии [Текст] / Г. И. Баздырев, Л. И. Зотов, В. Д. Полин. – М. : МСХА, 2004. – 288 с.
12. Байметов, Р. И. Оптимизация, направления силы тяги зубовой бороны [Текст] / Р. И. Байметов, А. Тухтакузиев // Механизация и электрификация с.-х. хозяйства. – 1983. – № 4. – С. 23–24.
13. Басаревский, А. Н. Техническое обеспечение ресурсосберегающей технологии ранневесеннего закрытия почвенной влаги [Текст] / А. Н. Басаревский // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 5. С. 32–33.
14. Бать, М. И. Теоретическая механика в примерах и задачах. Том II. Динамика [Текст] / М. И. Бать, Г. Ю. Джанелидзе, А. С. Кельзон. – 3-е изд. – М. : Наука, 1966. – 644 с.
15. Беспамятнова, Н. М. Исследование технологических процессов обработки почвы и посева при вибрационном воздействии [Текст] / Н. М. Беспамятнова, В. В. Реутин, Ю. А. Беспамятнов, А. А. Колинко // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. – 2016. – № 3. – С. 94–99.
16. Биоэнергетическая оценка агротехнических приемов в ресурсосберегающих технологиях растениеводства [Текст]. – Краснодар, 1994.
17. Божидарник, В. В. Элементы теории, упругости [Текст] / В. В. Божидарник, Г. Т. Сулим. – М. : Мир, 1994. – 559 с.
18. Борисенко, И. Б. Влияние конструктивных параметров зуба на технологию работы «Штригеля» [Текст] / И. Б. Борисенко, А. Н. Чернявский // Материалы Международ. научн.-практ. конф., посвященной 70-летию Победы в ВОВ (03–05 февраля 2015 г.). – Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2015. – С. 174–177.

19. Пат. 2455810 Российская Федерация, МПК А 01В 19/02. Борона пружинная [Текст] / А. А. Овчинников, И. Б. Борисенко, Ю. Н. Плескачев, А. Н. Цепляев. – Опубл. 20.07.2012. Бюл. № 20.
20. Блэк, К. А. Растения и почва [Текст] / К. А. Блэк. – М. : Колос, 1973.
21. Бурда, А. Г. Исследование операций в экономике АПК [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Бурда, Г. П. Бурда. – Краснодар : Кубанский ГАУ, 2014. – 566 с.
22. Бусленко, Н. П. Математическое моделирование производственных процессов [Текст] / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1964. – 362 с.
23. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г. В. Веденяпин. – М. : Колос, 1973. – 100 с.
24. Вентцель, Е. С. Исследование операций [Текст] / Е. С. Ветцель. – М. : Сов. радио, 1972. – 551 с.
25. Воробьев, Н. Е. Вредоносность сорных растений и конкурентоспособность сельскохозяйственных культур [Текст] / Н. Е. Воробьев, Б. М. Силыбаев, Е. М. Шабанов // Борьба с сорняками, при возделывании сельскохозяйственных культур. – М. : Агропромиздат, 1988. – С. 192–194.
26. Горячкин, В. П. Собрание сочинений в трех томах [Текст] / В. П. Горячкин. – М. : Колос, 1968.
27. Газалов, В. С. Использование статистических методов при решении прикладных задач в сельскохозяйственном производстве [Текст] / В. С. Газалов, Н. Е. Пономарёв, В. Н. Беленов. – зерноград : ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемия, 2011.
28. Газалов, В. С. Статистика в примерах [Текст] / В. С. Газалов, Н. Е. Пономарёв, В. Н. Беленов. – зерноград : ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемия, 2011.

29. Голубев, В. В. Совершенствование технологических процессов и технических средств для предпосевной обработки почвы, посева льна и других мелкосемянных культур [Текст] : дис....д-ра техн. наук / Голубев Вячеслав Викторович. – М., 2017. – 421 с.

30. Горячкин, В. П. Сельскохозяйственные машины и орудия, сельскохозяйственное оборудование [Текст] . В 3 т. Т.1. Собрание сочинений / под ред. В. П. Горячкина. – М. : КолосСС, 1968. – 489 с.

31. Горячкин, В. П. Сельскохозяйственные машины и орудия, сельскохозяйственное оборудование [Текст] . В 3 т. Т.1. Собрание сочинений / под ред. В. П. Горячкина. – М. : КолосСС, 1968. – 489 с.

32. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2013. – С. 34–37.

33. ГОСТ Р 52728-2007. Национальный стандарт Российской Федерации. Метод натурной тензометрии [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2007. – С. 57–89.

34. ГОСТ 24055-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний.

35. ГОСТ 34393-2018. Техника сельскохозяйственная. методы экономической оценки.

36. Гринько, Н. И. Сорные растения и борьба с ними в Ростовской области [Текст] / Н. И. Гринько, А. Х. Титов, В. Н. Кварин. – Персиановка : Донской СХИ, 1987. – 105 с.

37. Груздев, Г. С. Научные разработки комплексных мер борьбы с сорняками в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур [Текст] / Г. С. Груздев. – М. : Агропромиздат, 1988. – С. 5–11.

38. Даценко, Н. В. Влияние параметров и режимов работы зуба бороны на энергетические показатели и степень разрушения комьев почвы

[Текст] / Н. В. Даценко // Научн. тр. УСХА (укр. с.-х. акад.). – 1973. Вып. 100. – С. 75–81.

39. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта [Текст] / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 348 с.

40. Жусин, Б. Т., Медянов А. Х. Повышение эффективности работы по почвообрабатывающих машин с учетом износа рабочих органов [Текст] / Б. Т. Жусин, А. Х. Медянов // Матер. Междунар. научн.-техн. конф. 42. – Астана : ЕНУ им. Гумилева, 2017. – С. 119–122.

41. Доспехов, Б. А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных [Текст] / Б. А. Доспехов. – М. : Колос, 1972. – 210 с.

42. Доспехов, Б. А. Практикум по земледелию [Текст] / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1977. – 379 с.

43. Емельянов, А. М. Методические указания : элементы математической обработки и планирование инженерного эксперимента [Текст] / А. М. Емельянов, А. М. Гуров. – Минск : БСХИ, 1984. – 65 с.

44. Жук, А. Ф. Физические особенности разрушения сухих почвенных глыб ножевидными деформаторами [Текст] / А. Ф. Жук // Научно-технический бюллетень ВИМ. – 1977. – Выпуск 34. – С. 8–10.

45. Зекучаев, В. М. Зеленые враги. Сорняки Ставрополя и меры борьбы с ними [Текст] : учеб. пособие / В. М. Зекучаев. – Ставрополь : Ставропольское книж. изд-во, 1973. – 171 с.

46. Иващенко, А. А. Биологическая и химическая защита растений от вредителей, болезней и сорняков в УССР [Текст] / А. А. Иващенко, Н. И. Березницкая // Сб. трудов УСХА. – Киев, 1986. – С. 131–137.

47. Исходные требования на базовые машины технологические операции в растениеводстве [Текст] / Колл. авторов ВИМ под рук. акад. В. И. Анискина. – М. : ВИМ, 2005. – 270 с.

