

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина»

На правах рукописи



КОНОВАЛОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ
ДИСКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ РАДИУСОМ
КРИВИЗНЫ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

Диссертация
на соискания ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Трубилин Е. И.

Краснодар 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	10
1.1 Обработка почвы дисковыми ротационными орудиями и агротехнические требования операций лущения и дискования	10
1.2 Конструктивно-технологический анализ почвообрабатывающих орудий с дисковыми рабочими органами	15
1.3 Анализ патентной информации по повышению качества и снижению удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами	31
1.4 Анализ существующих исследований процесса взаимодействия дисковых рабочих органов с почвой	40
1.5 Выводы по главе. Цель и задачи исследования	53
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДИСКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ РАДИУСОМ КРИВИЗНЫ	57
2.1 Обоснование взаимосвязи конструктивных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны	57
2.2 Исследование кинематики рабочей поверхности дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны	66
2.3 Теоретическое исследование влияния конструктивных параметров и режимов работы дискового рабочего органа на его тяговое сопротивление при различных схемах ориентации	81
2.4 Выводы по главе	101
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	103
3.1 Цель и программа исследований. Выбор параметра оптимизации, независимых факторов и плана эксперимента	103
3.2 Выбор, разработка и изготовление оборудования для	

проведения экспериментальных исследований	111
3.3 Методика и приборы для проведения полевого эксперимента.	115
3.4 Выводы по главе	119
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ДИСКОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ РАДИУСОМ КРИВИЗНЫ	120
4.1 Исследования агротехнических показателей работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны	120
4.2 Исследование удельной энергоемкости при работе дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны	126
4.3 Экономическая эффективность обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны	138
4.4 Выводы по главе	140
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	142
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	145
ПРИЛОЖЕНИЯ	157
ПРИЛОЖЕНИЕ А Расчетные данные для построения векторов абсолютной скорости произвольной точки	158
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Результаты исследования микрорельефа почвы на учетной делянке	167
ПРИЛОЖЕНИЕ В Патенты	169
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Акты внедрения	172

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одним из важнейших структурных элементов любой технологии возделывания сельскохозяйственной культуры является обработка почвы, на долю которой приходится до 30 % от общих затрат энергии при возделывании сельскохозяйственных культур, поэтому разработка новых и совершенствование уже существующих конструктивных решений является актуальной задачей. Процесс обработки почвы направлен на создания такой ее структуры, чтобы условия роста и развития культурных растений были наиболее благоприятными.

Обработку почвы в Краснодарском крае проводят различными сельскохозяйственными машинами и орудиями, среди которых можно выделить дисковые ротационные орудия, поскольку на них приходится до 10–20%, а в некоторых технологиях до 35% от общего объема технологических операций по обработке почвы в различных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур [60, 61, 62, 63, 75, 87].

Обработка почвы дисковыми ротационными орудиями производится при ее лушении и дисковании, при этом задачи указанных технологических операций имеют различный характер. Лушение, как правило, производят после уборки предшествующей озимой культуры, а основной задачей обработки почвы в указанный период является сохранение влаги, которое достигается путем создание влагозадерживающего слоя из почвы с перемешанными измельченными пожнивными остатками. Дискование применяют для разделки почвы после ее вспашки, в качестве паровой или основной обработки почвы, а также иногда для предпосевной обработки.

В настоящее время операции лушения и дискования почвы применяют в большей мере не исходя из содержания основных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, а исходя из фактического наличия машинно-тракторного парка конкретного производства. Зачастую приходится вместо опе-

рации лушения стерни производить ее дискование. Почвообрабатывающие орудия для дискования почвы можно использовать для лушения только в случае достаточной степени крошения пласта и его перемешивания с почвой. Поэтому повышение степени крошения рабочим органами дисковых борон, а также снижение энергоемкости процесса является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследований. Теоретическими и экспериментальными исследованиями процесса взаимодействия дисковых рабочих органов с почвой занимались множество отечественных и зарубежных ученых, к числу которых можно отнести Горячкина В. П., Панова И. М., Синеокова Г. Н., Канарева Ф. М., Нартова П. С., Бледных В. В., Трубилина Е. И., Вох G. E. P., Clyde A. W., Gordon E. D., Nerli N., Taylor P. A. и других [96–104].

Полученные ими результаты позволяют сделать вывод, что для увеличения степени крошения почвы необходимо повысить интенсивность ее деформации за счет концентрации напряжений, которое в основном включает в себя напряжения сжатия. Концентрацию напряжений сжатия можно получить путем придания пласту определенной траектории движения по поверхности рабочего органа.

Однако существующие теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия сферического диска и почвой не позволяют дать описание этого процесса для рабочих органов с другими формами и кинематическими параметрами.

Рабочая гипотеза – повысить качество и снизить энергоемкость обработки почвы возможно за счет повышения концентрации напряжений возникающих в пласте при его движении вдоль рабочей поверхности диска, а также приданию ему определенной траектории движения.

Цель работы – обоснование конструктивных параметров и режимов работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны для повышения качества и снижения удельной энергоемкости технологического процесса обработки почвы.

Задачи исследований:

– провести конструктивно-технологический анализ почвообрабатывающих машин с дисковыми рабочими органами и определить перспективные направления их совершенствования;

– обосновать внутренние взаимосвязи конструктивных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны;

– получить теоретические зависимости для определения координат, скорости и ускорения произвольной точки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны;

– получить функциональные зависимости для определения координат точек пересечения соседних дисковых рабочих органов, площади поперечного сечения обрабатываемого пласта, приходящийся на отдельно взятый рабочий орган и его тягового сопротивления при различных схемах ориентации, конструктивных и режимных параметров;

– разработать программу и методику экспериментальных исследований удельной энергоемкости обработки почвы дисковым рабочим органом с изменяющимся радиусом кривизны;

– экспериментально подтвердить теоретически полученные конструктивные параметры и режимы работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны.

– определить экономическую эффективность обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны.

Объект исследования – процесс взаимодействия дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны с почвой.

Предмет исследования – закономерности влияния конструктивных параметров и режимов работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны на его качественные показатели и удельную энергоемкость обработки почвы.

Научную новизну работы составляют:

– функциональные зависимости внутренних взаимосвязей конструктивных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны: ве-

личины максимального и минимального радиусов кривизны, радиуса диска, угла между горизонталью и отрезком, соединяющим минимальный и максимальный радиусы кривизны, а также величины смещения произвольной точки при его повороте;

– теоретические зависимости для определения координат, скорости и ускорения произвольной точки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны;

– функциональные зависимости для определения координат точек пересечения соседних дисковых рабочих органов, площади поперечного сечения обрабатываемого пласта, приходящийся на отдельно взятый рабочий орган и его тягового сопротивления при различных схемах ориентации, конструктивных и режимных параметров;

– уравнение регрессии удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны

Техническая новизна предложенного конструктивного решения подтверждена патентами РФ №152563 и №138453 на полезную модель.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные зависимости для определения координат точек пересечения соседних дисковых рабочих органов и величины площади поперечного сечения пласта почвы, приходящиеся на отдельно взятый рабочий орган с учетом его перекрытия соседними дисками при различных схемах их ориентации, конструктивных и режимных параметрах могут быть использованы при выполнении исследований в области снижения энергоемкости и повышения качества работы дисковых почвообрабатывающих рабочих органов.

Практическая значимость работы:

– разработана расширенная классификация дисковых борон, позволяющая наиболее полно структурировать их по технологическим и конструктивным признакам;

– получены интервалы расстояний между соседними дисковыми рабочими органами для соблюдения допустимой величины гребнистости дна борозды при

различных схемах ориентации, которые рекомендуется использовать при эксплуатации дисковых почвообрабатывающих орудий;

– получены рекомендуемые диапазоны конструктивных параметров и режимов работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны, использование которых позволит повысить качество и снизить удельную энергоемкость обработки почвы.

Методы исследования. Исследование проводилось с использованием методов анализа, синтеза и восхождения от абстрактного к конкретному. Теоретические исследования базировались на основных положениях математики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились на основе методов планирования многофакторных экспериментов, математической статистике и оптимизации.

Положения, выносимые на защиту:

– математические взаимосвязи конструктивных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны;

– теоретические зависимости для определения координат, скорости и ускорения произвольной точки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны;

– функциональные зависимости для определения координат точек пересечения соседних дисковых рабочих органов, площади поперечного сечения обрабатываемого пласта, приходящийся на отдельно взятый рабочий орган и его тягового сопротивления при различных схемах ориентации, конструктивных и режимных параметров;

– уравнение регрессии удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны;

– результаты сопоставления теоретических и экспериментальных исследований конструктивных параметров и режимов работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны.

Степень достоверности результатов.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением фундаментальных основ теоретической механики, а также использованием общеизвестных методик проведения экспериментальных исследований. Достоверность экспериментальных исследований подтверждается воспроизводимостью результатов при их рандомизированном дублировании. Сходимость теоретических и экспериментальных данных подтверждается низкой относительной ошибкой в пределах не более 5% при уровне значимости 0,95. Полученные в ходе выполнения исследований результаты качественно совпадают с результатами, представленными в независимых источниках. Обработка результатов исследований проводилась с использованием программного обеспечения *Math Cad* и *MS Excel*.

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на Всероссийских конференциях молодых ученых в 2016–2017 г. (г. Краснодар), Международной научно-практической конференции, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016» (г. Ставрополь), 12-ой Международной научной конференции по сельскохозяйственному машиностроению «ИНТЕРАГРМАШ-2019» (г. Ростов-на-Дону), научных конференциях факультета механизации КубГАУ в 2016–2018 г. (г. Краснодар).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 19 научных работ, из них 10 в изданиях из перечня ВАК РФ, получены 2 патента РФ на полезную модель, 1 публикация в журнале Scopus.

Общий объем публикаций составляет 17,7 печатных листа, из них личный вклад автора 5,6 печатных листа

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа содержит введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Работа изложена на 157 страницах машинописного текста, включает в себя 60 рисунков и 17 таблиц. Список литературы насчитывает 104 наименования.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Обработка почвы дисковыми ротационными орудиями и агротехнические требования операций лушения и дискования

Растениеводство является одной из важнейших отраслей сельскохозяйственного производства Российской Федерации, уровень развития которой показывает степень технологической и экономической развитости всего государства. В настоящее время Краснодарский край является лидером производства продукции растениеводства. Общая посевная площадь Краснодарского края составляет более 3,5 млн. га, из которой 60% приходится на зерновые культуры, 24 % на технические, 12% кормовые и 4% картофель и общебахчевые культуры [76]. На посевных площадях наибольшее распространение получили озимая пшеница, кукуруза на зерно, подсолнечник, соя, сахарная свекла и другие культуры. Возделывание указанных культур производится согласно соответствующим технологиям, целью которых является получение максимального урожая с учетом биологического потенциала растений, с заданными параметрами качества продукции и минимальными затратами труда, средств и энергии.

Одним из важнейших структурных элементов любой технологии возделывания сельскохозяйственной культуры является обработка почвы, на долю которой приходится до 30 % от общих затрат энергии при возделывании конкретной культуры, поэтому разработка новых и совершенствование уже существующих конструктивных решений является актуальной задачей. Процесс обработки почвы направлен на создания такой ее структуры, чтобы условия роста и развития культурных растений были наиболее благоприятными [77]. Кроме того, обработка почвы должна приводит к повышению, или как минимум к поддержанию, ее плодородия, накоплению и задержанию в ней влаги, уничтожению сорной растительности, вредителей и возбудителей заболеваний, а также предотвращению ее от эрозии и дефляции. Обработка почвы оказывает существенное влияние на боль-

шую часть физико-механических свойств почвы, а также на ее структуру и состояние.

На сегодняшний день в Краснодарском крае наибольшее распространение получили интенсивная и минимальная технологии обработки почвы. Интенсивная технология обработки почвы включает наибольшее количество проходов машинно-тракторных агрегатов по полю, которые, как правило, составлены из однооперационных машин, а обработку почвы производят на глубину до 22–35 см отвальными плугами. Минимальная технология обработки почвы отличается сокращением количества проходов машинно-тракторного агрегата по полю за счет сокращения или полного отказа от ряда обработок, использованием комбинированных агрегатов, а обработку почвы производят на глубину до 14–16 см, как правило, дисковыми боронами. Согласно ГОСТ 16265–89 «Земледелие. Термины и определения» классификация обработки почвы по глубине включает в себя: глубокую на глубину более 24 см; обычную на глубину от 16 до 24 см; мелкую на глубину от 8 до 16 см; поверхностную на глубину до 8 см. Таким образом, минимальная технология предусматривает поверхностную и мелкую обработки почвы.

Обработку почвы в Краснодарском крае проводят различными сельскохозяйственными машинами и орудиями, среди которых можно выделить дисковые ротационные как одни из самых применяемых во всех технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Согласно рекомендуемым и перспективным технологиям возделывания основных сельскохозяйственных культур на долю почвообрабатывающих машин с дисковыми рабочими органами приходится 10–20%, а в некоторых технологиях до 35% от общего объема технологических операций по обработке почвы [60, 61, 62, 63, 75, 87].

Так при интенсивной технологии возделывания дисковые ротационные орудия применяются для лущения почвы после уборки зерновых колосовых культур на глубину до 8 см, а также разделки пласта почвы после ее вспашки. При минимальной технологии возделывания дисковые ротационные орудия также используют для лущения стерни зерновых колосовых культур, а главное для основной обработки почвы после уборки пропашных культур перед посевом озимых

зерновых. Таким образом, основываясь на выполняемых технологических операциях дисковые ротационные орудия можно подразделить на две большие группы:

- ротационные дисковые орудия для обработки почвы на глубину до 8–10 см, или еще эти орудия называют дисковыми луцильниками и дисковыми мульчировщиками, а саму операцию соответственно лушение стерни;
- дисковые ротационные орудия для обработки почвы на глубину более 12 см, при этом орудия называют дисковыми боронами, а сам процесс обработки почвы дискованием.

В настоящее время операции лушения и дискования почвы применяют в большей мере не исходя из содержания основных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, а исходя из фактического наличия машинно-тракторного парка конкретного производства. Этот факт, прежде всего, можно объяснить тем, что лушение почвы, а равно и почвообрабатывающие орудия для ее выполнения, требуется один раз в год после уборки зерновых колосовых культур, что соответственно приводит к их низкой годовой загрузке, а, следовательно, и повышенной амортизации [78]. Кроме того, операция лушения зачастую проводится в засушливый период времени, что характеризуется повышенной твердостью почвы. В таких условиях использование дисковых луцильников и мульчировщиков затруднено ввиду низкой заглубляющей способности последних, что создает необходимость многократных проходов агрегатов по полю для обработки почвы в соответствии с агротехническими требованиями. Таким образом, в сельском хозяйстве наиболее часто для обработки почвы используются дисковые бороны.