48. Кабанов, С. В. Использование пакета Statistica 5.0 для статистической обработки опытных данных [Текст] : метод. указания для дипломн. проект. для студентов лесного факультета специальностей 260400 «Лесное хозяй-

ство и 260500 «Садово-парковое и ландшафтное строительство» / С. В. Кабанов. – Саратов : Сарат. гос. агр. ун-т, 2000.

49. Калинина, В. Н. Математическая статистика [Текст] : учебник для техникумов / В. Н. Калинина, В. Ф. Панкин. – М. : Высшая школа, 1994. – 329 с.

50. Камбулов, С. И. Изменение плотности почвы при различных технологиях обработки почвы [Текст] / С. И. Камбулов, В. Б. Рыков, И. А. Камублов, С. Д. Ридный [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – Ставрополь, 2016. – № 1 (21). – С. 38–43.

51. Камублов, С. И. Минимизация обработки почвы под пропашные культуры и их продуктивность [Текст] / С. И. Камублов, А. В. Алабушев, А. А. Сухарев [и др.] // Аграрная наука евро-северо-востока. – Ставрополь, 2016. – № 6 (55). – С. 30–33.

52. Камыкин, Д. Ф. Влияние боронования различными образцами борон на агрофизические свойства почв [Текст] / Д. Ф. Камыкин // Плодородие почв и пути его воспроизводства : сб. научн. ст. – Кишинев, 1987. – С. 66–70.

53. Калишук, Д. Г. Вопросы сельскохозяйственной техники [Текст] : учеб. пособие / Д. Г. Калишук. – Минск : изд-во Урожай, 1964. – Т. 13. – С. 57–65.

54. Каштанов, А. Н. Научные основы современных систем земледелия [Текст] / А. Н. Каштанов. – М. : Агропромиздат, 1988. – 261 с.

55. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Н. И. Кленин, В. Г. Егоров. – М. : КолосС, 2016. – 91 с.

56. Коробка, А. Н. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе [Текст] / А. Н. Коробка, С. Ю. Орленко, Е. В. Алексеенко. – Краснодар, 2015. – 352 с.

57. Кошурников, А. В. Анализ теоретических процессов, выполняемых сельскохозяйственными машинами с помощью ЭВМ [Текст] : учеб. пособие. Часть 1 / А. Ф. Кошурников. – Пермь : Пермский с.-х. институт, 1995. – 269 с.

58. Калишук, Д. Г. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учеб. пособие / Д. Г. Калишук, Н. П. Саевич, А. И. Вилькоцкий. – Минск : БГТУ, 2011. – 426 с.

59. Кузнецов, Н. Г. Вводные лекции по математическому моделированию и математической теории эксперимента [Текст] : учеб. пособие / Н. Г. Кузнецов, С. И. Богданов. – Волгоград, 2007. – 182 с.

60. Кузнецов, Н. Г. Введение в курс математических моделей [Текст] : учеб. пособие / Н. Г. Кузнецов. – Волгоград : Волгоградский с.-х. институт, 1992. – 74 с.

61. Кулещ, А. Современная земледельческая механика [Текст] : учеб. пособие / А. Кулещ, Х. Куиперс // под ред. Ю. А. Смирнова. – М. : Агропромиздат, 1986. – 351 с.

62. Трубилин, Е.И., Абликов В.А, Солосатина Л.П, Лютый А.Н., Сельскохозяйственные машины [Текст] : учеб. пособие для обучающихся направления подготовки 311300 «Механизация сельского хозяйства» / А. Ю. Трубилин Е.И., Абликов В.А, Солосатина Л.П, Лютый А.Н., – Краснодар, 2008. – 200 с.

63. Кочев, А. Г. Аэродинамический расчет механических и гравитационных систем вентиляции [Текст] : учеб.-метод. пособие / А. Г. Кочнев, А. С. Сергиенко. – Нижний Новгород : НН ГАСУ, 2015. – С. 24.

64. Пат. 2629265 Российская Федерация. Агрегат для обработки почвы с внесением удобрений [Текст] / Г. Г. Маслов, А. С. Сергунцов; заявитель и патентообладатель Кубанский ГАУ; опубл. 28.08.2017.

65. Маслов, Г. Г., Малашихин Н. В. Способ определения качества внесения минеральных удобрений [Текст] / Г. Г. Маслов, Н. В. Малашихин // Научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения. Национальная конференция. отв. за выпуск А. Г. Кощаев. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – С. 96.

66. Маслов, Г. Г. Новая система механизации возделывания полевых культур [Текст] / Г. Г. Маслов // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского ГАУ, 2019.

67. Маслов, Г. Г. Эффективные направления снижения уплотнения почвы для сохранения ее плодородия [Текст] / Г. Г. Маслов, Н. В. Малашихин, В. П. Лаврентьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ, 2019. – № 146. – С. 24–37.

68. Медведев, В. В. Структура почвы [Текст] / В. В. Медведев. – Харьков, 2008. – 407.

69. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С. В. Мельников, В. Р. Алешин, П. М. Рошин. – М. : КолосСС, 1972. – 199 с.

70. Милюткин, В. А. Влияние параметров и скорости движения рабочего органа на процесс разрушения почвенного пласта [Текст] / В. А. Милюткин // сб. научных трудов ВИМТ. – М. : ВИМ, 1982. – С. 76–92.

71. Несмиян, А. Ю. Механизация растениеводства [Текст] : учеб. пособие / А. Ю. Несмиян. – зерноград, 2013. – 77 с.

72. Несмиян, А. Ю. Машинно-технологическое обоснование процессов обработки почвы и посева пропашных культур в условиях дефицита влаги [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. Ю. Несмиян. — зерноград : Донской ГАУ, 2017. – 24 с.

73. Опыт Германии: два урожая в год в засушливом регионе [Текст] / К. Сергеев (по данным LandwirtschaftohneFleuq. пер. с нем. О. Мозговой и Л. Косабоковой) // Земледелие. – 2011. – № 1(9). – С. 12.

74. Панов, И. М. Физические основы механики почвы [Текст] [Текст] : монография / И. М. Панов, В. И. Ветохин. – Киев : Феникс, 2008. – 271.

75. Панов, И. М. Физические основы механики почвы [Текст] / И. М. Панов, В. И. Ветохин. – Киев : Феникс, 2008. – 271.

76. Пат. 2561533 Российская Федерация, МПК А01В 23/02 Пружинный зуб бороны [Текст] / И. Б. Борисенко, Ю. Н. Плескачев, А. Н. Чернявский. – опубл. 27.08.15. Бюл. № 24. – 6 с. : ил.

77. Почвообрабатывающая техника для ресурсо- и энергосберегающих технологий STRIEGEL [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.yuqprom.ru>.

78. Проспект ООО «Оптсельмаш», 2016. Бороны пружинные тяжелые типа БПВ, объединенные с высевальным адаптером [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pplsm.ru/modeli/borony-pruzhinnye-tyazhelye/bpv-pritsepnye/>

79. Пат. 188549 Российская Федерация. Пружинная борона [Текст] / Г. Г. Маслов, В. П. Лаврентьев ; заявитель и патентообладатель Кубанский ГАУ. – опубл. 16.04.2019. Бюл. № 21. – 1 с. : ил.

80. Попов, Ю. В. Энергосберегающие технологии. Производство экологически чистой продукции в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. Режим доступа : borona-info@yandex.ru.

81. Российское зерно мало востребовано на мировом рынке [Текст] / Главный агроном. – 2009. – № 11. – С. 4–6.