Почвенно-климатические условия Кубани отличаются довольно большим разнообразием, при этом часть территорий находятся в зоне недостаточного увлажнения. В период нахождения почвы под полупаром, который, как правило, протекает с июля по октябрь, количество выпавших осадков не превышает от тридцати до пятидесяти процентов от среднегодового объема. Основной задачей обработки почвы в указанный период является сохранение влаги, которое достига-

ется путем создание влагозадерживающего слоя из почвы с перемешанными измельченными пожнивными остатками [27].

После уборки предшественника обработка почвы до ее полупара наиболее часто производится дисковыми ротационными орудиями. Как уже отмечалось ранее, обработка почвы дисковыми ротационными орудиями заключается в ее лущении и дисковании. Процессы лущения и дискования почвы имеют абсолютно разное назначение. К основным задачам лущения почвы относится крошение и перемешивание почвы с пожнивными остатками, что приводит к закрытию почвенной влаги, провокация к прорастанию семян сорняков и потерь основной культуры, подрезание сорной растительности, борьба с вредителями и возбудителями болезней. При выполнении операции лущения отклонение среднего значения глубины обработки почвы от установленной должно располагаться в интервале ± 1 см. После лущения обрабатываемый слой почвы должен находиться в мелкокомковатом рыхлом состоянии, при этом количество почвенных агрегатов размеров до 5 см должно составлять не менее 90% от общего количества, а образование в почвенной структуре отдельностей размером более 10 см не должно происходить. Кроме того, технологическая операция лущения почвы должна обеспечить 95% подрезание сорной растительности, полноту заделки растительных и пожневных остатков не менее 60%, а высоту гребней не более 5 см [25, 81].

Основными задачами дискования являются разделка почвы после ее вспашки, т. е. ее крошение и выравнивание. Помимо разделки почвы после вспашки дискование используют в качестве паровой или основной обработки. При этом производится подрезание, измельчение сорной растительности и ее перемешивание с почвой. При этом глубина обработки почвы в зависимости от назначения варьируется в пределах 12–25 см. Отклонение по глубине допускается в пределах ± 3 см, почвенных агрегатов размером до 5 см должно быть не менее 80%, а образование в почвенной структуре отдельностей размером более 10 см не должно происходить. Величина соседних борозд не должна превышать ± 5 см. Подрезание сорной растительности должно быть полным, а полнота заделки растительных и пожневных остатков не менее 60% [25, 81].

Для описания характеристики структурного состава почвенного горизонта наиболее часто используют коэффициент структурности, который определяется по выражению [69]:

$$K = \frac{C}{B}, \quad (1.1)$$

где K – коэффициент структурности почвы; C – количество макроагрегатов размером от 0,25 до 7 мм, %; B – сумма почвенных агрегатов размером меньше 0,25 мм и комков размером больше 7 мм.

Коэффициент структурности показывает количественное соотношение размеров почвенных агрегатов в данном почвенном горизонте, и чем выше значение коэффициента, тем ее структурированность выше.

Исходя из предъявляемых требований, можно сделать заключение, что лущение почвы должно приводить к более интенсивному крошению почвы и ее перемешиванию с пожнивными остатками по сравнению с дискованием. Следовательно, почвообрабатывающие орудия для дискования почвы можно использовать для лущения только в случае их достаточной степени крошения пласта и его перемешивания с почвой. С другой стороны, дисковыми лущильниками можно производить дискование только в случае обработки почвы на достаточную глубину. Это осложняется тем, что дискование почвы в качестве основной обработки почвы, как правило, проводят после уборки длинностебельных пропашных культур перед посевом озимых колосовых, что характеризует работу дисковых борон в условиях большого количества пожнивных остатков и часто с почвой высокой твердости. Указанные факты делают достаточно затруднительным использование дисковых лущильников для дискования почвы ввиду их низкой заглубляющей способности. Отдельные производители почвообрабатывающих орудий предусматривают возможность размещения дополнительных балластных грузов на раме лущильников для лучшего заглубления рабочих органов, однако диаметр рабочих органов, как правило, не превышает 510 мм, что ставит под вопрос воз-

возможность обработки почвы на требуемую глубину. Кроме того, процесс дискования имеет значительно большее тяговое сопротивление, а равно большие значения сил действующих на рабочие органы, что накладывает дополнительные технические требования на конструкцию. Следовательно, наиболее перспективным направлением совершенствования дисковых орудий для обработки почвы является повышение степени крошения и равномерности перемешивания почвы и пожнивных остатков рабочими органами дисковых борон, а также снижение энергоёмкости процесса.

1.2 Конструктивно-технологический анализ почвообрабатывающих орудий с дисковыми рабочими органами

Отечественная и зарубежная отрасль сельхозмашиностроения производит огромное количество различных почвообрабатывающих орудий с дисковыми рабочими органами, к которым относятся дисковые лушильники, мульчировщики, дисковые бороны и различные комбинированные агрегаты. Все перечисленные орудия имеют свое назначение и почвенно-климатические зоны использования. В настоящий момент наибольшее распространение получили дисковые бороны. На качественные показатели работы дисковых борон влияют их конструктивные и технологические параметры, которые зависят от особенностей их конструкции, почвенно-климатической зоны применения и предшествующей культуры. Основными достоинствами современных дисковых борон являются их довольно простая конструкция, технологическая надёжность, относительно долгий срок эксплуатации рабочих органов до их окончательного износа.

По назначению дисковые бороны подразделяются на полевые, садовые и болотные, а по компоновке рабочих органов на батарейные и на индивидуальной стойке [28, 92]. На территории Российской Федерации и в частности Краснодарского края наиболее распространены дисковые бороны с индивидуальным креплением рабочих органов. Отличительной чертой такого расположения дисков яв-

ляется возможность их установки под углом к вертикали, что снижает тяговое сопротивление, увеличивает заглубляемость и проходимость почвы и пожнивных остатков в пространстве между рабочими органами и рамой орудия, а также повышает степень и равномерность их перемешивания за счет подъема пласта на большую глубину.

Полуприцепная дисковая борона БДП-6×2П (Рисунок 1.1) производства компании ЗАО «Рубцовский завод запасных частей» применяется в качестве орудия для поверхностной и основной обработки почвы на глубину до 12 см с одновременным подрезанием и измельчением сорной растительности и пожнивных остатков, влажностью до 30% и твердостью до 3 МПа [6].



Рисунок 1.1 – Внешний вид полуприцепной дисковой бороны БДП-6×2П ЗАО «Рубцовский завод запасных частей»

Дисковая борона БДП-6×2П имеет ширину захвата 6 м, агрегируется с энергосредством мощностью 175–200 л.с. и работает на скоростях 8–12 км/ч. Составляет из двух рядов режущих узлов со сферическими дисками с вырезной режущей кромкой диаметров 560 мм, установленных на индивидуальной стойке через подшипниковые узлы, оснащенные двумя коническими подшипниками. Режущие узлы крепятся в раме через вваренные в нее втулки с продольным расстоянием 250 мм, имеют регулируемый угол атаки до 30°, а также установлены к вертикали под углом 10°. Рама представляет собой пространственную сварную конструкцию из труб квадратного сечения 100×100×6 мм, имеющая центральную несущую часть, к которой с левой и правой стороны шарнирно крепятся две секции. Перевод секций из рабочего положения в транспортное осуществляется при помощи

двух гидроцилиндров. За режущими узлами установлены планчатые катки для дополнительного крошения и выравнивания поверхности почвы. Агрегатируется дисковая борона с энергосредством при помощи прицепной серьги установленной на снице орудия. Между сницей и центральной несущей частью рамы установлен талреп, позволяющий при работе выравнивать раму орудия в горизонтальной плоскости, и тем самым обеспечивать равномерную глубину обработки. Транспортирование бороны производится при помощи установленного шарнирно через гидроцилиндры транспортного шасси. Испытания дисковой БДП-6×2П проводились на Алтайской МИС, результаты которых представлены в таблице 1.1 [6].

Таблица 1.1 – Показатели качества работы дисковой бороны БДП-6×2П

П.п.	Показатель	Значение показателя
1	Среднеарифметическое значение глубины обработки, см	до 15
2	Стандартное отклонение глубины обработки, ± см	1,9–2,6
3	Крошение почвы %, с массовой долей почвенных агрегатов размером, мм: –св. 0 до 25 вкл. – более 100	53–63,2 0
4	Подрезание сорной растительности, %	94,3–95,5
5	Выравненность поверхности почвы, см.	4–4,8
6	Заделка пожнивных остатков, %	89,1–90,7
7	Рабочая скорость движения, км/ч.	9,72
8	Удельный расход топлива, кг/га.	3,95
9	Масса, кг.	4275

Проанализировав данные таблицы 1.1 можно сделать вывод, что по качеству крошения и подрезания сорной растительности данная дисковая борона не соответствует агротехническим требованиям, что говорит о необходимости совершения дополнительных проходов агрегата. Низкое качество работы, в первую очередь, объясняется тяжелыми условиями эксплуатации, т. е. почвенно-климатическими условиями при испытаниях, а во-вторых, большим расстоянием между рабочими органами, в результате чего образуются необработанные участки, что видно по не подрезанной сорной растительности и незначительным воздействием на пласт, что отражается в низкой степени его крошения.

Дисковый культиватор Carrier (Рисунок 1.2) производства шведской компании Väderstad применяется в качестве орудия для поверхностной и основной обработки почвы на глубину до 12 см с одновременным подрезанием и измельчением сорной растительности и пожнивных остатков, влажностью до 35%, твердостью до 3,5 МПа и уклоном рельефа до 10°. Carrier 820 имеет ширину захвата 7,9 м, агрегируется с энергосредством мощностью 220–300 л.с. и работает на скоростях 10–14 км/ч [64].



Рисунок 1.2 – Внешний вид дискового культиватора Carrier Väderstad

Дисковый культиватор Carrier (Рисунок 1.2) включает в себя два ряда фронтально расположенных режущих узлов с коническими дисками диаметром 450 мм, установленных на поперечных балках рамы культиватора с расстоянием 250 мм, с постоянным углом атаки равным 16° и углом наклона диска к вертикали около 10°. Дисковые рабочие органы установлены на необслуживаемые подшипниковые узлы с внешней стороны диска, которые при помощи стойки крепятся к раме. Поперечные балки к раме культиватора крепятся шарнирно при помощи кронштейнов и толкателей. Рама представляет собой объемную сварную конструкцию двух боковых секций [77].

В задней части рамы при помощи кронштейнов и рокерных валов шарнирно установлен прикатывающий каток и скребки, а также установленные на подвесках опорные колеса. Между рядами поперечных балок с дисковыми рабочими органами на каждой секции установлены реактивные тяги, которые позволяют смещать балку с режущими узлами до 5 см по горизонту. Тяговая балка шарнирно соединена с рамой. Агрегатирование дискового культиватора производится через

буксировочную проушину, установленную на дышле. При хранении культиватор опирается на подставку и оснащен системой ограничения величины заглубления рабочих органов [64].

Отличительной особенностью дискового культиватора Carrier является использование конических дисков малого диаметра, что позволяет при работе сохранять задний угол резания при любом износе диска, а также интенсивно воздействовать на пласт за счет увеличенной частоты вращения. Установка подшипниковых узлов с внешней стороны диска позволяет улучшить проходимость почвы в междисковом пространстве, а также снизить энергоемкость процесса. Крепление режущих узлов к раме при помощи резиновых демпферов позволяет при встрече с локальным уплотнением или препятствием их обходить путем выглубления. Испытания дискового культиватора Carrier проводились на Кубанской МИС, результаты которых представлены в таблице 1.2 [64].

Таблица 1.2 – Показатели качества работы дискового культиватора Carrier 820

П.п.	Показатель	Значение показателя
1	Вид работы	Разделка пласта почвы после вспашки
2	Среднеарифметическое значение глубины обработки, см	11,2
3	Стандартное отклонение глубины обработки, ± см	1,9–2,6
4	Крошение почвы %, с массовой долей почвенных агрегатов размером, мм: – св. 0 до 25 вкл. – св. 25 до 50 вкл. – более 50	75 16,7 8,3
5	Подрезание сорной растительности, %	100
6	Выравненность поверхности почвы, см.	2,6
7	Заделка пожнивных остатков, %	100
8	Рабочая скорость движения, км/ч.	13,2
9	Удельный расход топлива, кг/га.	6
10	Масса, кг.	7400
11	Влажность почвы, %	9,7–33,4
12	Твердость почвы, МПа.	0,53–0,83

Проанализировав данные таблицы 1.3 можно сделать вывод, что дисковый культиватор Carrier за один проход производит крошение пласта почвы при разделке пласта почвы после ее вспашки на фракции размером до 25 мм в пределах

75%, что не соответствует агротехническим требованиям. Отмеченная заделка пожнивных остатков в 100% характеризует условия работы без их содержания в верхнем слое и на поверхности почвы.

Компактная дисковая борона Catros (Рисунок 1.3) производства компании Amazone применяется в качестве орудия для обработки почвы на глубину до 15 см после прямого комбинирования, разделки пластов после вспашки, предпосевной подготовки и заделки пожнивных и растительных остатков основной и промежуточной культуры, с уклоном рельефа до 15%, влажностью до 35% и твердостью почвы до 3,5 МПа. Мощность энергосредства для агрегатирования зависит от ширины захвата борона и варьируется от 125 л.с. для 4 м до 300 для 7,5 м. Рабочая скорость движения составляет до 12 км/ч [65].



Рисунок 1.3 – Внешний вид компактной дисковой бороны Catros

При работе на глубину от 3 до 12 см дисковая борона Catros оснащается сферическими гладкими дисками диаметром 460 мм, а для работы на глубину от 5 до 15 см сферическими вырезными с диаметром 510 мм. Расстояние между соседними рабочими органами в одном ряду составляет 250 мм.

Несущей частью конструкции бороны Catros является центральная рама, к которой шарнирным соединением присоединяются левая и правая секции, на которых фронтально 2 рядами установлены режущие узлы. Режущие узлы крепятся к продольным балкам секций при помощи резиновых демпферов по аналогии с дисковым культиватором Carrier, что позволяет им копировать рельеф поверхности и отклоняться при столкновении с локальными уплотнениями и препятствиями.

ми. Диски болтовым соединением устанавливаются на необслуживаемый подшипниковый узел с внешней стороны диска.

Помимо режущих узлов в задней части секции при помощи специальных рамок установлены клиновидные катки, оснащённые для очистки от налипшей почвы скребками. Перевод секций в рабочее положение осуществляется гидроцилиндрами. В передней части рамы шарнирно установлено дышло с прицепной серьгой, с помощью которых и производится ее агрегатирование с трактором. Транспортирование бороны Catros, а также перевод в рабочее положение осуществляется откидной ходовой частью.

Регулировка глубины обработки производится изменением положения клиновидных катков, путем механических дистанционных элементов или гидравлически через блок управления. С целью предотвращения образования свальных гребней и развальных борозд в стыках между проходами бороны, крайние диски имеют индивидуальную регулировку по высоте. Для повышения заглубляющей способности рабочих органов при работе на твердых сухих почвах дисковая борона Catros дополнительно оснащается балластными грузами.

Отличительной конструктивно-технологической особенностью дисковой бороны Catros является установка дисков с разными углами атаки, передний ряд имеет угол 17° , а задний 14° . При оснащении режущих узлов ступицами Muiti Set угол наклона дисковых рабочих органов к вертикали регулируется в пределах 11° , 13° или 17° . Кроме того, для работы на малых глубинах, борона оснащается системой смещения заднего ряда относительно переднего путем перестановки упорного пальца по отверстиям, что позволяет изменять степень перекрытия проходов соседних рабочих органов. Все указанные конструктивно-технологические особенности позволяют изменять в широких пределах степень воздействия рабочих органов на почву, что будет положительно сказываться на степени крошения пласта и заделки пожнивных остатков, а также энергоёмкости процесса. Испытания дисковой бороны Catros проводились на Кубанской МИС, результаты которых представлены в таблице 1.3 [65, 79].

Таблица 1.3 – Показатели качества работы дисковой бороны Catros

П.п.	Показатель	Значение показателя	
		Выравнивание зяби	Лущение стерни кукурузы 3 след
1	Среднеарифметическое значение глубины обработки, см.	8,5	10,2
2	Крошение почвы %, с массовой долей почвенных агрегатов размером, мм.: – св. 0 до 10 вкл. – св. 10 до 25 – св. 25 до 50 – более 50	69,8 20,4 8,9 0,9	общее значение 91,1 8,9
3	Подрезание сорной растительности, %	–	100
4	Выравненность поверхности почвы, см.	1,6	1,8
5	Заделка пожнивных остатков, %	88,3	76,2
6	Рабочая скорость движения, км/ч.	8,5	14,9
7	Удельный расход топлива, кг/га.	5,6	6,5
8	Масса, кг.	6100	3800
9	Влажность почвы, %	24–27	–
10	Твердость почвы, МПа.	0,62–0,73	–

Проанализировав данные в таблице 1.3 можно сделать вывод, что степень подрезания и заделки сорной растительности, выравненность поверхности поля, а также глубина обработки соответствуют установленным требованиям. Полное подрезание сорной растительности достигается, прежде всего, смещением заднего ряда дисковых рабочих органов, а качество крошения за счет многократных проходов агрегата и использования диска диаметром 460 мм. Таким образом, при лущении стерни длинностебельных пропашных культур компактной дисковой бороной Catros качественные показатели достигаются при втором или третьем проходе агрегата.

В результате выполнения технологического процесса выравнивания зяби, полученные показатели качества полностью соответствуют установленным требованиям, что объясняется благоприятными почвенно-климатическими условиями работы, а также выполненной предварительно вспашки, в результате которой степень крошения почвы была близкой или соответствовала требуемой.

Дисковые бороны серии Рубин (Рисунок 1.4) производства компании Lemken предназначены для поверхностной, основной и предпосевной обработки

почвы под зерновые и технические культуры на глубину до 14 см с одновременным измельчением и заделкой пожнивных остатков, а также для заделки промежуточных культур. Дисковые бороны серии Рубин работают при влажности почвы до 35%, твердостью до 3,5 МПа и уклоном рельефа до 10°. Двухрядная дисковая борона Lemken Rubin 9/600KUA агрегируется с энергосредством мощностью 210–300 л.с. с рабочей скоростью до 12 км/ч.



Рисунок 1.4 – Внешний вид дисковой бороны Lemken Rubin 9/600KUA

Основным рабочим органом бороны Rubin 9/600KUA является сферический заостренный диск с вырезной режущей кромкой диаметром 610 мм, имеющий постоянный угол атаки 18° и угол наклона к вертикали 22°. Рабочие органы установлены на необслуживаемых подшипниковых узлах с внешней стороны диска и крепятся к раме бороны при помощи изогнутой стойки с подпружиненной подвеской. Расстояние между соседними режущими узлами в горизонтальной плоскости составляет 250 мм.

Отличительной конструктивно-технологической особенностью дисковой бороны Rubin 9/600KUA является установка дисковых рабочих органов большого диаметра, который позволяет при их большом угле наклона к вертикали размещать подшипниковые узлы снаружи сферы диска без риска волочения почвы перед ним и работать на большую глубину. Ориентация дисков с углом 22° к вертикали позволяет при обработке перемещать почву вдоль радиуса диска на большую высоту до момента его сбрасывания, что увеличивает степень крошения и перемешивания почвы с пожнивными и растительными остатками. Подпружиненная подвеска позволит копировать рельеф почвы, защищать режущие узлы от поломки при их встрече с локальными уплотнениями, а также будут создавать вибра-

цию, которая будет снижать удельное тяговое сопротивление. Использование в конструкции пружинных борон в сочетании с прикатывающими катками будут производить более качественное крошение почвы, а также ее выравнивание. Кроме того, рабочие органы установлены симметрично относительно продольной оси орудия, что будет повышать курсовую устойчивость орудия и влиять на полноту подрезания сорной растительности и также на выравнивание поверхности почвы.

Испытания дисковой бороны Rubin 9/600KUA проводились на Кубанской и Северо-западной МИС, результаты которых представлены в таблице 1.4 [66, 79].

Таблица 1.4 – Показатели качества работы дисковой бороны Rubin 9/600 KUA

П.п.	Показатель	Значение показателя	
		Лушение стерни озимой пшеницы 1 след	Лушение стерни кукурузы 1 след
1	Среднеарифметическое значение глубины обработки, см.	12	10,1
2	Крошение почвы %, с массовой долей почвенных агрегатов размером, мм.: – до 50 – более 50	89,5	81,3
		10,5	18,7
3	Подрезание сорной растительности, %	100	100
4	Выравнивание поверхности почвы, см.	2	1,5
5	Заделка пожнивных остатков, %	61,9	62,5
6	Рабочая скорость движения, км/ч.	11,5	8,8
7	Удельный расход топлива, кг/га.	6,2	5,8
8	Масса, кг.	9040	5820
9	Влажность почвы, %	–	16–21
10	Твердость почвы, МПа.	–	0,78–1,15

Полученные данные в результате испытаний дисковой бороны Rubin 9/600 KUA подтверждают эффективность используемых конструктивно-технологических решений, что подтверждается показателями подрезания сорной растительности, выравнивания поверхности поля и степенью заделки растительных остатков. Однако значения степени крошения почвы также указывают на необходимость дополнительных проходов агрегата.

Дисковая борона БДМ-7×3ПКШК (Рисунок 1.5) производства компании ООО «ДИАС» предназначена для основной и предпосевной обработки почвы на

глубину до 15 см с влажностью до 30% и твердостью до 3,0 МПа, не засоренная каменными включениями, с естественным уклоном поля до 8° при возделывании зерновых, технических и кормовых культур по традиционной и минимальной технологиям во всех агроклиматических зонах. Дисковая борона БДМ-7×3ПКШК имеет рабочую ширину захвата 6,7 м, работает на скорости до 15 км/ч и агрегируется при помощи тягового-цепного устройства ТСУ-3Ж с энергосредством мощностью 280–320 л.с. В качестве рабочих органов аналогично используются сферические диски с вырезной режущей кромкой, диаметром 560 мм, установленные с постоянным углом наклона к вертикали равным 10° и регулируемым углом атаки до 25°.



Рисунок 1.5 – Внешний вид дисковой бороны БДМ-7×3ПКШК

Основным отличием является меньшее расстояние между соседними режущими узлами по горизонтали, которое составляет 300 мм, что будет способствовать лучшему крошению и перемешиванию пласта и пожнивных остатков, а также степени подрезания сорной растительности. Испытания дисковой бороны БДМ-7×3ПКШК проводились на Владимирской МИС, результаты которых представлены в таблице 1.5 [20].

Полученные в результате испытаний показатели качества работы соответствуют агротехническим требованиям. Однако они не позволяют в целом дать агротехническую оценку работы бороны в тяжелых условиях ввиду проведения испытаний при выполнении предпосевной обработки.

Таблица 1.5 – Показатели качества работы дисковой бороны БДМ-7×3ПКШК

П.п.	Показатель	Значение показателя
1	Вид работы	Предпосевная обработка почвы
2	Среднеарифметическое значение глубины обработки, см.	11,5
3	Крошение почвы %, с массовой долей почвенных агрегатов размером, мм:	
	– св. 0 до 25 вкл.	73,5
	– св. 25 до 50 вкл.	26,5
	– более 50	0
4	Подрезание сорной растительности, %	100
5	Выравненность поверхности почвы, см.	3
6	Заделка пожнивных остатков, %	100
7	Рабочая скорость движения, км/ч.	9,7
8	Удельный расход топлива, кг/га.	5,21
9	Масса, кг.	5915
10	Влажность почвы, %	–
11	Твердость почвы, МПа.	–

Четырехрядные дисковые бороны, обычно называемые дискатарами, как и трехрядные, как правило, выпускают сельхозмашиностроители Российской Федерации и стран СНГ, что обуславливается рядом причин. В первую очередь к ним относятся почвенно-климатические условия. Почвы большинства европейских стран характеризуются более легкими условиями. Такие почвы легче поддаются обработке, т. е. ее сдвиг происходит на большую величину, а подъем и крошение требует меньше энергозатрат. Данный факт позволяет размещать рабочие органы на большем расстоянии друг от друга на одной балке при сохранении показателей работы за один проход, в частности сплошности обработки. На почвах же Краснодарского края данные показатели гораздо выше, что приводит к необходимости сближения рабочих органов. При этом сближение приводит к повышению вероятности забивания междискового пространства, как это часто происходит при работе батарейных орудий. Следует отметить, что снижение рядности, т. е. уменьшение продольной длины рамы, является целесообразным как с точки зрения материалоемкости, так и со стороны курсовой устойчивости и энергозатрат. Ко второй причине можно отнести необоснованное использование при проектировании конструктивно-технологических параметров.

Дисковая борона БДМ-4×4П (Рисунок 1.6) производства компании ООО «БДМ-АГРО» предназначена для основной и предпосевной обработки почвы влажностью до 30% и твердостью до 3,5 МПа, с естественным уклоном поля до 10° при возделывании зерновых, технических и кормовых культур по традиционной и минимальной технологиям.



Рисунок 1.6 – Внешний вид дисковой бороны БДМ-4×4П

Основным рабочим органом дисковой бороны БДМ-4×4П является сферический диск диаметром 560 мм с вырезной режущей кромкой, установленный на индивидуальной стойке, имеющий регулируемый угол атаки в пределах 0–25 град. и постоянный угол установки к вертикали равный 10 град. Рабочие органы установлены во втулках на раму орудия фронтально в четыре ряда с расстоянием в ряду равным 400 мм. Такое расположение рабочих органов позволяет обрабатывать почву в тяжелых почвенно-климатических условиях без их забивания. Испытания дисковой бороны БДМ-4×4П проводились на Кубанской и Северо-западной МИС, результаты которых представлены в таблице 1.6 [7].

Таблица 1.6 – Показатели качества работы дисковой бороны БДМ-4×4П

П.п.	Показатель	Значение показателя	
		Лущение стерни подсолнечника 1 след	Лущение стерни подсолнечника 2 след
1	Среднеарифметическое значение глубины обработки, см	7,7	11,9
2	Крошение почвы %, с массовой долей почвенных агрегатов размером, мм.:		
	– до 25 – более 25	46,7–67,2 32,8–53,3	71,1–83,4 16,6–28,9

П.п.	Показатель	Значение показателя	
		Лущение стерни подсолнечника 1 след	Лущение стерни подсолнечника 2 след
3	Подрезание сорной растительности, %	100	100
4	Выравненность поверхности почвы, см.	2,1–3,4	2,1–3,4
5	Заделка пожнивных остатков, %	–	–
6	Рабочая скорость движения, км/ч.	8,5–10,3	8,5–10,3
7	Удельный расход топлива, кг/га.	5,1–9,6	5,1–9,6
8	Масса, кг.	2730	2730
9	Влажность почвы, %	13,2–15,7	13,2–15,7
10	Твердость почвы, МПа.	2,9–5	2,9–5

Анализ представленных данных позволяет сделать вывод, что дисковой бороной БДМ-4×4П в условиях повышенной твердости почвы (2,9–5 МПа) можно обработать в соответствии с агротехническими требованиями только за 2 прохода агрегата. Повышенная твердость также сказывается на высокой энергоемкости процесса.

Такие же результаты при работе дают дисковые бороны с другими технологическими схемами компоновки рабочих органов [8, 19, 67, 68].

В ходе проведения конструктивно-технологического анализа современных дисковых борон разработана расширенная классификация (Рисунок 1.7), включающая уже существующие признаки, а также новые, позволяющие наиболее полно структурировать их по технологическим и конструктивным признакам. В разработанную классификацию входят следующие признаки:

- по назначению: полевые, садовые и болотные;
- по способу агрегатирования: навесные, полунавесные, полуприцепные и прицепные;
- по интенсивности воздействия на почву: легкие и тяжелые;
- по компоновки рабочих органов: батарейные и на индивидуальных стойках;
- по способу изменения глубины обработки: изменением угла атаки и взаимным расположением опорных элементов;

- по количеству рядов рабочих органов: 2-х рядные, 3-х рядные и 4-х рядные;
- по виду рамы: цельнорамные, модульные и секционные;
- по типу дисковых рабочих органов: плоские, сферические, конусные и гофрированные, со сплошной режущей кромкой, с вырезной режущей кромкой и с вырезами на рабочей поверхности;
- по расположению рабочих органов относительно поперечной оси: рядные, X-образные, V-образные;
- по расположению рабочих органов относительно продольной оси: симметричные и не симметричные;
- по способу крепления рабочих органов: жесткое и шарнирное;
- по способу защиты рабочих органов: без защиты и пружинным блоком;
- по способу изменения угла атаки: не изменяемый, механический и гидравлический.