82. Рунчев, М. С. Организация уборочных работ специализированными комплексами [Текст] : учебник / М. С. Рунчев, Э. И. Липкович, В. Я. Жуков. – М. : КолосСС, 1980. – 223 с.

83. Сохт, К. А. Машинные технологии возделывания зерновых культур [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / К. А. Сохт. – Краснодар : Просвещение – Юг, 2001. – 271 с.

84. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://infourok.ru/soglasno-strategii-mashinno-tehnologicheskoy-modernizacii-selskogo-hozyajstva-rossii-na-period-do-2020-goda-razrabotannoj-v-soot-4839381.html>.

85. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст] : учебник / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 331 с.

86. Сельскохозяйственная техника [Текст] : каталог / под ред. В. И. Черноиванова. – М., 1991. – Том 1. – 371 с.

87. СТО АИСТ 10 4.6-2003. Испытания сельскохозяйственной техники. машины и орудия для поверхностной обработки почвы [Текст]. – М., Омега-М, 2014. – С. 97–134.

88. Система земледелия Ставрополя [Текст] : монография / под общ. ред. акад. А. А. Жученко. – Ставрополь : АГРУС, 2011. – 844 с.

89. Тергубов, П. С. Борьба с эрозией в нечерноземье [Текст] / Т.1. Собрание сочинений / П. С. Тергубов, Н. В. Зверхановский. – СПб. : КолосСС, 1981. – 159 с.

90. Технология возделывания кукурузы в Краснодарском крае [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И. М. Петренко [и др.]. – Краснодар : Агропромполиграфист, 2001. – 89 с.

91. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки [Текст]. – М. : Стандартиформ, 2009. – С. 8.

92. Толорая, Т. Р. Кукуруза (агротехнические основы возделывания на черноземах Западного Предкавказья) [Текст] : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Т. Р. Толорая, Н. Ф. Лавренчук, М. В. Чумак, В. П. Малаканова. – Краснодар : Просвещение – Юг, 2003. – 310 с.

93. Удовения, В. А. Исследование и обоснование оптимальных параметров зубовых и дисковых борон [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. А. Удовения. – Минск, 1970. – 21 с.

94. Халанский, В. М. Интенсификация рыхления почвы зубовой бороной путем возбуждения поперечных колебаний рабочих органов [Текст] / В. М. Халанский, Д. Ходаей // Доклады ТСХА. – М. : Изд-во МСХА, 2005. – 314 с.

95. Халанский, В. М. Обоснование способа интенсификации крошения почвы зубовой бороной [Текст] / В. М. Халанский, Д. Ходаей // Доклады ТСХА. – М. : Изд-во МСХА, 2004. – С. 226–228.

96. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М. : КолосСС, 2003. – 619 с.

97. Хелемендик, М. М. Повышение эффективности агротехнических методов борьбы с сорняками. Сахарная свекла [Текст] : учеб. пособие / М. М. Хелемендик, Л. В. Сичук, О. В. Голой. – 2002. С. 18–19.

98. Цыбань, А. А. Совершенствование процесса боронования посевов сои в ранний период развития в условиях Амурской области с разработкой прополочной бороны [Текст] : учеб. пособие / А. А. Цыбань. – Благовещенск, 2012. – 43 с.

99. Чернявский, А. Н. Анализ применяемых технологий при закрытии влаги [Текст] / А. Н. Чернявский // Материалы Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. 70-летию ВолГАУ и кафедры «Земледелие и агрохимия» (14 мая 2014 г.). – Волгоград, 2014. – С. 116–121.

100. Чернявский, А. Н. Взаимосвязь конструктивных и технологических параметров рабочего органа штригельной бороны [Текст] / А. Н. Чернявский, И. Б. Борисенко // Материалы Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. 120-летию со дня рожд. К. Е. Шульмейстера (15 мая 2015 г.). – Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2015. – С. 67–73.

101. Чернявский, А. Н. Использование оригинальной сетчатой бороны striegel (штригель) при решении проблем загрязнения почв [Текст] / А. Н. Чернявский // Экологические аспекты использования земель в современных формациях : материалы Междунар. научн.-практ. конф. – Волгоград, 2017. – С. С. 121–127.

102. Чернявский, А. Н. Технологическая модель процесса работы пружинного зуба [Текст] / А. Н. Чернявский, И. Б. Борисенко // Экологические аспекты использования земель в современных формациях : материалы Междунар. научн.-практ. конф. – Волгоград, 2017. – С. 213–218.

103. Чернявский, А. Н. Экологическое состояние почв Волгоградской области [Текст] / А. Н. Чернявский, С. Ю. Сторожаков // Экологические аспекты использования земель в современных формациях : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2017. – С. 413–418.

104. Шабает, А. И. Адаптивно-экологические системы земледелия в агроландшафтах Поволжья [Текст] : учебник / А. И. Шабает. – Саратов, 2003. – 319 с.

105. Шейн, Е. В. Курс физики почв [Текст] : учебник / Е. В. Шейн. – М. : МГУ, 2005. – 429 с.

106. Maslov, G. G., Yudina E. M., Serguntsov A. S., Evglevsky R. O. Rational system of multifunctional aggregates for mechanization of plant growing // Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences. 2018. – Т.9. – №5. – P. 1177–1185.

107. Maslov G. G., Trubilin E. I., Yudina E. M., Rinas N. A. Concept of creating energy-resource-saving technologies for harvesting grain with multifunctional aggregates // research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences. 2018. – Т.9. – №4. – P. 623–630.

108. Maslov G. G., E. I. Trubilin, E. V. Truflyak. Parameters optimization for multifunctional aggregates in plant growing mechanization / Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences. – 2016. – №7(3). – P. 1919–1926.

109. Maslov G. G., Rational process machines system for producing sunflower seeds and its efficiency / E. I. Trubilin // World Applied Sciences Journal. 2014. – Т. 29. – №12. – P.1615–1620.

110. Maslov G. G., Trubilin E. I., Yudina E. M., Rinas N. A. Improving the process of harrowing and sowing crops. Indo american journal of pharmaceutical sciences. 2019. – №06 (04). – P. 7060–7064.

111. Maslov G. G, Tkachenko V. T, Yudina E. M, Kadyrov M. R, Kalitko S. A. The improvement of the technology of winter wheat grain production

for the purpose of energy saving. *Biotechnol ares of Asia.* – 2015. – №12(3).
– P. 2071–2080.

112. Trubilin E. I., Maslov G. G., Evglevsky R. O., and Lavrentyev V. A..
Grain harvesting mechanization: disadvantages and prospects // *Research journal
of pharmaceutical, biological and chemical sciences.* – 2018. – №9(2).
– P. 563–570.

113. Maslov G. G., Trubilin E. I., Yudina E. M., Rinas N. A. (2019). Opti-
mization of flow and rhythm of work of the harvest-transport link. *Indo american
journal of pharmaceutical sciences.* – 2019.– №06 (04).
– P. 7053–7059.

114. Hahn c. mitöronomishe // *None landwirtschaft.* – 2005. – N 7. – P.109.

115. Soil dynamics in tillage and traction / *Agricultura / reseacn service.*
Unitca States department of agricultura. – 1967. – N 4. – P.511.

ПРИЛОЖЕНИЯ

УТВЕРЖДАЮ
 Исполнительный директор
 ООО «Агромер»
 Илья Сергеев
 « 5 » июня 2019 г.