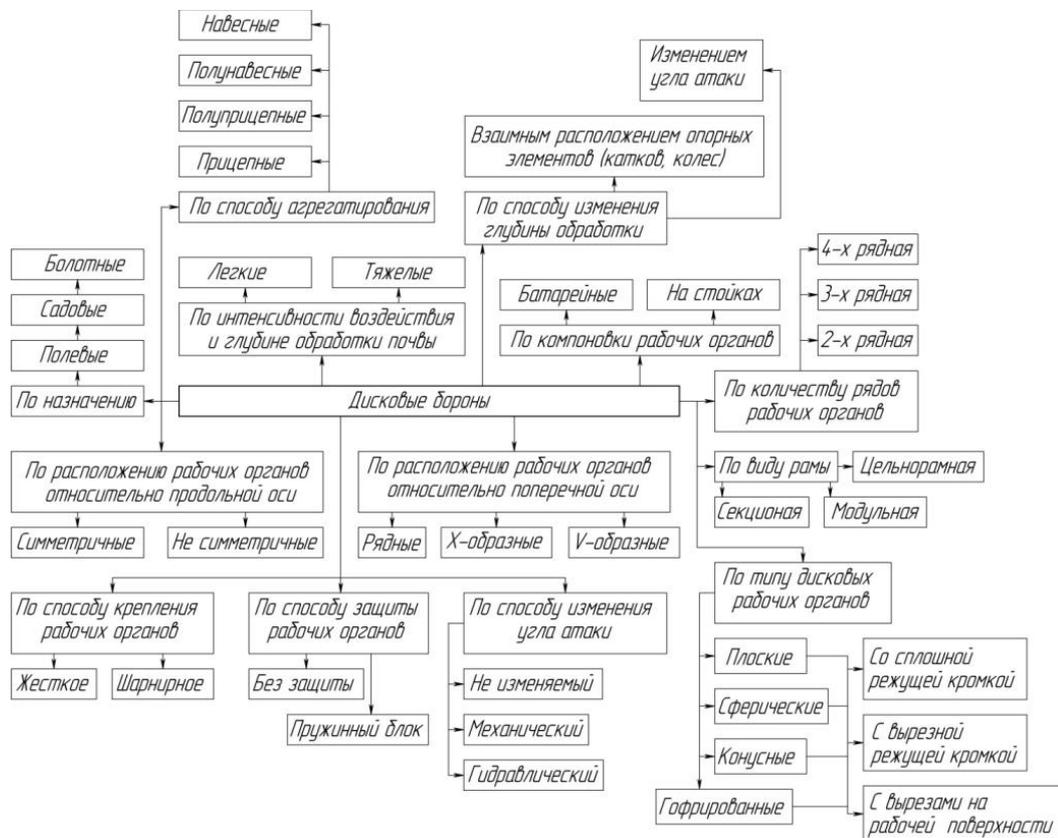


Рисунок 1.7 – Схема классификации дисковых борон

Проведя анализ конструктивно-технологических особенностей и показателей работы дисковых борон [78] можно сделать общий вывод о том, что при работе в тяжелых почвенно-климатических условиях они не способны провести обработку почвы в соответствии с агротехническими требованиями на операции лушение и дискование стерни за один проход агрегата. Среди показателей качества работы дисковых борон можно выделить требования к степени крошения почвы, которому не соответствуют современные дисковые орудия. Кроме того четырехрядные дисковые бороны не производят заделку растительных и пожнивных остатков в требуемом объеме. Таким образом, для повышения эффективности работы четырехрядных дисковых борон, как наиболее полно отвечающим показателям цены-качества, требуется увеличить степень крошения почвы рабочими органами, а также повысить степень заделки пожнивных и растительных остатков.

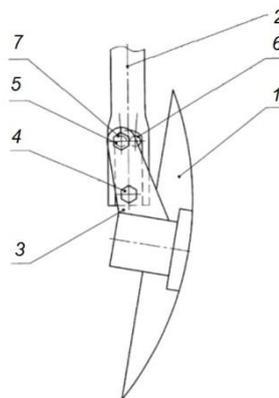
Основным рабочим органом дисковой бороны является диск, который наиболее часто выполняется сферическим, а также прямым, конусным и гофрированным. Режущую кромку дисков выполняют в виде сплошного или вырезного лезвия. Диаметр дисков изменяется от 410 мм до 800 мм, а на территории Краснодарского края наиболее часто использует диски диаметром от 410 до 620 мм. Помимо дисков на боронах используют различные дополнительные рабочие органы, из которых наиболее часто применяют различные штригельные бороны и катки, позволяющие повысить качество обработки почвы.

К конструктивно-технологическим параметрам дисковых борон, которые оказывают наибольшее влияние на их работу в соответствии с установленными агротехническими требованиями, а также технологическую надежность и эффективность, прежде всего, относятся диаметр диска, радиус кривизны диска, угол атаки, угол установки диска к вертикали и скорость движения орудия.

1.3 Анализ патентной информации по повышению качества и снижения удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами

Согласно результатам испытаний современных дисковых борон на машино-испытательных станциях Российской Федерации, применяемые рабочие органы не способны проводить обработку почвы в тяжелых почвенно-климатических условиях в соответствии с агротехническими требованиями за один проход агрегата. Преодолению сложившейся ситуации уделено много сил и времени отечественными и зарубежными конструкторами, которыми предложены различные конструктивно-технологические схемы дисковых рабочих органов и приспособлений к ним, позволяющих повышать степень крошения и перемешивания почвы и пожнивных остатков. При выполнении анализа изучались данные открытых реестров ФИПС, а глубина поиска составила 25 лет.

Предложен почвообрабатывающий агрегат для основной и предпосевной обработки почвы, позволяющие обеспечить равномерное рыхление и измельчение почвенного горизонта [40]. Агрегат включает в себя раму с установленными на ней поворотными стойками 2 с режущими дисками 1 (Рисунок 1.8). При этом на каждой стойке установлен механизм изменения угла постановки диска в вертикальной плоскости, состоящий из кронштейна 3, подшипникового узла, оси 4 и отверстий 5 и 6 для установки фиксирующих элементов 7.



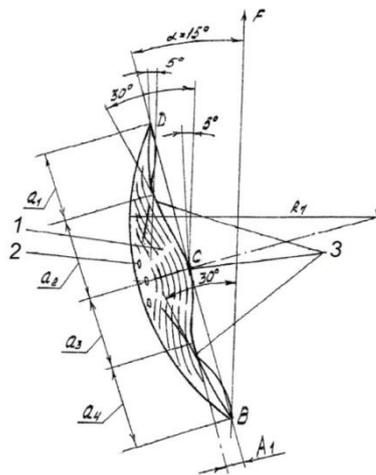
1 – режущий диск; 2 – стойка; 3 – кронштейн; 4 – ось; 5, 6 – отверстия;
7 – фиксатор

Рисунок 1.8 – Схема режущего узла по патенту 82507 [40]

Предлагаемая конструкция позволяет регулировать угол атаки и угол установки режущих дисков к вертикали в зависимости от почвенно-климатических условий, что будет приводить к изменению степени воздействия на почву и траекторию движения пласта. Поскольку скорость движения является первой производной траектории, то это приводит к изменению величины кинетической энергии передаваемой пласту, которая оказывает влияние на степень его крошения в соответствии с современными теориями прочности.

Недостатком предложенной конструкции является увеличение заднего угла резания при увеличении угла наклона диска к вертикали. Кроме того, в случае работы на твердых пересушенных почвах, суммарных напряжений, создаваемых в пласте, недостаточно для его крошения и происходит только сдвиг и частичный оборот.

Предложена конструкция (Рисунок 1.9) сферического диска для основной и предпосевной обработки почвы, позволяющего повысить качественные показатели обработки почвы при различных сочетаниях ее физико-механических свойствах [41].



1 – сфера; 2 – крепежные отверстия; 3 – режущая часть

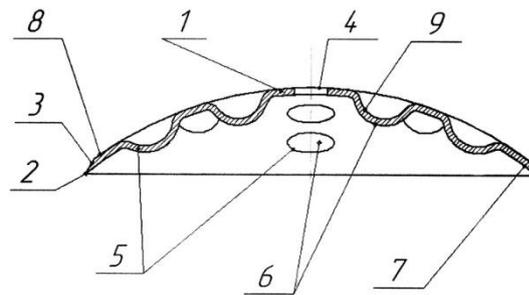
Рисунок 1.9 – Схема сферического диска по патенту 2375855 [41]

Диск состоит из сферы 1, на котором выполнены крепежные отверстия 2 и режущей части 3, которая представляет собой периодически повторяющуюся волну с уменьшающейся амплитудой к центру диска и переходом в сферу. Вы-

полнив режущую часть в виде волны, при круговом движении текущий угол атаки изменяется в пределах диапазона ее амплитуды, что приведет к изменению степени воздействия его на почву и траекторию движения пласта.

Недостатком предложенной конструкции также является увеличение заднего угла резания при увеличении угла наклона диска к вертикали и несогласованность текущего угла атаки и текущих физико-механических параметров почвы.

Предложен рабочий орган дисковой бороны, позволяющий при работе в режиме основной и предпосевной обработки почвы повысить степень ее крошения и перемешивания [43] за счет выполнения на его поверхности местных сферических деформаций. Рабочий орган состоит (Рисунок 1.10) из сферической части 1 с крепежными отверстиями 4 и режущей кромкой 2 с заточкой 3. На рабочей поверхности выполнены сферические местные деформации 5 с выпуклыми вершинами 6 на вогнутой части 7 и вогнутости 9 на выпуклой 8.



1 – сферическая часть; 2 – режущая кромка; 3 – фаска; 4 – крепежное отверстие; 5 – местная деформация; 6 – вершина выпуклости; 7 – вогнутая сторона диска; 8 – выпуклая сторона диска; 9 – вогнутость выпуклости

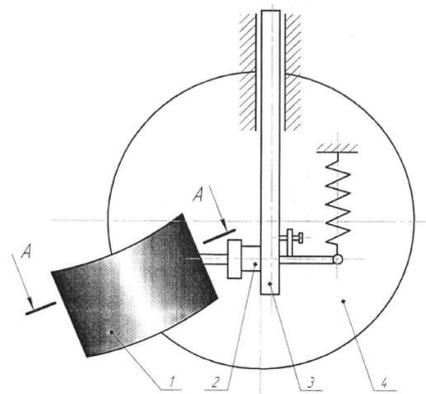
Рисунок 1.10 – Схема рабочего органа по патенту 185832 [43]

При работе рабочего органа по патенту 185832, пласт почвы, отрезанный лезвием, будет перемещаться по его рабочей поверхности, встречая сферические выпуклости, в результате чего суммарные напряжения в пласте будут интенсивно изменять свою величину как по абсолютному значению, так по направлению линий действия приложенных сил, что приведет к изменению траектории его движения. За счет выполнения на рабочей поверхности множества таких сферических выпуклостей и физико-механических свойств почвы, будет возникать эффект

Баушингера, который будет способствовать более интенсивному крошению пласта.

Недостатком предложенной конструкции будет являться сгуживание почвы при малых углах наклона диска к вертикали, низкой частоте вращения рабочего органа, а также в случае работы по пересушенной почве и его залипание при работе с почвой повышенной влажностью.

Предложен ряд технических приспособлений к дисковому почвообрабатывающему орудью, предназначенных для повышения качества обработки почвы и снижения энергоемкости [45, 46, 47]. Приспособление включает в себя диск 4 (Рисунок 1.11), установленный с возможностью вращения и имеющий углы атаки и установки к вертикали, на стойке 3 которого через регулировочный механизм 2 установлен подпружиненный щиток 1, выполненный со свойствами брахистохронной кривой, т. е. кривой скорейшего спуска, гарантированной величины зазора между диском и щитком и установки его в соответствии с углами трения почвы по материалу поверхности.



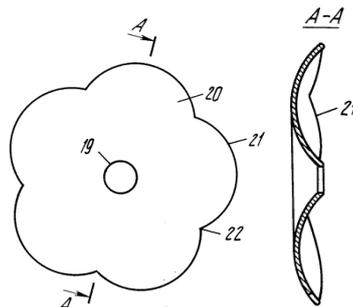
1 – щиток; 2 – механизм регулировки; 3 – стойка; 4 – диск

Рисунок 1.11 – Схема приспособления по патенту 186224 [45]

Предложенные технические решения позволяют в процессе движения почвы по рабочей поверхности диска изменить ее траекторию за счет ориентации силы опорной реакции щитка на почву по направлению суммарных напряжений изгиба пласта и сил инерции, что приводит к ее крошению и обороту. Также существенным недостатком указанных технических решений является плохое кроше-

ние пласта при работе в экстремальных почвенных условиях и высокая энергоёмкость.

Предложен диск для пахоты, позволяющий повысить степень крошения пласта и улучшить его оборота и снижения отброса почвы из зоны почвообработки [49]. Диск для пахоты 20 выполнен из внутренней части (Рисунок 1.12) с отверстием 19 для его установки на ось или ступицу и рабочей части, сечение которой выполнено по поверхности тора. Рабочая часть имеет лопасти 21, которые имеют вогнутую форму и соединяются между собой по тупым углам 22.

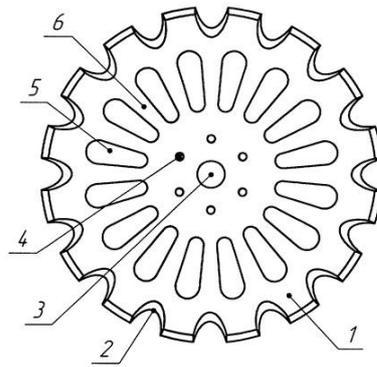


19 – отверстие; 20 – диск; 21 – лопасть; 22 – тупой угол

Рисунок 1.12 – Схема диска для пахоты по патенту 2046578 [49]

При работе указанного диска для пахоты, пласт почвы перемещается по круговой траектории вдоль его внутренней поверхности, крошится за счет его более интенсивного изгиба, перемешивается и укладывается на поверхность почвы. Недостатком указанного диска для пахоты будет плохое крошение пересушенной или влажной почвы.

Предложены сферические диски почвообрабатывающего орудия, позволяющие при работе повысить степень крошения почвы и пожнивных остатков, а также снизить тяговое сопротивление орудия [50, 51]. Сферический диск состоит из сферической части 1 (Рисунок 1.13) с режущей кромкой 2, в центре которой выполнены центрирующие 3 и крепежные 4 отверстия, при этом на внутренней поверхности сферы выполнены вырезы 5, между которыми образуются спицы 6.



1 – сфера; 2 – вырезы; 3 – центрирующее отверстие; 4 – крепежное отверстие; 5 – вырез; 6 – спица

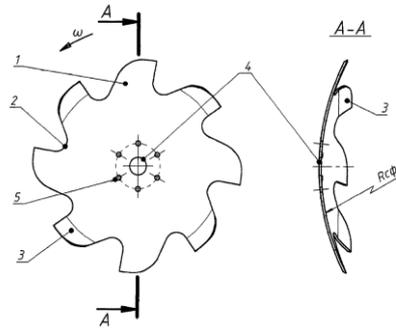
Рисунок 1.13 – Схема сферического диска по патенту 78621 [50]

При работе предлагаемого сферического диска на почву при ее перемещении по внутренней части сферы 1, за счет выполнения на ней вырезов 5, создается большее удельное давление, что приводит к самоочистке диска, а попавшие в вырезы 5 пожнивные остатки и почва дополнительно крошатся и сепарируются. Таким образом, технически результат достигается за счет повышения удельного давления или уменьшения площади опоры почвы при ее перемещении вдоль поверхности рабочего органа. Недостатком указанного сферического диска является плохое крошение паста при работе по пересушенной почве.

Предложена конструктивно-технологическая схема сферического диска почвообрабатывающего орудия для основной и предпосевной обработки почвы, позволяющая повысить степень крошения почвы и измельчение стерни [52]. Сферический диск состоит (Рисунок 1.14) из четного количества зубьев 1, 3 и вырезов 2, установочного 4 и крепежных 5 отверстий, при этом, чередуясь через один, зубья 1, 3 отогнуты в сторону вогнутости и выпуклости сферы диска.

В процессе работы сферического диска, врезаясь в почву, зубья, отогнутые в сторону выпуклости сферы, отрезают от монолита отдельные почвенные агрегаты, а отогнутые в противоположную сторону дополнительно их крошат и измельчают, а также подрезают и измельчают пожнивные остатки и стерню. Далее почва перемещается по внутренней поверхности сферического диска, дополнительно

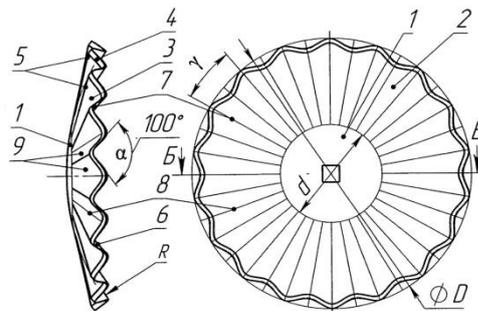
крошится и частично оборачивается. Таким образом, предлагаемый сферический диск позволяет повысить степень крошения почвы за счет повышения интенсивности воздействия на нее или, другими словами, повышения интенсивности ее резания.



1, 3 – зуб; 2 – вырез; 4 – установочное отверстие; 5 – крепежное отверстие

Рисунок 1.14 – Схема сферического диска по патенту 86375 [52]

Предложен почвообрабатывающий волнистый диск (Рисунок 1.15), предназначенный для поверхностной обработки почвы, позволяющий снизить залипание его рабочей поверхности, повысить степень крошения почвы и пожнивных остатков [54].



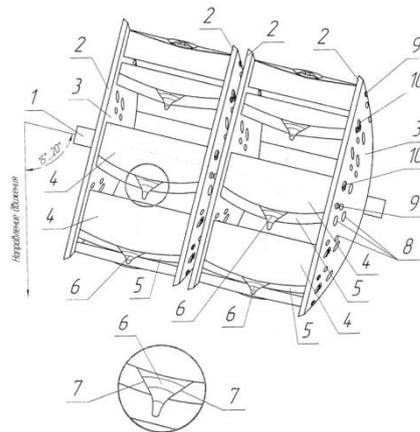
1 – сферическая центральная часть; 2 – наружное кольцо; 3 – гофра; 4 – лезвие диска; 5, 6 – линия гребней; 7, 8 – линия впадины; 9 – боковая поверхность гофры

Рисунок 1.15 – Схема почвообрабатывающего диска по патенту 2622916 [54]

Почвообрабатывающий волнистый диск состоит из центральной сферической части 1 с отверстиями для установки и крепления рабочего органа, и наруж-

ного кольца 2 с гофрами 3 и лезвием 4. При этом высота гофр возрастает от центра диска к краям и линии гофр 5 на выпуклой части диска выполнены касательной к сферической части, а линии гофр 6 на вогнутой части выполнены в виде дуг радиуса кривизны совпадающим с радиусом кривизны центральной сферической части. В процессе работы почвообрабатывающего диска, за счет выполнения его режущей части гофрированной, почва и растительные остатки защемляются лезвием диска, что повышает качество измельчения, а боковые поверхности гофр способствуют интенсификации процесса крошения почвы за счет повышения интенсивности ее резания. Недостатком указанного диска является плохое крошение переувлажненной и пересохшей почвы, а также высокая энергоемкость вследствие большой опорной поверхности режущей кромки.

Известен рабочий орган дискового луцильника, предназначенный для поверхностной обработки почвы с повышенной степенью крошения почвы с образованием мульчирующего слоя [55]. Рабочий орган (Рисунок 1.16) состоит из сферических дисков 2, установленных на общей оси 1, попарно соединенных между собой ножами 4 с режущей кромкой 5, выполненной по логарифмической спирали и с вершиной ножа 6, при этом крепление и регулировка резания при помощи отверстий 8.



1 – ось; 2 – сферический диск; 3 – наружная окружность; 4 – нож; 5 – режущая кромка; 6 – вершина ножа; 7 – боковая поверхность ножа; 8 – установочное отверстие; 9 – стопорный палец; 10 – болтовое соединение

Рисунок 1.16 – Схема рабочего органа по патенту 176202 [55]

В процессе движения рабочего органа, вершины ножей 6 вращаясь, внедряются в почву и способствуют вращению сферических дисков. Сферические диски 2 вместе с ножами 4, вращаясь, отделяют пласт почвы от монолита и производят его предварительное крошение. Затем производят перемещение пласта по внутренней поверхности сферических дисков с частичным оборотом и перемешиванием. Интенсификация процесса крошения почвы обусловлена интенсивностью ее резания дополнительными ножами. Существенным недостатком предлагаемого рабочего органа является плохое крошение пласта при обработке пересохшей или переувлажненной почвы, а также высокая энергоемкость процесса, в виду большего заднего угла резания и возможность забивания.

Помимо указанных конструктивно-технологических схем и технических решений, предложено большое количество разнообразных схем с различными источниками вибрации [56, 57]. Безусловно предложенные технические решения будут способствовать повышению степени крошения почвы, однако они обладают одним общим недостатком, а именно низкой технической надежностью и сложностью изготовления.

Указанные недостатки в равной степени относятся и к другим техническим решениям для повышения качества и снижения энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами [42, 44, 48, 53].

Проанализировав различные технические решения совершенствования процесса работы дисковых почвообрабатывающих орудий можно сделать вывод, что для повышения степени крошения почвы необходимо увеличить степень воздействия на нее путем сжатия и придания большей кинетической энергии. Из всех рассмотренных технических решений можно выделить следующие основные пути повышения степени крошения пласта:

- изменение траектории движения почвенного пласта и предание ему большей скорости, и следственно большей кинетической энергии без разброса почвы за пределы зоны почвообработки;
- повышение удельного давления на пласт;

- повышения интенсивности резания пласта;
- создание на рабочих органах вибрации.

Кроме того, для повышения эффективности обработки почвы дисковыми рабочими органами необходимо снизить, или хотя бы перераспределить, затраты энергии на процесс.

1.4 Анализ существующих исследований процесса взаимодействия дисковых рабочих органов с почвой

Теоретическими и экспериментальными исследованиями процесса взаимодействия дисковых рабочих органов с почвой занимались множество отечественных и зарубежных ученых, к числу которых можно отнести Горячкина В. П., Панова И. М., Синеокова Г. Н., Канарева Ф. М., Нартова П. С., Бледных В. В., Трубилина Е. И., Vox G. E. P., Clyde A. W., Gordon E.D., Nerli N., Taylor P. A. и других [96-104].

Главной отличительной особенностью процесса взаимодействия дисковых рабочих органов с почвой является их сложное движение относительно выбранной точки отчета. В процессе движения дисковых рабочих органов абсолютная скорость произвольной точки диска складывается из поступательного движения дискового орудия, или скорости движения энергосредства и вращательного движения самого диска.

Дисковые рабочие органы, как уже говорилось ранее, по своему назначению, конструкции, форме режущей кромки и другим параметрам имеют разливную классификацию. Однако следует отметить, что общим для любого диска является наличие оси вращения. Наиболее полная классификация по расположению оси вращения разработана профессором Канаревым Ф. М. [26]. Указанная классификация включает следующие варианты расположения оси вращения: горизон-

тально-поперечное; вертикальное, продольное, повернутое, поперечное, поперечно-наклонное, продольно-наклонное, повернутое и наклонное.

Помимо указанной классификации, профессором Канаревым Ф. М. получены зависимости, определяющие траекторию, скорость и ускорение произвольной точки дискового рабочего органа с любым вариантом размещения оси вращения. Рабочие органы дисковых борон и мульчировщиков, как правило, устанавливаются с углом атаки α и углом наклона диска к вертикали β . Поэтому для дальнейшего анализа будем рассматривать рабочие органы с повернутой и наклоненной оси вращения. Для такого случая траектория произвольной точки профессором Канаревым Ф. М. определяется по выражениям [26]:

$$\begin{aligned}x &= V_n t + r \sin \varphi \cos \beta \cos \omega t + (r - r \cos \varphi) \sin \alpha \cos \beta + r \sin \varphi \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t, \\y &= (r - r \cos \varphi) \cos \alpha \cos \beta + r \sin \varphi \sin \beta \cos \alpha \sin \omega t - r \sin \varphi \sin \alpha \cos \omega t, \\z &= (r - r \cos \varphi) \sin \beta - r \sin \varphi \cos \beta \sin \omega t,\end{aligned}\quad (1.2)$$

где x, y, z – координаты текущей точки диска; V_n – поступательная скорость диска (скорость движения бороны); r – радиус кривизны диска; φ – угол между осью вращения и радиусом, проведенным из центра кривизны в рассматриваемую точку; α – угол атаки диска (угол между осью OY и проекцией оси вращения диска на плоскость XOY); β – угол наклона оси вращения диска к горизонту; ω – угловая скорость вращения диска; ωt – угол поворота диска, отсчитывается от оси OX по часовой стрелке.

Скорость и ускорение произвольной точки дискового рабочего органа профессором Канаревым Ф. М. определяется выражениями [26]:

$$V = V_n \sqrt{1 + \lambda^2 \sin^2 \varphi + 2\lambda(\sin \alpha \sin \beta \cos \omega t - \cos \alpha \sin \omega t) \sin \varphi}, \quad (1.3)$$

$$a = \omega^2 r \sin \varphi, \quad (1.4)$$

где λ – кинематический параметр ротора, который определяется:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_n},$$

где R – радиус диска.

Исследовательские работы по изучению процесса воздействия почвы на сферический диск были проведены М. А. Путинцевой, в результате которых был предложена модель сопротивления почвы движению сферического диска, которое складывается из сопротивления на отделение почвы лезвием диска, сопротивления смятию почвы выпуклой и вогнутой частями диска, а также сопротивления почвы в результате его трения. Кроме того, при увеличении угла атаки диска, площадь сечения обрабатываемого пласта, приходящиеся на переднюю и заднюю часть не одинаковы, т. е. площадь пласта задней части меньше чем передней ввиду смыкания борозд от прохода соседних дисков, что приводит к выталкиванию диска из почвы, ввиду большей силы трения на передней стороне [83].

Исследования сил действующих на диски, выполненные А. Клайдом, показали, что при постоянной глубине обработки (вертикальной нагрузки) с увеличением угла атаки тяговое сопротивление сферического диска и боковая сила, действующая на него, также возрастают. Также отмечен рост этих сил при росте вертикальной нагрузки на диск или росте глубины обработки.

Обширные данные по изучению взаимосвязи конструктивных и технологических параметров с силами, действующими на сферический диск, получены Стрельбицким В. Ф. Стрельбицкий В. Ф. проводил пространственное динамометрирование различных дисковых рабочих органов, собранных в батарею с диаметром 450 мм при расстоянии между ними 170 мм, диаметром 510 и расстоянии 180 мм и диаметром 660 мм с расстоянием 220 мм на специальной тележке ТДН-2 [83]. Исследования проводилось при разделке пласта почвы после вспашки и лущении стерни, при варьировании угла атаки в пределах 10–45°, глубины обработки 6–14 см и скорости движения 6–10 км/ч. Полученные результаты свидетельствуют, что элементарные силы сопротивления почвы, приложенные к сферическому диску, нельзя привести к одной равнодействующей, а наиболее удоб-

ным способом является использование двух перекрещивающихся сил и динамического винта (Рисунок 1.17).

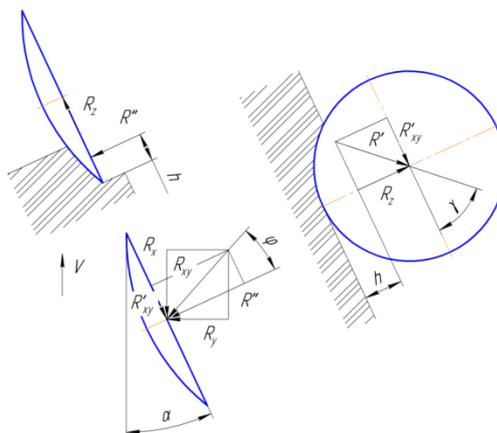


Рисунок 1.17 – Схема сил, действующих на дисковый рабочий орган

Также были получены уточненные значения коэффициентов, характеризующие соотношения сил, действующих на диск по трем взаимно перпендикулярным направлениям и определяемыми выражениями:

$$n = \frac{R_y}{R_x}; \quad m = \frac{R_z}{R_x}; \quad c = \frac{R''}{R_x}, \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned} R_x &= R'' \sin \alpha + R' \cos \gamma \cos \alpha, \\ R_y &= R'' \cos \alpha - R' \cos \gamma \sin \alpha, \end{aligned} \quad (1.6)$$

где R_x , R_y , R_z – силы, действующие на сферический диск, соответственно продольная, боковая и вертикальная; n , m , c – коэффициенты; R' и R'' – соответственно перекрещивающиеся силы равнодействующих проекций.

Кроме того установлено, что затылочная часть сферического диска тем меньше оказывает влияние на сопротивление почвы, чем больше угол его атаки, а при угле атаки больше 30° она практически отсутствует. При этом, «большая площадь контакта выпуклой части сферического диска при малых углах атаки и больших глубинах обработки приводит к уменьшению боковой сил R_y и R'' и увеличению вертикальной силы R_z » [83].

Полученные в результате исследований данные хорошо согласуются с данными других исследователей, однако являются не применимыми к исследованию дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны и установленных на индивидуальной стойке, ввиду отличной кинематики самого рабочего органа, а также установки их под углом к вертикали.

Большой вклад в исследование процесса взаимодействия дисковых рабочих органов с почвой внес профессор Нартов П. С. Почву, как объект обработки, Нартов П. С. рассматривал с точки зрения «сжимаемой» и «несжимаемой» материи, делая поправку на то, что реальный процесс будет лежать в интервале между принятыми допущениями. В процессе проведения теоретических исследований им были получены выражения для определения траектории и проекции абсолютной скорости произвольной точки сферического диска, которые имеют вид [34]:

$$x = Vt + \left(\sqrt{R - \frac{D^2}{4}} - \sqrt{R^2 - \rho^2} \right) \cos \beta \sin \alpha + \rho \cos \theta \sin \beta \sin \alpha - \rho \sin \theta \cos \alpha, \quad (1.7)$$

$$y = \left(\sqrt{R - \frac{D^2}{4}} - \sqrt{R^2 - \rho^2} \right) \cos \beta \cos \alpha + \rho \cos \theta \sin \beta \cos \alpha + \rho \sin \theta \sin \alpha, \quad (1.9)$$

$$z = \left(\sqrt{R - \frac{D^2}{4}} - \sqrt{R^2 - \rho^2} \right) \sin \beta - \rho \cos \theta \cos \beta, \quad (1.9)$$

$$V_x = V - \rho \theta (\sin \beta \sin \alpha \sin \theta + \cos \alpha \cos \theta), \quad (1.10)$$

$$V_y = \rho \theta (\sin \alpha \cos \theta - \sin \beta \cos \alpha \cos \theta), \quad (1.11)$$

$$V_z = \rho \theta \cos \beta \sin \theta, \quad (1.12)$$

где x, y, z – координаты текущей точки диска; V – поступательная скорость диска; R – радиус кривизны диска; D – диаметр диска; ρ – расстояние от оси вращения до текущей точки; α – угол атаки диска; β – угол наклона оси вращения диска к горизонту; θ – угол поворота диска.