АКТ

Производственной проверки в ООО «Агромер» многофункционального агрегата для предпосевной обработке почвы и уходе за посевами кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений, по теме кандидатской диссертации аспиранта Лаврентьева Валерия Павловича: «Параметры многофункционального агрегата для предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы».

Комиссия в составе агронома ООО «Агромер» Гиш Нальбий Анзуровича, аспиранта Лаврентьева Валерия Павловича и профессора кафедры эксплуатации МТП Кубанского ГАУ Маслова Геннадия Георгиевича составила настоящий акт на предмет производственной проверки многофункционального агрегата для предпосевной обработке почвы и уходе за посевами кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений.

Пробные испытания проведены на поле сельскохозяйственного назначения кадастровый №01:06:02500014:300 расположенный по адресу: Россия, Республика Адыгея, Теучежский район, территория совхоза «Путь Ильича» №2 при обработке почвы и уходе за посевами кукурузы.

Состав агрегата: Трактор «Беларусь МТЗ-1021» и многофункциональный агрегат обработке почвы и уходе за посевами кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений. Опытный агрегат работал на скорости 8 км/ч. Технологический процесс протекал устойчиво. Все механизмы показали надежность и безотказность при выполнении рабочего процесса. Совмещение за один проход несколько технологических операций позволяет повысить производительность труда и сократить затраты.

Таким образом, предлагаемый МФА можно рекомендовать обработке почвы и уходе за посевами кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений.

Подписи членов комиссии:

Агроном ООО «Агромер» Н.А.Гиш
 Профессор Г.Г. Маслов
 Аспирант В.П. Лаврентьев



УТВЕРЖДАЮ
 Директор учхоза «Кубань»
 Кубанского ГАУ имени И.Т. Грубилина
 Г.В. Логойда
 11 апреля 2022 г.



АКТ

производственной проверки в учхозе «Кубань» Кубанского ГАУ технологии предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы с применением многофункционального агрегата и одновременным внесением минеральных удобрений по теме кандидатской диссертации Лаврентьева Валерия Павловича: «Совершенствование технологии предпосевной обработки почвы и ухода за посевами кукурузы».

Комиссия в составе главного инженера учхоза «Кубань» Кубанского ГАУ Кравченко Виктора Валерьевича, механика отделения №2 Фанина Александра Ивановича, механизатора Хомутова Павла Васильевича, и аспиранта Лаврентьева Валерия Павловича составила настоящий акт на предмет производственной проверки многофункционального агрегата для обработки почвы и ухода за посевами кукурузы.

Предпосевная обработка почвы и уход за посевами кукурузы с доведением до урожая, проводились на поле № 5.2 при посеве сорта МАС 37.В, предшественник озимая пшеница. Урожайность зелёной массы кукурузы на контрольном участке составила 190,5 ц/га, на опытном участке 190,7 ц/га.

Состав агрегата: Трактор «Беларусь МТЗ-1021» и многофункциональный агрегат изготовленный аспирантом. Опытный образец агрегата работал на скорости 8 км/ч. Технологический процесс протекал устойчиво. Все механизмы показали надежность и безотказность при выполнении рабочего процесса боронования почвы.

Таким образом, предлагаемый многофункциональный агрегат можно рекомендовать к использованию при посеве пропашных культур с одновременным внесением минеральных удобрений.

Подписи членов комиссий:
 Главный инженер В.В. Кравченко
 Механика отделения №2 Фанина А. И.
 Механизатора Хомутова П.В.
 Аспирант В.П. Лаврентьев



«УТВЕРЖДАЮ»
 ИП Глава КФХ
 Сень В.В.
 «Сень В.В.»
 Сень В.В.
 28 июня 2019 года

АКТ

Производственной проверки в ИП «Сень В.В.» новой технологии посева кукурузы на силос применением МФА для до- и послевсходного боронования посевов пропашных культур по теме кандидатской диссертации Лаврентьева Валерия Павловича «Параметры и режимы работы многофункционального агрегата для до- и послевсходного боронования посевов пропашных культур».

Комиссия в составе главы КФХ «Сень В.В.», профессора кафедры Эксплуатации МТП КубГАУ Маслова Геннадия Георгиевича и аспиранта Лаврентьева Валерия Павловича составили настоящий акт на предмет производственной проверки МФА до- и послевсходного боронования посевов пропашных культур.




Пробные испытания проведены 15 мая 2019 года на поле сельскохозяйственного назначения кадастровым номером: 23:14:0111001:108, расположенный по адресу: Россия, Краснодарский край, р-н Крыловский, с/о Новосергиевский, ЗАО "Новосергиевское", отделение 2, поле 1, клетка 3, №2 при посеве кукурузы на силос сорта «Краснодарская291» и «МАС37В», предшественник озимая пшеница.

Состав агрегата: Трактор «Беларусь МТЗ-1021», МФА опытный, опытный агрегат работал на скорости 8 км/час. Технологический процесс протекал устойчиво. Все механизмы показали надежность и безотказность при выполнении рабочего процесса МФА.

Установленная опытная установка сбоев и отказов не имела.

Таким образом, предлагаемый МФА можно рекомендовать к использованию.

Подписи членов комиссий:

ИП Глава КФХ «Сень В.В.» 
 Профессор Кафедры МТП Маслов Г.Г. 
 Аспирант Лаврентьев В.П. 

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 188549

Пружинная борона

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

Авторы: *Маслов Геннадий Георгиевич (RU), Лаврентьев Валерий Павлович (RU), Москалев Николай Владимирович (RU)*

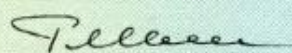
Заявка № 2018147658

Приоритет полезной модели 28 декабря 2018 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 16 апреля 2019 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 28 декабря 2028 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

 Г.П. Исхиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2739803

Агрегат для обработки почвы с внесением удобрений

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

Авторы: *Маслов Геннадий Георгиевич (RU), Лаврентьев Валерий Павлович (RU), Ушаков Дмитрий Алексеевич (RU)*

Заявка № 2020113779

Приоритет изобретения 03 апреля 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 28 декабря 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 03 апреля 2040 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2771947

Пружинная борона

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

Авторы: *Маслов Геннадий Георгиевич (RU), Ушаков Денис Александрович (RU), Лаврентьев Валерий Павлович (RU)*

Заявка № **2021123611**

Приоритет изобретения **05 августа 2021 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **13 мая 2022 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **05 августа 2041 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов





За участие в XXIII Агропромышленной
выставке-ярмарке «Золотая Нива»

НАГРАЖДАЕТСЯ

Лаврентьев Валерий Павлович

Министр сельского хозяйства и
перерабатывающей промышленности
Краснодарского края

Дерека Ф. И.

Краснодарский край, г. Усть-Лабинск
2023 г.