Полученные в результате проведения исследований данные также подтверждают полученные другими учеными выводы о непрерывном изменении абсо-

лутной скорости произвольной точки диска, что сказывается на процессе взаимодействия его с почвой и энергоёмкость процесса.

Проверка полученных в ходе теоретических исследований результатов проводилась в почвенном канале на супесчаной суглинистой почве с плотностью 11 кг/см^2 и влажностью $8,2 \%$, в процессе которого изменились диаметр диска, радиус кривизны, углы атаки и установки к вертикали, наличие вырезов на режущей кромки и рабочей части, глубина обработки, а также работу в сторону монолита, открытой борозды, вращающимся и заторможенным диском.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что с увеличением кривизны повышается интенсивность деформации почвы и создаваемое давление на рабочей поверхности диска. Изменение геометрических параметров диска оказывает значительное влияние на отбрасывание почвы в продольной плоскости по направлению движения диска. Продольное отбрасывание почвы повышается при увеличении диаметра диска, угла его атаки, глубины обработки и скорости перемещения диска. Увеличение угла наклона диска к вертикали, радиуса кривизны, скорости движения и при работе в сторону открытой борозды уменьшает ее отброс. Поперечное отбрасывание пласта увеличивается при увеличении угла атаки и уменьшается при увеличении угла наклона, уменьшении скорости перемещения и работы в сторону открытой борозды. Величина диаметра диска и радиус его кривизны существенного влияния на поперечное перемещение почвы не оказали.

Помимо кинематики дисковых рабочих органов Нартовым также были исследованы действующие на них силы. Исследования показали, что с увеличением угла атаки и радиуса кривизны удельное рабочее сопротивление диска (тяговое сопротивление) также растёт, что обусловлено повышением интенсивности деформаций возникающих в пласте и дальностью отбрасывания почвы, а также повышения степени смятия борозды тыльной стороной диска. С увеличением угла наклона и работы в сторону открытой борозды удельное тяговое сопротивление сферического диска снижается, ввиду снижения интенсивности сжатия или динамического сопротивления перемещения почвы по диску, другими словами более

плавным подъемом почвы по рабочей поверхности диска, а также дальности ее отброса. Однако с уменьшением угла атаки в случае наклонного диска удельное тяговое сопротивление начинает расти из-за повышения степени смятия борозды тыльной стороной диска. Изменение диаметра диска значительного изменение этого показателя не дает. Повышение скорости перемещения сферического диска повышает его удельное сопротивление.

Вертикальная составляющая реактивных сил действующих на сферический диск и уравновешиваемая весом бороны определяет его заглубляющую способность. При этом увеличение угла атаки и уменьшение радиуса кривизны приводит к ее уменьшению. Такое же воздействие на вертикальную составляющую реактивных сил оказывает угол наклона диска к вертикали, однако, в случае возникновения смятия борозды тыльной стороной диска начинается ее рост. Также Нартовым П. С. получены экспериментальные зависимости для определения величины перекрещивающихся сил при работе сферического диска, которые имеют вид:

$$R'' = (P_x \sin \alpha + P_y \cos \alpha) \cos \beta - P_z \sin \beta, \quad (1.13)$$

$$R' = \sqrt{R_1'^2 + R_2'^2}, \quad (1.14)$$

$$R_1' = (P_x \sin \alpha + P_y \cos \alpha) \sin \beta + P_z \cos \beta, \quad (1.15)$$

$$R_2' = P_x \cos \alpha - P_y \sin \alpha, \quad (1.16)$$

где P_x , P_y , P_z – составляющие реактивных сил, действующие соответственно по оси OX (по направлению движения диска), OY и OZ (вертикальная составляющая).

Полученные в результате проведения исследований данные согласовываются с результатами, полученными Gordon и Söhne [99, 101], однако их использование на этапе проектирования конструктивно-технологических параметров очень затруднительно, ввиду необходимости предварительных испытаний для опреде-

ления составляющих реактивных сил, а для диска с изменяющимся радиусом кривизны они вообще могут не подтверждаться.

Профессор Nerli N. по результатам своих исследований сделал вывод, что в процессе вращения диска коэффициент трения уменьшается до определенной величины, которую он именовал «истинным коэффициентом трения», характеризующего трения почвы по поверхности диска без учета его прилипания, при этом соотношение будет иметь вид [100]:

$$f_v = 0,2674f, \quad (1.17)$$

где f_v , f – коэффициент трения соответственно без учета прилипания почвы и с учетом такового.

Также была предложена модель баланса действующих сил на продольную ось, которая имеет вид:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8, \quad (1.18)$$

где T – тяговое сопротивление дискового орудия; T_1 – сопротивление на самопередвижение орудия; T_2 – сопротивление на отделение пласта от монолита; T_3 – сопротивление на подъем пласта по диску; T_4 – сопротивление, возникающие из-за трения и адгезии почвы и материал рабочей поверхности рабочего органа; T_5 – сопротивление, возникающие в результате трения оси в подшипниках; T_6 – сопротивление, возникающие в результате сообщения пласту почвы кинетической энергии; T_7 – сопротивление, возникающие в результате перемещения и разрушения пласта почвы; T_8 – сопротивление, возникающие в результате действия случайных факторов.

Абаев В. В. исследовал взаимосвязь между радиусом диска и условием заземления и резания пожнивных остатков, которая определяется выражением [89]:

$$\begin{aligned}
 & \arctg \left[\frac{(2R-H)\sqrt{2RH-H^2}}{(R-H)H} + f \left(\frac{\sqrt{2RH-H^2}}{R-H} + \frac{2R}{H} - 1 \right) - 1 \right] + \\
 & \left[\frac{\sqrt{2RH-H^2}}{R-H} + \frac{2R}{H} - 1 + f \left(1 - \left(\frac{2R}{H} - 1 \right) \frac{\sqrt{2RH-H^2}}{R-H} \right) \right] + \\
 & + \frac{\pi}{2} + \arctg \varphi_m - \arccos \left(1 - \frac{H}{R} \right) - \arctg \left(2 \frac{R}{H} - 1 \right) = 0,
 \end{aligned} \tag{1.19}$$

где R – радиус диска; H – глубина обработки; f – коэффициент трения почвы; φ_m – угол трения частицы о лезвие диска.

Полученная зависимость позволяет определить радиус диска исходя из заданной глубины обработки и физико-механических свойств почвы и пожнивных остатков. Однако полученное выражение не учитывает ширину перекрытия между дисками, исходя из гребристости поверхности поля, а также углы атаки и установки к вертикали.

Богус Ш. Н. и Василин В. С. проводили исследования по изучению процесса взаимодействия сферического диска с почвой и определения действующих сил на него. В своих исследованиях Богус Ш. Н. и Василин В.С. указывали, что на сферический диск в основном будет действовать реакция почвы на лезвие, силы трения, действующие на поверхность диска в момент отделение почвы от монолита, силы давления почвы на внутреннюю поверхность и реакция вращающейся части пласта, а также представлены выражения для их аналитического определения [4]. Проекции этих составляющих на ось OX составляют тяговое сопротивление рабочего органа и определяются выражениями:

$$\begin{aligned}
 P_{xl} = \frac{k_r}{\cos \beta} & \left[\frac{R^2 \cos \beta}{\lambda} \arccos \left(1 - \frac{h}{R \cos \beta} \right) + \right. \\
 & \left. + h \sin \alpha \sin \beta - \frac{\cos \alpha}{\omega} \sqrt{2Rh \cos \beta - h^2} \right],
 \end{aligned} \tag{1.20}$$

$$\begin{aligned}
 P_{xt} = -fk_0 r^2 & \left[\sin \alpha_2 \cos \varepsilon (\cos \eta_3 - \cos \eta_1) (\delta_2 - \delta_1) + \right. \\
 & \left. + (\cos \eta_1 + \cos \eta_2) \delta_1 \cos \alpha \right],
 \end{aligned} \tag{1.21}$$

$$P_{xd} = -2k_0 r^2 \delta_2 \cos \eta_4, \quad (1.22)$$

$$P_{xin} = P_{in} \left(\sin \alpha \sin \beta \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - \cos \alpha \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right), \quad (1.23)$$

где P_{xl} – проекция элементарных сил сопротивления резания лезвием диска на ось OX ; P_{xt} – проекция сил трения на ось OX , действующих на диск; P_{xd} – проекция вектора нормального давления на ось OX ; P_{xin} – проекция силы инерции вращающейся части пласта на ось OX ; k_r – удельная реакция почвы на лезвие диска; h – глубина обработки; λ – кинематический режим; f – коэффициент внешнего трения почвы; k_0 – удельное тяговое сопротивление при обработке почвы дисковым рабочим органом; r – радиус кривизны диска; δ_1 и δ_2 – сферические избытки зон действия сил трения; α_2 – угол между проекцией результирующих сил трения и осью OX ; η_1 , η_2 и η_3 – углы между направлением движения (осью OX) и нормалью в рассматриваемых точках; η_4 – угол между проекцией нормали, проведенной в центр давления почвы на диск на горизонтальную плоскость и направлением сопротивления почвы; P_{in} – сила инерции вращающейся части пласта; θ_1 и θ_2 – углы определяющие зону поворота пласта вместе с диском.

Экспериментальными исследованиями было установлено, что при работе сферического диска с малым углом наклона к вертикали и углом атаки отделение почвы происходит чистым срезом, а при увеличении его начинает возникать ее отрыв, и повышается ее сгруживание. Также установлено, что дно и стенка борозды может иметь такое же строение как и изначальный горизонт почвы, а может быть и уплотненными до 24% от исходной величины в зависимости от конструктивно-технологических параметров диска. Однако следует отметить, что уплотнение дна и стенки борозды происходит вследствие давления на них тыльной стороны диска, что увеличивает затраты энергии. Тяговое сопротивление, полученное расчетным и опытным путем, имеет разную величину, но носит одинаковую закономерность изменения, что говорит о не учете ряда факторов при его аналитическом описании, например, давление тыльной стороны диска на почву, прилипание почвы к его поверхности, сообщение пласта кинетической энергии и дру-

гих. Кроме того полученные аналитические выражения очень громоздки и не позволяют определить тяговое сопротивление дискового рабочего органа с переменным радиусом кривизны.

Изучением кинематики движения произвольной точки сферического диска и почвы по его поверхности занимался Хачатрян Х. А., который указывал на сложное движение сферического диска, состоящие из перемещения по направлению движения орудия и одновременного вращения вокруг своей оси [93]. Учитывая, что сферический диск во время работы катится со скольжением, Хачатряном Х. А. получена зависимость для определения координат произвольной точки лезвия:

$$\begin{aligned} x &= \frac{(r + \Delta r)}{\cos \alpha} \theta - R \cos \varphi \sin \alpha - r \sin \theta \cos \alpha, \\ y &= (r + \Delta r) \sin \beta - r \sin \theta (\sin \alpha + \operatorname{ctg} \theta \sin \beta) + R \cos \varphi \cos \alpha, \\ z &= [(r + \Delta r) - r \cos \theta] \cos \beta - (r + \Delta r), \end{aligned} \quad (1.24)$$

где θ – угол поворота дискового рабочего органа; r – радиус диска; α – угол атаки диска; $(r + \Delta r)$ – фиктивный радиус окружности, по которой катится дисковый рабочий орган без скольжения; R – радиус сферы диска; φ – центральный угол диска.

Движение почвы по поверхности сферического диска автором обусловлено действием нормальной реакции поверхности диска, силой трения и силой собственного веса, а полученные им дифференциальные уравнения движения частицы почвы позволяют исследовать ее кинематику. На основании полученных зависимостей, в ходе проведения теоретического исследования, автором был сделан вывод, что деформация почвы увеличивается при увеличении угла атаки, радиуса сферы диска, диаметра диска и увеличении коэффициента скольжения.

Полученные Хачатрян Х. А. выводы и выражения только частично согласуются с результатами других исследователей, а представленный перечень действующих во время движения на почву по поверхности диска сил является не исчерпывающим.

Академик Горячкин В. П. в своих исследованиях определил выражения, характеризующие траекторию относительного движения почвы по поверхности сферического диска и ее скорость, которая будет [18]:

$$V_0 = V \cos \chi + V \sin \alpha, \quad (1.25)$$

где V_0 – скорость относительного перемещения почвы по сферическому диску; V – поступательная скорость движения диска; χ – угол между горизонтальной плоскостью и нормалью к диску в рассматриваемой точке; α – угол между направлением движения диска и осью его вращения.

Исследования технологического процесса обработки почвы дискаторами проводили Бледных В. В. и Воинов В. Н., по результатам которых получено выражение для определения тягового сопротивления, имеющие вид [11, 18]:

$$R = fG + 4n_1(2k_{cp} \sin \alpha \sqrt{a(D-a)} + 2\varepsilon a V^2 \sin \alpha \sqrt{a(D-a)}), \quad (1.26)$$

где R – тяговое сопротивление дискатора, кН; f – коэффициент протаскивания; G – вес дискатора, кН; n_1 – число дисков в одном ряду; a – глубина обработки, м; k_{cp} – среднее значение удельного сопротивления обработки почвы на метр ширины захвата дискатора, кН/м²; α – угол атаки, град; D – диаметр диска, м; ε – скоростной коэффициент, учитывающий отбрасывание почвы дисками в сторону, кН·с²/м⁴; V – скорость движения дискатора, м/с.

Полученное выражение показывает близость результатов полученных расчетным путем и по результатам испытаний, однако оно не учитывает угол установки дисков к вертикали, что может приводить к перераспределению действующих сил, а также для его использований необходимо предварительное экспериментальное определение входящих в нее коэффициентов, что делает ее не применимой для определения тягового сопротивления на этапе проектировки орудия с отличной кинематикой рабочих органов.

Хабибулин И. Ф. под руководством профессора Иофинова А.П. исследовал взаимодействие рабочего органа дискового плуга с почвой. Полученные результаты подтверждают полученные данные профессором Нартовым П. С., а также получена экспериментальная зависимость степени крошения пласта от величины угла атаки и наклона диска в нормализованном виде, а также скорости движения, которая имеет вид [91]:

$$K = 75,6 + 1,6X_1 + 6,1X_2 - 1,9X_3 - 1,6X_2X_3, \quad (1.27)$$

где K – степень крошения пласта; X_1 – скорость движения; X_2 – угол атаки; X_3 – угол наклона диска к вертикали.

Недостатком полученной физико-математической модели является возможность определения степени крошения пласта только в заданных почвенных условиях, при фиксированных значениях физико-механических свойств почвы. Кроме того указанная зависимость не пригодна для использования при работе рабочих органов с другими показателя кинематики.

Академик Желиговский В. А. утверждал, что крошение почвы происходит за счет потенциальной энергии диспергированного защемленного сжатого почвенного воздуха [23]. При этом концентрация линий действия элементарных сил давления поверхности рабочего органа на почву, отклоненные на угол трения, в ограниченной области позволяет увеличить количество защемленного воздуха и тем самым увеличить степень ее крошения.

Канаревым Ф. М. сделано предложение, что способность рыхлить почву поверхностью рабочего органа можно оценить величиной угла между вектором нормали к поверхности и вектором абсолютной скорости рассматриваемой точки или области поверхности, поскольку с уменьшением угла увеличивается концентрация напряжений в почве [26].