Листинг программы

"Каноническое преобразование уравнения регрессии"

b0 := 432.623 b1 := 1.999 b2 := 1.0 b3 := 2.5
 b12 := -15.75 b13 := -18.75 b23 := -14.25
 b11 := 1.375 b22 := 2.375 b33 := 0.875 zp := 1

2·b11·x1 + b12·x2 + b13·x3 = -b1
 b12·x1 + 2·b22·x2 + b23·x3 = -b2
 b13·x1 + b23·x2 + 2·b33·x3 = -b3

$$M := \begin{bmatrix} 2 \cdot b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{12} & 2 \cdot b_{22} & b_{23} \\ b_{13} & b_{23} & 2 \cdot b_{33} \end{bmatrix} \quad v = \begin{bmatrix} -b_1 \\ -b_2 \\ -b_3 \end{bmatrix} \quad x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} 0.0623 \\ 0.0976 \\ 0.0338 \end{bmatrix}$$

x1 := x0 x2 := x1 x3 := x2

f1(x1,x2,x3) := b0 + b1·x1 + b2·x2 + b3·x3 + b12·x1·x2 + b13·x1·x3 + b23·x2·x3

f(x1,x2,x3) := f1(x1,x2,x3) + b11·x1² + b22·x2² + b33·x3² Ys := f(x1,x2,x3)

$$b = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{b_{23}^2}{(b_{22} - b_{33})^2} + 1}} \right] \quad \pi := 3.141592$$

$$\alpha := \text{asin}(b) \quad \alpha = 0.733$$

B1 := b11 B2 := b22·(cos(α))² + b33·(sin(α))² + b23·sin(α)·cos(α)

B3 := b22·sin(α)² + b33·cos(α)² - b23·sin(α)·cos(α) α := α· $\frac{180}{\pi}$

$$J1 := b11 + b22 + b33$$

$$J2 := B1 + B2 + B3$$

$$x1 = 0.0623 \quad x2 = 0.0976 \quad x3 = 0.0338 \quad J1 = 4.625 \quad J2 = 4.625$$

$$Ys = 432.7763 \quad B1 = 1.375 \quad B2 = -5.3823 \quad B3 = 8.6323 \quad \alpha = 41.9955$$

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - Ys = B1 \cdot X_1^2 + B2 \cdot X_2^2 + B3 \cdot X_3^2 \text{ или}$$

$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y - Ys}{B1}} + \frac{(X_2)^2}{\frac{Y - Ys}{B2}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y - Ys}{B3}} = 1$$

$$\text{Итого:} \quad x3 = 0.0338 \quad \text{или:}$$

$$2 \cdot b11 \cdot x1 + b12 \cdot x2 = -b1 - b13 \cdot x3$$

$$b12 \cdot x1 + 2 \cdot b22 \cdot x2 = -b2 - b23 \cdot x3$$

$$M := \begin{bmatrix} 2 \cdot b11 & b12 \\ b12 & 2 \cdot b22 \end{bmatrix} \quad v := \begin{bmatrix} -b1 - b13 \cdot x3 \\ -b2 - b23 \cdot x3 \end{bmatrix} \quad x := M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} 0.0623 \\ 0.0976 \end{bmatrix}$$

$$x1 := x_0 \quad x2 := x_1$$

$$f1(x1, x2) := b0 + b1 \cdot x1 + b2 \cdot x2 + b3 \cdot x3 + b12 \cdot x1 \cdot x2 + b13 \cdot x1 \cdot x3 + b23 \cdot x2 \cdot x3$$

$$f(x1, x2) := f1(x1, x2) + b11 \cdot x1^2 + b22 \cdot x2^2 + b33 \cdot x3^2 \quad Ys := f(x1, x2)$$

$$b := \begin{cases} \frac{b12}{b11 - b22} & \text{if } b12 \neq 0 \\ \frac{b11 - b22}{b12} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha := \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b12 \neq 0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b11 = b22 \\ \frac{\text{atan}\left(\frac{1}{b}\right)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$$

$$E := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A := \begin{bmatrix} b11 & \frac{b12}{2} \\ \frac{b12}{2} & b22 \end{bmatrix} \quad \alpha := \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 - B \cdot (b11 + b22) + \left[b11 \cdot b22 - \left(\frac{b12}{2} \right)^2 \right] = 0$$

$$C := \text{eigenvals}(A) \quad C = \begin{bmatrix} -6.0159 \\ 9.7659 \end{bmatrix} \quad B11 := C_0 \quad B22 := C_1$$

$$Ys = 432.7763 \quad B11 = -6.0159 \quad B22 = 9.7659 \quad \alpha = 43.1835$$

$$x1 = 0.0623 \quad x2 = 0.0976$$

$$J1 := b11 + b22 \quad J2 := B11 + B22 \quad J1 = 3.75 \quad J2 = 3.75$$

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - Ys = B1 \cdot X_1^2 + B2 \cdot X_2^2 \text{ или}$$

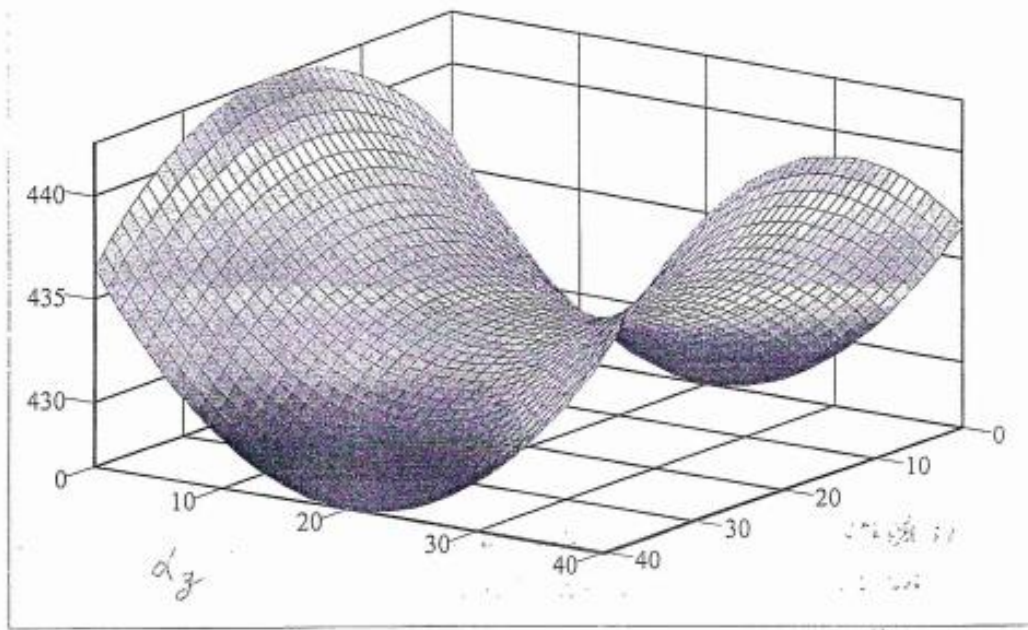
$$\frac{\left(\frac{X_1}{Y - Ys} \right)^2}{B1} + \frac{\left(\frac{X_2}{Y - Ys} \right)^2}{B2} = 1$$

$$kk := 40 \quad X1 := 0..kk \quad X2 := 0..kk$$

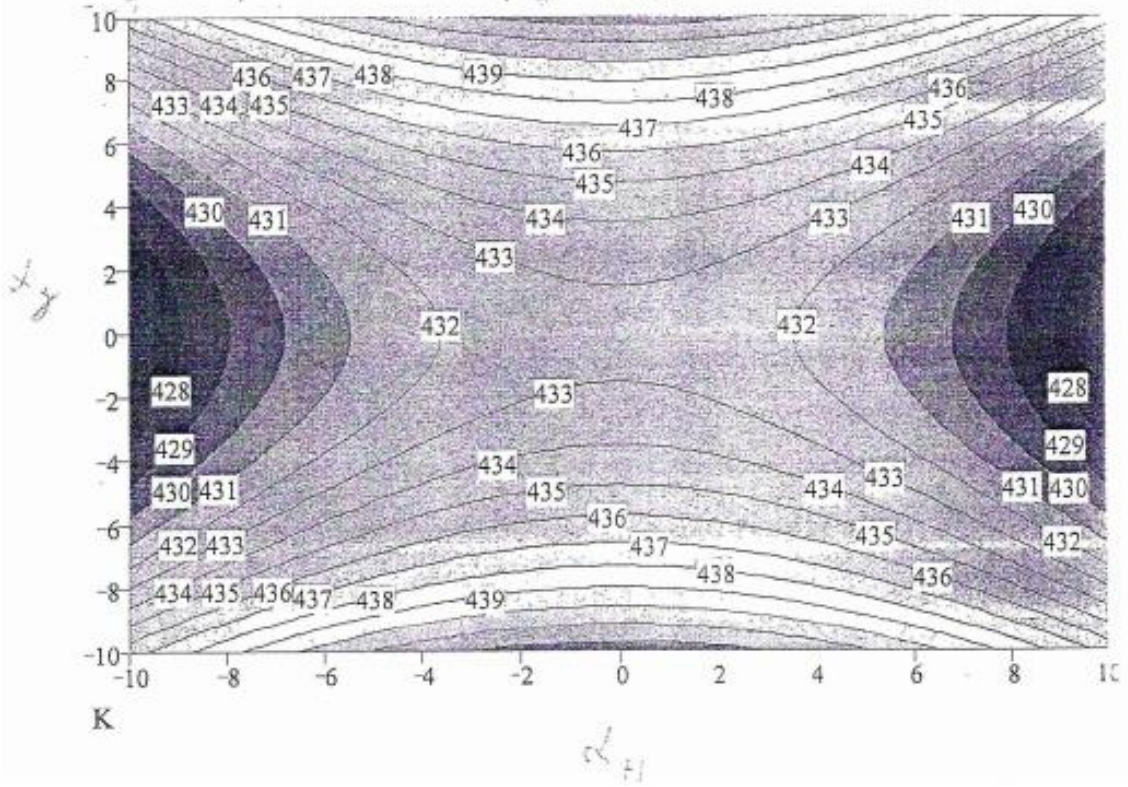
$$X22(X2) := -zp + 2 \cdot \frac{zp}{kk} \cdot X2 \quad X11(X1) := -zp + 2 \cdot \frac{zp}{kk} \cdot X1$$

$$z(X11, X22) := Ys + B11 \cdot X11(X1) \cdot X11(X1) + B22 \cdot X22(X2) \cdot X22(X2)$$

$$K_{X1, X2} := z(X11, X22)$$



K



$$\text{Yöleilääl} \quad x_2 = 0.0976 \quad \text{ölää:}$$

$$2 \cdot b_{11} \cdot x_1 + b_{13} \cdot x_3 = b_1 - b_{12} \cdot x_2$$

$$b_{13} \cdot x_1 + 2 \cdot b_{33} \cdot x_3 = -b_3 - b_{23} \cdot x_2$$

$$M := \begin{bmatrix} 2 \cdot b_{11} & b_{13} \\ b_{13} & 2 \cdot b_{33} \end{bmatrix} \quad v := \begin{bmatrix} -b_1 - b_{12} \cdot x_2 \\ -b_3 - b_{23} \cdot x_2 \end{bmatrix} \quad x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} 0.0623 \\ 0.0338 \end{bmatrix}$$

$$x_1 := x_0 \quad x_3 := x_1$$

$$f_1(x_1, x_3) := b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3$$

$$f(x_1, x_3) := f_1(x_1, x_3) + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 \quad Y_s = f(x_1, x_3)$$

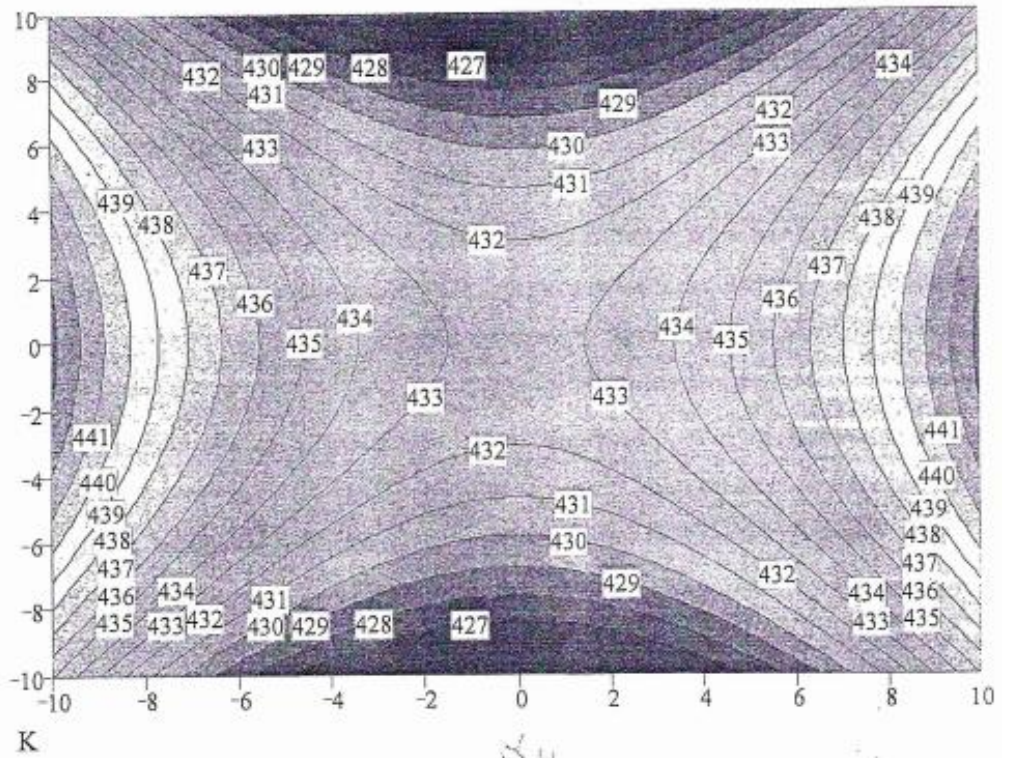
$$b := \begin{cases} \frac{b_{13}}{b_{11} - b_{33}} & \text{if } b_{13} = 0 \\ \frac{b_{11} - b_{33}}{b_{13}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha = \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b_{13} = 0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b_{11} = b_{33} \\ \frac{\text{atan}\left(\frac{1}{b}\right)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$$

$$E := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A := \begin{bmatrix} b_{11} & \frac{b_{13}}{2} \\ \frac{b_{13}}{2} & b_{33} \end{bmatrix} \quad \alpha := \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 - B \cdot (b_{11} + b_{33}) + \left[b_{11} \cdot b_{33} - \left(\frac{b_{13}}{2} \right)^2 \right] = 0$$

$$C := \text{eigenvals}(A) \quad C = \begin{bmatrix} 10.5033 \\ -8.2533 \end{bmatrix} \quad B_{11} = C_0 \quad B_{33} = C_1$$