Проанализировав представленные данные можно сделать вывод, что существующие теоретические исследования процесса взаимодействия сферического

диска и почвой не позволяют дать описание этого процесса для рабочих органов с другими формами и кинематическим параметрами. Кроме того, процесс интенсификации крошения почвы можно повысить за счет повышения концентрации линий действия элементарных сил давления поверхности рабочего органа на почву.

1.5 Выводы по главе. Цель и задачи исследования

На основании проведенного анализа можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Почвообрабатывающими дисковыми орудиями наиболее часто проводят технологические операции лущения и дискования, на долю которых приходится до 20–30% от общего объема всех обработок почвы в конкретной технологии возделывания сельхозкультуры.

2. Существенным отличием процесса дискования почвы от лущения является необходимость более интенсивного крошения и перемешивания почвы с пожнивными остатками, а также глубина обработки.

3. В настоящее время, из-за низкой годовой загрузки и плохой заглубляемости рабочих органов, наиболее часто в сельскохозяйственном производстве как для дискования, так и для лущения почвы используются дисковые бороны.

4. Наиболее часто для дискования почвы применяются дисковые бороны с рядным размещением рабочих органов, имеющих регулируемый угол атаки и угол установки к вертикали, установленных на индивидуальной стойке.

5. Основным рабочим органом дисковой бороны является сферический или конусный диск, который отрезает пласт почвы от монолита, крошит, частично оборачивает и перемешивает почву и пожнивные остатки.

6. Современные дисковые бороны не способны провести дискование или лущение почвы за один проход в соответствии с агротехническими требованиями, в частности степени крошения почвы и заделки пожнивных остатков, а также имеют высокую энергоемкость.

7. К конструктивно-технологическим параметрам дискового рабочего органа, имеющие наибольшее влияние на качество обработки почвы, относятся диаметр диска, радиус кривизны, угол атаки, угол установки диска к вертикали и поступательная скорость движения.

8. Перспективные технические решения для обработки почвы дисковыми рабочими органами за счет синхронного или независимого изменения углов установки рабочих органов, использования различных форм рабочей поверхности и дополнительных приспособлений позволяют увеличить степень воздействия путем ее сжатия, изменить траекторию движения пласта и повысить интенсивность ее резания, однако также не позволяют получить требуемые показатели качества работы, а также имеют высокую энергоемкость.

9. По данным теоретических и экспериментальных исследований процесса взаимодействия дискового рабочего органа с почвой, проведенных множеством отечественных и зарубежных ученых, получены зависимости, определяющие траекторию, скорость и ускорение произвольной точки дискового рабочего органа, а также взаимосвязь конструктивных и технологических параметров с действующими на него силами, однако полученные результаты являются не применимыми к исследованию дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны и установленных на индивидуальной стойке, ввиду отличной кинематики самого рабочего органа.

Полученные результаты позволяют сформулировать **проблемную ситуацию**: в настоящее время существует множество различных серийных конструкций рабочих органов дисковых борон, однако при работе они имеют высокую энергоемкость, а степень крошения почвы за один проход агрегата не соответствует агротехническим требованиям. Таким образом, необходим дисковый рабочий орган, позволяющий при работе повысить качество и снизить энергоемкость обработки почвы.

Рабочая гипотеза – повысить качество и снизить энергоемкость обработки почвы возможно за счет повышения концентрации напряжений возникающих в пла-

сте при его движении вдоль рабочей поверхности диска, а также приданию ему определенной траектории движения.

На основании проведенного анализа предложена конструктивно-технологическая схема дискового рабочего органа, выполненного с изменяющимся радиусом кривизны, причем кривизна рабочей поверхности выполнена по спирали Архимеда с большим значением у режущей кромки. Новизна предложенного дискового рабочего органа подтверждена патентом Российской Федерации №152563 [59]. Использование в качестве образующей спирали Архимеда позволит концентрировать напряжение возникающие в пласте при его движении вдоль рабочей поверхности диска, а также обеспечит их плавное нарастание, что снизит возникающие динамическое сопротивление, обусловленное изменением скорости.

Объект исследования – процесс взаимодействия дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны с почвой.

Предмет исследования – закономерности влияния конструктивных параметров и режимов работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны на его качественные показатели и удельную энергоемкость обработки почвы.

Целью исследования является обоснование конструктивных параметров и режимов работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны для повышения качества и снижения удельной энергоемкости технологического процесса обработки почвы.

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

– провести конструктивно-технологический анализ почвообрабатывающих машин с дисковыми рабочими органами и определить перспективные направления их совершенствования;

– обосновать внутренние взаимосвязи конструктивных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны;

– получить теоретические зависимости для определения координат, скорости и ускорения произвольной точки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны;

– получить функциональные зависимости для определения координат точек пересечения соседних дисковых рабочих органов, площади поперечного сечения обрабатываемого пласта, приходящийся на отдельно взятый рабочий орган и его тягового сопротивления при различных схемах ориентации, конструктивных и режимных параметров;

– разработать программу и методику экспериментальных исследований удельной энергоёмкости обработки почвы дисковым рабочим органом с изменяющимся радиусом кривизны;

– экспериментально подтвердить теоретически полученные конструктивные параметры и режимы работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны;

– определить экономическую эффективность обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДИСКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ РАДИУСОМ КРИВИЗНЫ

2.1 Обоснование взаимосвязи конструктивных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны

Форма поверхности дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны образуется путем вращения плоской кривой участка спирали Архимеда вокруг оси вращения самого диска. При этом участок спирали ориентирован таким образом, что максимальный радиус кривизны будет у кромки лезвия диска, а минимальный радиус совпадает с осью его вращения. Спираль Архимеда представляет собой плоскую кривую, которая образуется при равномерном движении точки вдоль луча с началом в центре координат и одновременным равномерным движением луча вокруг центра координат. Спираль Архимеда в полярной системе координат описывается выражением [74]:

$$\rho = k\varphi = \frac{a\varphi}{2\pi}, \quad (2.1)$$

где ρ – расстояние от центра координат до текущей точки, мм; k – величина смещения произвольной точки по лучу при повороте луча на угол в один радиан, мм/рад; φ – угол поворота луча, рад; a – шаг спирали, мм.

Обоснование конструктивных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны начнем с выбора параметров спирали Архимеда, которые необходимы для формирования рабочей поверхности диска. Для этого изначально возьмем систему координат как показано на рисунке 2.1. При этом расположим плоскость лезвия диска таким образом, чтобы точка лезвия F касалась

лась плоскости XOZ , а ось вращения диска совпадала с осью OY . При этом лезвие диска будет иметь радиус равный R .

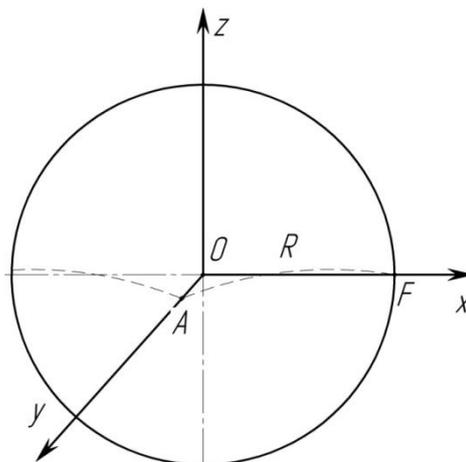


Рисунок 2.1 – Схема к обоснованию конструктивных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны

Для определения параметров спирали возьмем сечение поверхности диска плоскостью перпендикулярной плоскости лезвия диска и проходящую через точку F (Рисунок 2.2).

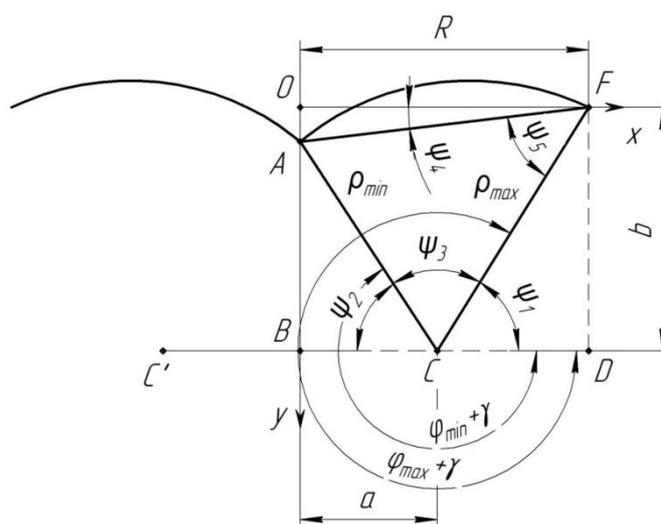


Рисунок 2.2 – Схема к определению параметров спирали

Как видно из рисунка 2.2 образующая диска, представляющая собой участок спирали Архимеда, которая ограничена соответственно максимальным и минимальным радиусом кривизны. Для фиксации минимального радиуса кривиз-

ны на оси вращения диска необходимо задаться углом ψ_4 между осью OX и отрезком AF , соединяющим минимальный и максимальный радиусы. Общее уравнение спирали Архимеда в указанной системе координат будет определяться системой уравнений:

$$\begin{cases} x = k\varphi \cos \varphi \cos \gamma - k\varphi \sin \varphi \sin \gamma + a, \\ y = k\varphi \cos \varphi \sin \gamma + k\varphi \sin \varphi \cos \gamma + b, \end{cases} \quad (2.2)$$

где x и y – текущие значения координат, мм; γ – угол поворота спирали для касания указанного участка спирали в точках A и F , рад; a и b – соответственно смещение начала спирали по осям OX и OY , или координаты начала спирали, мм.

Для определения конструктивных параметров дискового рабочего органа необходимо определить смещение начала спирали a по оси OX и b по оси OY , углы ψ_1 и ψ_2 между осью OX и максимальным ρ_{max} и минимальным ρ_{min} радиусами кривизны, а также величину k смещения произвольной точки по лучу при его повороте на угол в один радиан.

Параметрическое выражение (2.2) спирали Архимеда в указанной системе координат необходимо использовать для решения отдельных видов исследовательских задач, а на данном этапе определяем только величины смещения начала спирали a и b , а также величину смещения k . Кроме того, поскольку максимальный и минимальный радиусы кривизны при формировании рабочей поверхности дискового рабочего органа будут поворачиваться на один и тот же угол γ , то его определением на данном этапе также можно пренебречь.

Из рисунка 2.2 видно, что:

$$a = \rho_{min} \cos \psi_2, \quad (2.3)$$

$$b = \rho_{max} \sin \psi_1, \quad (2.4)$$

где ρ_{max} и ρ_{min} – соответственно максимальный и минимальный радиус кривизны, мм; ψ_1 и ψ_2 – величина острого угла между осью OX и соответственно максимальным и минимальным радиусом кривизны.

При этом углы ψ_1 и ψ_2 будут равны:

$$\psi_1 = 2\pi n - \varphi_{max} - \gamma, \quad (2.5)$$

$$\psi_2 = \pi(1 - 2n) + \varphi_{min} + \gamma = \pi - \psi_1 - \psi_3, \quad (2.6)$$

где φ_{max} и φ_{min} – углы поворота луча образующей спирали для образования соответственно максимального и минимального радиуса кривизны, рад; n – количество витков спирали для образования требуемого радиуса кривизны при конкретном значении смещения k произвольной точки по лучу при его повороте; ψ_3 – угол между максимальным и минимальным радиусами кривизны, рад.

Угол ψ_3 между максимальным и минимальным радиусами кривизны формирует радиус дискового рабочего органа и зависит от угла ψ_4 между осью OX и отрезком AF . Величина угла ψ_3 определяется из выражения (Рисунок 2.2):

$$AF^2 = AC^2 + CF^2 - 2AC \cdot CF \cos \psi_3. \quad (2.7)$$

При этом

$$AF = \frac{R}{\cos \psi_4}, \quad (2.8)$$

где R – радиус дискового рабочего органа, мм.

После подстановки выражения (2.8) в (2.7) и преобразования получим:

$$2\rho_{max}\rho_{min} \cos \psi_3 = \frac{R^2}{\cos^2 \psi_4} - \rho_{max}^2 - \rho_{min}^2.$$

Откуда

$$\psi_3 = \arccos\left(\frac{(\rho_{\max}^2 + \rho_{\min}^2)\cos^2\psi_4 - R^2}{2\rho_{\max}\rho_{\min}\cos^2\psi_4}\right). \quad (2.9)$$

С другой стороны

$$\psi_3 = \varphi_{\max} - \varphi_{\min}. \quad (2.10)$$

Тогда с учетом выражений (2.1), (2.9) и (2.10) после преобразования получим:

$$k = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{\arccos\left(\frac{(\rho_{\max}^2 + \rho_{\min}^2)\cos^2\psi_4 - R^2}{2\rho_{\max}\rho_{\min}\cos^2\psi_4}\right)}. \quad (2.11)$$

Выражение (2.11) позволяет определить необходимую величину смещения k произвольной точки по лучу при его повороте для формирования рабочей поверхности дискового рабочего органа радиусом R и фиксированном расположении его максимального и минимального радиуса кривизны. Зная максимальный ρ_{\max} и минимальный ρ_{\min} радиусы кривизны и величину смещения k произвольной точки по лучу при его повороте, используя выражение 2.1, легко найти требуемые углы поворота луча φ_{\max} , φ_{\min} и число витков спирали, которое необходимо округлять до большего целого числа.

Углы ψ_1 и ψ_2 фиксируют максимальный ρ_{\max} и минимальный ρ_{\min} радиусы кривизны относительно радиуса диска R , а также положение начала спирали a и b . При этом величину угла ψ_2 можно определить по выражению (2.6) если известен угол ψ_1 . Из рисунка 2.2 видно:

$$\frac{AF}{\sin \psi_3} = \frac{\rho_{\min}}{\sin \psi_5}, \quad (2.12)$$

где ψ_5 – угол между отрезком AF и максимальным радиусом кривизны ρ_{\max} .