$$Y_s = 432.7763 \quad B_{11} = 10.5033 \quad B_{33} = -8.2533 \quad \alpha = -44.2362$$



lööieiaai

$$x_1 = 0.0623$$

õiaaa:

$$2 \cdot b_{22} \cdot x_2 + b_{23} \cdot x_3 = -b_2 - b_{12} \cdot x_1$$

$$b_{23} \cdot x_2 + 2 \cdot b_{33} \cdot x_3 = -b_3 - b_{13} \cdot x_1$$

$$M := \begin{bmatrix} 2 \cdot b_{22} & b_{23} \\ b_{23} & 2 \cdot b_{33} \end{bmatrix} \quad v := \begin{bmatrix} -b_2 - b_{12} \cdot x_1 \\ -b_3 - b_{13} \cdot x_1 \end{bmatrix} \quad x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} 0.0976 \\ 0.0338 \end{bmatrix}$$

$$x_2 := x_0$$

$$x_3 := x_1$$

$$f_1(x_2, x_3) := b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3$$

$$f(x_2, x_3) := f_1(x_2, x_3) + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 \quad Y_s := f(x_2, x_3)$$

$$b := \begin{cases} \frac{b23}{b22 - b33} & \text{if } b23=0 \\ \frac{b22 - b33}{b23} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\alpha = \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b23=0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b22=b33 \\ \frac{\text{atan}\left(\frac{1}{b}\right)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$$

$$E := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A := \begin{bmatrix} b22 & \frac{b23}{2} \\ \frac{b23}{2} & b33 \end{bmatrix} \quad \alpha = \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 - B \cdot (b22 + b33) + \left[b22 \cdot b33 - \left(\frac{b23}{2} \right)^2 \right] = 0$$

$$C := \text{eigenvals}(A) \quad C = \begin{bmatrix} 8.7894 \\ -5.5394 \end{bmatrix} \quad B22 = C_0, \quad B33 = C_1$$

$$Ys = 432.7763 \quad B22 = 8.7894 \quad B33 = -5.5394 \quad \alpha = -44.2362$$

$$x2 = 0.0976 \quad x3 = 0.0338$$

$$J1 = b22 + b33 \quad J2 = B22 + B33 \quad J1 = 3.25 \quad J2 = 3.25$$

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - Ys = B2 \cdot X_2^2 + B3 \cdot X_3^2 \text{ или}$$

$$\frac{(X_2)^2}{\frac{Y - Ys}{B2}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y - Ys}{B3}} = 1$$

$$kk := 40 \quad X2 = 0..kk \quad X3 = 0..kk$$

$$X22(X2) = -zp + 2 \cdot \frac{zp}{kk} \cdot X2 \quad X33(X3) = -zp + 2 \cdot \frac{zp}{kk} \cdot X3$$

$$z(X22, X33) = Ys + B22 \cdot X22(X2) \cdot X22(X2) - B33 \cdot X33(X3) \cdot X33(X3)$$

$$K_{X2, X3} := z(X22, X33)$$

Листинг программы

МНК 3-х факторный (действительные значения факторов)

ORIGIN := 1

n := 14 -число проведенных опытов

Действительные значения переменных

Отклик

X1 :=	X2 :=	X3 :=	y :=
$\begin{bmatrix} 90 \\ 30 \\ 90 \\ 30 \\ 90 \\ 30 \\ 90 \\ 30 \\ 90 \\ 30 \\ 60 \\ 60 \\ 60 \\ 60 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 30 \\ 30 \\ 10 \\ 10 \\ 30 \\ 30 \\ 10 \\ 10 \\ 20 \\ 20 \\ 30 \\ 10 \\ 20 \\ 20 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 15 \\ 15 \\ 15 \\ 15 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 15 \\ 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 960 \\ 530 \\ 930 \\ 510 \\ 860 \\ 500 \\ 910 \\ 490 \\ 910 \\ 520 \\ 630 \\ 630 \\ 670 \\ 610 \end{bmatrix}$

$$zy := \sum y$$

$$zX1y := X1 \cdot y$$

$$zX2y := X2 \cdot y$$

$$zX3y := X3 \cdot y$$

$$zy = 9.66 \cdot 10^3$$

$$zX1y = 6.402 \cdot 10^5$$

$$zX2y = 5.799 \cdot 10^5$$

$$v_{10} := zy$$

$$v_9 := zX1y$$

$$v_8 := zX2y$$

$$v_7 := zX3y$$

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

$$zX1X3y := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X3_j \cdot y_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{cases}$$

$$zX1X2y = 3.839 \cdot 10^7$$

$$zX1X3y = 6.482 \cdot 10^6$$

$$v_6 := zX1X2y$$

$$v_5 := zX1X3y$$

$$x := M^{-1} \cdot v$$

x =

	1
1	0.035
2	0.02375
3	0.0015277778
4	-0.285
5	-0.125
6	-0.0525
7	13
8	5.15
9	2.1833333333
10	245.125

$$D0 := x_{10} \quad D1 := x_9 \quad D2 := x_8 \quad D3 := x_7 \quad D12 := x_6 \quad D13 := x_5 \quad D23 := x_4 \quad D11 := x_3$$

$$D22 := x_2 \quad D33 := x_1$$

Действительные коэффициенты уравнения вида:

$$y = D0 + D1 \cdot X1 + D2 \cdot X2 + D3 \cdot X3 + D12 \cdot X1 \cdot X2 + D13 \cdot X1 \cdot X3 + D23 \cdot X2 \cdot X3 + D11 \cdot X1 \cdot X1 + D22 \cdot X2 \cdot X2 + D33 \cdot X3 \cdot X3$$

$$D0 = 245.125$$

$$D1 = 2.1833333333$$

$$D2 = 5.15$$

$$D3 = 13$$

$$D12 = -0.0525$$

$$D13 = -0.125$$

$$D23 = -0.285$$

$$D11 = 0.0015277778$$

$$D22 = 0.02375$$

$$D33 = 0.035$$

$$j := 1..n$$

$$yp1_j := D0 + D1 \cdot X1_j + D2 \cdot X2_j + D3 \cdot X3_j$$

$$yp2_j := D12 \cdot X1_j \cdot X2_j + D13 \cdot X1_j \cdot X3_j + D23 \cdot X2_j \cdot X3_j$$

$$yp3_j := D11 \cdot X1_j \cdot X1_j + D22 \cdot X2_j \cdot X2_j + D33 \cdot X3_j \cdot X3_j$$

$$yp := yp1 + yp2 + yp3$$

$$dy := y - yp$$

Листинг программы

Макрос 1 (Расчет)

```

Sub ReCountDan()
Set Ran = Worksheets("Данные ").Range("A1:O65536")
    r = 10000
    Ran(2, 3) = "Lp": Ran(3, 3) = 0.5: Ran(4, 3) = 1.5: Ran(5, 3) = 0.1
    Ran(2, 5) = "Bp": Ran(3, 5) = 2: Ran(4, 5) = 30: Ran(5, 5) = 1
    Ran(2, 7) = "Vp": Ran(3, 7) = 4: Ran(4, 7) = 15: Ran(5, 7) = 1
    Ran(2, 9) = "Vb": Ran(3, 9) = 1: Ran(4, 9) = 3: Ran(5, 9) = 0.5
    Ran(2, 11) = "km": Ran(3, 11) = 0.4: Ran(4, 11) = 1: Ran(5, 11) = 0.1
For Lp = Ran(3, 3) To Ran(4, 3) + 0.01 Step Ran(5, 3)
    For Bp = Ran(3, 5) To Ran(4, 5) + 0.01 Step Ran(5, 5)
        For Vp = Ran(3, 7) To Ran(4, 7) + 0.01 Step Ran(5, 7)
            For Vb = Ran(3, 9) To Ran(4, 9) + 0.01 Step Ran(5, 9)
                For km = Ran(3, 11) To Ran(4, 11) + 0.01 Step Ran(5, 11)
Ne = Bp * Vp * km * ((1 + 0.006 * (Vp - 4) ^ 2) + 2.4 * Vb) / 3.24
Ctb = 38.7 * Ne
trc = 2 * Lp / Vp
txc = 0.026
toc = 0.01 * Bp / Vb
tc = trc + txc + toc
nc = 6.8 / tc
Tp = trc * nc
t = 13.6 * Lp / (13.6 * Lp + 0.2 + 0.18 * Vp + 0.0085 * Bp * Vp / Vb)
W = 0.1 * Bp * Vp * t

```

```

U1 = (0.2 * Ctb + 250 + 42.83 * Bp) / W
U2 = 1 / (13.7 * 10 ^ -9 * Ne ^ 2 + 4.22 / Ne + 22.44 * 10 ^ -6 * Ne)
U3 = Exp(0.762 * Log(Ne) - 2.66)
U4 = Exp(-8.71 * 10 ^ -6 * Ne ^ 2 + 0.383 * Log(Ne) + 6.161 * 10 ^ -3 * Ne)
Ue = U1 + (U2 + U3 + U4) * 44 / W
K = (Ctb * 1.27 + 139.52 * Bp) / W
Cpr = Ue + 0.15 * K
    If Cpr <= r Then
        r = Cpr
    End If
    Next km
    Next Vb
    Next Vp
    Next Bp
Next Lp
End Sub

```

Макрос 2 (Очистка)

```

Sub ReCountDan1()
Set Ran = Worksheets("Данные ").Range("A1:O65536")
Worksheets("Данные").Range("A1:O65536") = ""
End Sub

```

Зависимость Сбм от Вр

ORIGIN := 1 n := 5

Вр					С бм
X1 :=	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 5.7 \\ 6.2 \\ 8 \\ 9 \end{bmatrix}$	y :=	$\begin{bmatrix} 4.725 \\ 5.854 \\ 6.368 \\ 8.217 \\ 9.244 \end{bmatrix}$	yd := y · 10 ⁶	$\begin{bmatrix} 4.725 \cdot 10^6 \\ 5.854 \cdot 10^6 \\ 6.368 \cdot 10^6 \\ 8.217 \cdot 10^6 \\ 9.244 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$

Коэффициенты уравнения вида:

$$y = B_0 \cdot X^3 + B_1 \cdot X^2 + B_2 \cdot X + B_3$$

$$B_0 = -7.857 \cdot 10^{-3}$$

$$B_2 = -1.589 \cdot 10^{-5}$$

$$B_1 = 0.158$$

$$B_3 = 2.159$$

$$j := 1..n$$

$$y_{pj} := B_0 \cdot (X1_j)^3 + B_1 \cdot (X1_j)^2 + B_2 \cdot X1_j + B_3$$

$$dy := y - y_p$$

$$X1 = \begin{bmatrix} 4.6 \\ 5.7 \\ 6.2 \\ 8 \\ 9 \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} 4.725 \\ 5.854 \\ 6.368 \\ 8.217 \\ 9.244 \end{bmatrix} \quad y_p = \begin{bmatrix} 4.737 \\ 5.837 \\ 6.359 \\ 8.247 \\ 9.228 \end{bmatrix} \quad dy = \begin{bmatrix} -0.012 \\ 0.017 \\ 8.842 \cdot 10^{-3} \\ -0.03 \\ 0.016 \end{bmatrix}$$

$$aa := \min(y) - 1$$

$$aa = 3.725$$

$$bb := \max(y) + 1$$

$$bb = 10.244$$

$$a := \min(X1) - 1$$

$$a = 3.6$$

$$b := \max(X1) + 1$$

$$b = 10$$

$$xx := a, 0.1 + a.. b$$

$$Y1(xx) := B_3 + B_2 \cdot xx + B_1 \cdot xx^2 + B_0 \cdot xx^3$$

Результаты измерения профиля поля по дну борозды, мм

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

Сумма	68		3,8288			70		0,68
Сред	1,36					1,4		
Диспер			1,9144					0,34
Ст. откл	S=		1,383618					0,583095
	Ош. Выб. Ср		0,798832					0,33665
	Сред.ошиб.разн				0,866872			
				НСР	1,716406			
				x-x				
				d	-0,04	>	1,716406	

Результаты измерения глубины заделки семян, мм

Опыт				Контроль			
№ п/п	мм	№ п/п	мм	№ п/п	мм	№ п/п	мм
1	42	26	45	1	43	26	47
2	38	27	44	2	41	27	45
3	46	28	46	3	37	28	47
4	47	29	44	4	38	29	44
5	51	30	39	5	37	30	43
6	48	31	45	6	45	31	45
7	44	32	38	7	50	32	50
8	45	33	37	8	49	33	52
9	45	34	45	9	45	34	51
10	50	35	48	10	47	35	48
11	48	36	49	11	48	36	46
12	46	37	45	12	44	37	50
13	49	38	47	13	45	38	47
14	50	39	48	14	47	39	48
15	48	40	44	15	44	40	46
16	50	41	45	16	44	41	50
17	48	42	47	17	42	42	52
18	46	43	44	18	42	43	51
19	47	44	43	19	43	44	48
20	48	45	42	20	40	45	46
21	49	46	42	21	42	46	51
22	45	47	41	22	45	47	48
23	47	48	39	23	38	48	44
24	44	49	42	24	37	49	46
25	43	50	45	25	45	50	48

Сумма	2258	61,9568	2271	96,2892
Сред	45,16		45,42	
Диспер		30,9784		48,1446
Ст. откл	S=	5,565824		6,938631
	Ош. Выб. Ср	3,21343		4,00602
	Сред.ошиб.разн		5,135595	
			НСР	10,16848
			x-x	
			d	-0,26 > 10,16848

Исходные данные
к расчету экономической эффективности

Марка машины	Балансовая цена, руб.	Годовая нагрузка, час	Нормы отчисления на:		
			амортизацию	зарплату	ремонт и ТО
Т-150К	2800000	500	0,1	1,34	0,115
МТЗ-80	1100000	1095	0,11	1,34	0,099
СГ-21	340000	120	0,125		1,14
ЗБЗСС-1	220000	95	0,167		1,14
КПК-8	550000	180	0,125		1,16
КРН-5,6	310800	200	0,125		1,16
МТЗ-1221	2410000	1095	0,11	1,34	0,099
МФА	1034000	295	0,167		0,14
Скарабей-12	1200000	350	0,167		0,16

Цена МФА:

зубья – 234000 руб.

сцепка – 300000 руб.

бункер (2 шт.) – 400000 руб.

шланги – 100000 руб.

итого – 1034000 руб.