Тогда после подстановки выражения (2.8) в выражение (2.12) после проведения преобразования, получим:

$$\psi_5 = \arcsin\left(\frac{\rho_{\min} \cos \psi_4 \sin \psi_3}{R}\right). \quad (2.13)$$

Угол ψ_1 равен сумме углов ψ_4 и ψ_5 как накрест лежащие, тогда с учетом выражения (2.13) будет:

$$\psi_1 = \arcsin\left(\frac{\rho_{\min} \cos \psi_4 \sin \psi_3}{R}\right) + \psi_4. \quad (2.14)$$

Полученные выражения (2.3), (2.4), (2.6), (2.11) и (2.14) позволяют спроектировать рабочую поверхность дискового рабочего с изменяющимся радиусом кривизны при известных максимальном ρ_{\max} и минимальном ρ_{\min} радиусах кривизны, радиусе диска R и угле ψ_4 . Однако при решении прикладных задач зачастую требует определить величину угла ψ_4 или радиуса R при известных радиусах ρ_{\max} и ρ_{\min} и соответственно φ_{\max} , φ_{\min} и k . Из рисунка 2.2 можно сделать вывод, что:

$$OB = OA + AB.$$

Подставляя в указанное выражение полученные ранее зависимости, будем иметь:

$$\rho_{\max} \sin \psi_1 = R \operatorname{tg} \psi_4 + \rho_{\min} \sin \psi_2. \quad (2.15)$$

Решая выражение (2.15) относительно ψ_4 и R получим:

$$\psi_4 = \arctan\left(\frac{\rho_{\max} \sin \psi_1 - \rho_{\min} \sin \psi_2}{R}\right), \quad (2.16)$$

$$R = \frac{\rho_{\max} \sin \psi_1 - \rho_{\min} \sin \psi_2}{\tan \psi_4}. \quad (2.17)$$

Для нахождения угла поворота спирали γ для ее касания в точках A и F воспользуемся выражением:

$$R = BC + CD. \quad (2.18)$$

Величина отрезка BC будет равна величине смещения спирали по оси OX , а отрезок CD будет равен:

$$CD = \rho_{\max} \cos \psi_1. \quad (2.19)$$

После подстановки выражений (2.3), (2.5), (2.6) и (2.19) в выражение (2.18) и его преобразования получим:

$$\rho_{\max} \cos(\varphi_{\max} + \gamma) = R + \rho_{\min} \cos(\psi_1 + \psi_3).$$

откуда:

$$\gamma = \arccos\left(\frac{R + \rho_{\min} \cos(\psi_1 + \psi_3)}{\rho_{\max}}\right) - \varphi_{\max}. \quad (2.20)$$

Выражение (2.20) позволяют определить угол поворота спирали Архимеда относительно своего начала отчета с координатами $[a;b]$ для совмещения ρ_{\max} с лезвием и ρ_{\min} с центром вращения дискового рабочего органа.

Выражения (2.16), (2.15) и (2.20) позволяют определить конструктивные параметры дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при известных начальных параметрах. Однако при проектировании дисковых рабочих органов с различными радиусами кривизны происходит смещение начала спирали a и b , что затрудняет исследование степени влияния интенсивности изменения кривизны рабочего органа на его процесс взаимодействия с почвой. В таком случае необходимо задаться начальным положением смещения спирали, т. е. величина a и b , минимальной ρ_{min} и максимальной ρ_{max} кривизной рабочего органа, а затем определить соответствующие им углы ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 и ψ_4 . Тогда из выражений (2.6) и (2.4) получим:

$$\psi_3 = \pi - \psi_1 - \psi_2, \quad (2.21)$$

$$\psi_1 = \arcsin\left(\frac{b}{\rho_{max}}\right). \quad (2.22)$$

При этом из рисунка 2.2 видно, что:

$$\psi_2 = \arccos\left(\frac{R - \rho_{max} \cos \psi_1}{\rho_{min}}\right). \quad (2.23)$$

Подставив выражение (2.21), (2.22) и (2.23) в выражение (2.7) и проведя преобразования, получим:

$$\psi_4 = \arccos \sqrt{\frac{R^2}{\rho_{max}^2 + \rho_{min}^2 + 2\rho_{max}\rho_{min} \cos(\arcsin(\frac{b}{\rho_{max}}) + \arccos(\frac{R - \rho_{max} \cos \psi_1}{\rho_{min}}))}}. \quad (2.24)$$

Используя выражение (2.24) можно определить величину угла ψ_4 , который будет фиксировать положение минимального радиуса кривизны ρ_{min} на оси вращения дискового рабочего органа. Полученные выражения обосновывают взаи-

мосвязь конструктивных параметров диска с изменяющимся радиусом кривизны с параметрами спирали Архимеда, которые необходимы при проектировании рабочего органа.

Графики взаимосвязи величины смещения k произвольной точки по лучу при его повороте, диапазона изменения радиуса кривизны $\Delta\rho$, угла ψ_4 между горизонталью и отрезком, соединяющим минимальный и максимальный радиусы кривизны, а также радиуса диска представлены на рисунке 2.3.

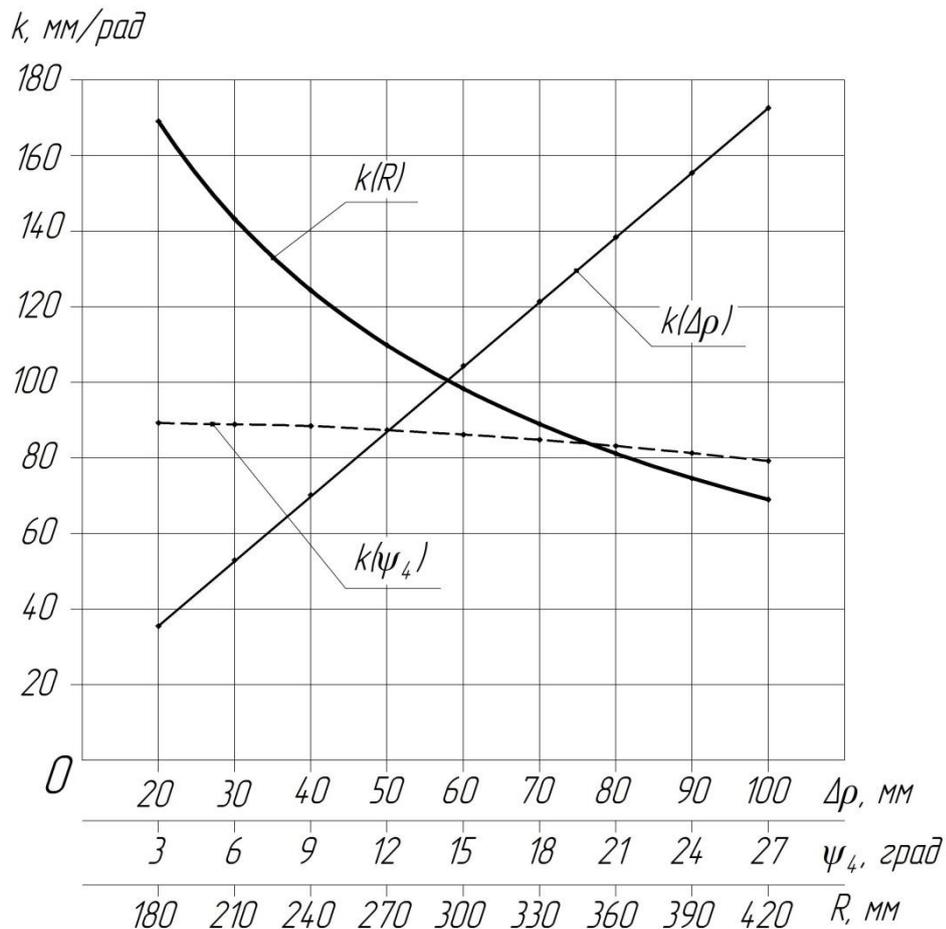


Рисунок 2.3 – Графики взаимосвязи величины смещения k произвольной точки по лучу при его повороте, диапазона изменения радиуса кривизны $\Delta\rho$, угла ψ_4 и радиуса диска R

Из рисунка 2.3 видно, что увеличение диапазона изменения радиуса кривизны $\Delta\rho$ приводит к линейному росту величины смещения k произвольной точки по лучу при его повороте, при этом меньшее значение диапазона соответствует

меньшему значению k . Характер изменения величины смещения k произвольной точки по лучу при изменении угла ψ_4 между горизонталью и отрезком, соединяющим минимальный и максимальный радиусы кривизны, а также радиуса R диска носит криволинейный характер. При этом при увлечении радиуса R диска и угла ψ_4 величина смещения k произвольной точки по лучу уменьшается, однако интенсивность снижения смещения k произвольной точки по лучу при увеличении радиуса R диска значительно выше, чем при увеличении угла ψ_4 .

Полученные выражения позволяют сделать вывод, что при величине радиуса диска $R \in [210; 300]$ мм, величина угла между горизонталью и отрезком, соединяющим минимальный и максимальный радиусы кривизны, лежит в интервале $\psi_4 \in [6; 15]$ град, величина смещения произвольной точки по лучу в интервале $k \in [180; 100]$ мм/об, при $\Delta\rho \in [60; 100]$ мм.

2.2 Исследование кинематики рабочей поверхности дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны

При выполнении кинематического исследования процесса взаимодействия рабочей поверхности дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны с почвой сделаем допущение, что проскальзывание почвы относительно рабочей поверхности при ее движении вместе с ней отсутствует. Пласт почвы представляет собой континуум, а в процессе своего движения вдоль рабочей поверхности дискового рабочего органа он не изменяет свою форму, а, следовательно, и свой центр тяжести.

Процесс взаимодействия дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны с почвой, прежде всего, зависит от траектории движения, скорости и ускорения произвольной его точки. Отличительной особенностью такого рабочего органа является то, что образующая диска представляет собой плоскую кривую линию, т. е. участок спирали Архимеда. Этот факт означает, что указан-

ный рабочий орган будет иметь центр кривизны для каждого положения образующей, а в процессе вращения диска он также будет вращаться, описывая окружность вокруг оси вращения.

Выражения, полученные профессором Канаревым Ф. М., позволяют определить траекторию, скорость и ускорение произвольной точки сферического диска [26]. Однако указанные выражения не позволяют определить кинематические показатели работы произвольной точки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны, а кроме того они получены для случая начала координат в точке пересечения поверхности диска и оси его вращения, что делает затруднительным анализ режима работы рабочей поверхности ввиду расположения проекций в разных октантах. Таким образом, необходимо сместить точку начала координат для расположения дискового рабочего органа в одном и том же октанте. Для этого возьмем систему координат таким образом (Рисунок 2.4), чтобы плоскость, ограниченная лезвием диска и представляющая собой окружность радиусом R с центром в точке ее пересечения с лучом AC , лежала в I октанте.

При этом горизонтальный диаметр F_1F_2 указанной окружности будет касаться плоскости XOZ в точке F_1 , и будет составлять угол α , который будет соответствовать углу атаки дискового рабочего органа. С другой стороны вертикальный диаметр F_3F_4 будет составлять с плоскостью XOZ угол β , соответствующий углу наклона дискового рабочего органа к вертикали.

Из всех точек расположенных на образующей известно начальное положение точки F на лезвии диска, фиксируемое его радиусом R и максимальным радиусом кривизны ρ_{max} и положение точки A (Рисунок 2.4), фиксируемое минимальным радиусом ρ_{min} и углом ψ_4 . Наиболее удобно взять в качестве точки отсчета на рабочей поверхности дискового рабочего органа точку A , поскольку в таком случае все проекции произвольной точки (например, точки M) будут иметь одинаковый знак. В таком случае, при движении диска вдоль оси OX точка A изначально будет лежать в плоскости YOZ , а через момент времени t переместиться на величину равную $V_n t$.

На основании результатов исследований профессора Канарева Ф. М. в указанной системе координат траектория произвольной точки F будет описываться системой уравнений [26]:

$$\begin{cases} x = V_n t + R \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t + R \cos \alpha \cos \omega t; \\ y = R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta \sin \omega t - R \sin \alpha \cos \omega t; \\ z = R \cos \beta - R \cos \beta \sin \omega t; \end{cases} \quad (2.25)$$

где x, y, z – координаты произвольной точки режущей кромки дискового рабочего органа; V_n – поступательная скорость дискового рабочего органа; α – угол атаки дискового рабочего органа; β – угол наклона оси вращения дискового рабочего органа к горизонту; ω – угловая скорость вращения дискового рабочего органа; ωt – угол поворота дискового рабочего органа.

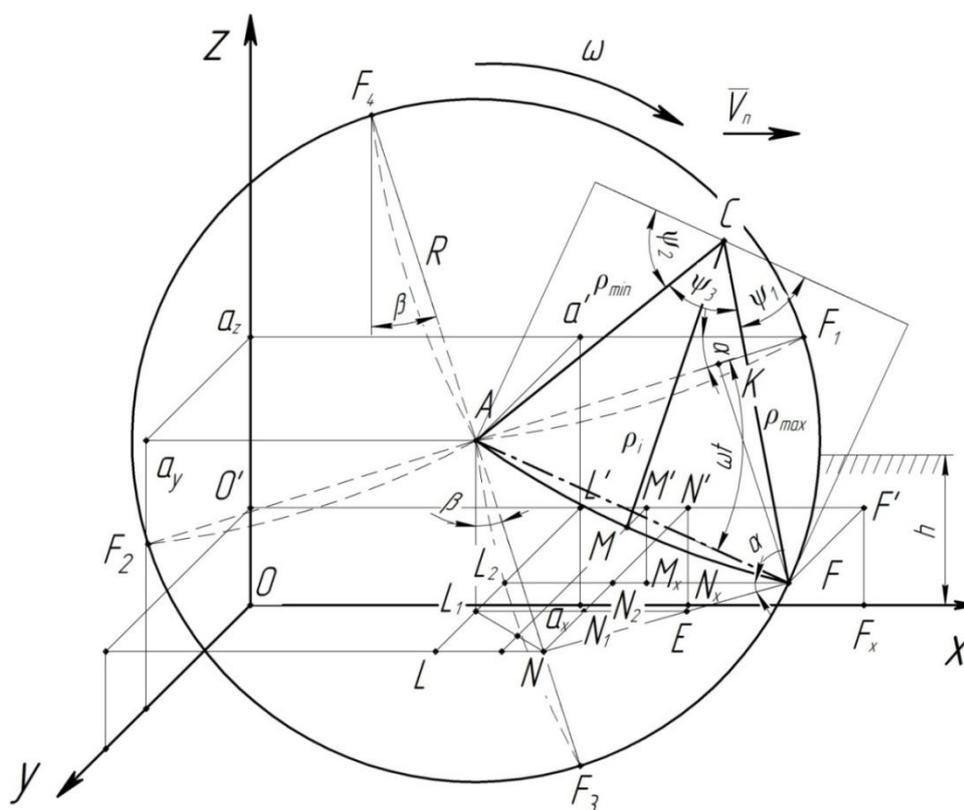


Рисунок 2.4 – Схема для определения траектории произвольной точки рабочей поверхности дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны

Система уравнений 2.25 будет характеризовать траекторию движения произвольной точки режущей кромки дискового рабочего органа, т. е. группы точек, непосредственно отделяющие пласт почвы от монолита. На основании результатов различных исследований и практического опыта эксплуатации дисковых рабочих органов, после отделения пласта почвы от монолита он совершает свое движение под углом к радиусу, проведенному в точку отделения его от монолита, и режущая кромка в указанной процессе не принимает участие. В таком случае на следующем этапе исследований необходимо определить выражения для определения траектории произвольной точки M (Рисунок 2.4) рабочей поверхности дискового рабочего органа.

Для этого изначально необходимо зафиксировать положение произвольной точки M на рабочей поверхности дискового рабочего органа. Поскольку точка M принадлежит дуге спирали Архимеда, ограниченной минимальным ρ_{min} и максимальным ρ_{max} и радиусом кривизны, то зафиксировать положение точки M можно используя различную величину угла поворота φ_i (Рисунок 2.5) и соответствующий ей текущий радиус кривизны ρ_i . При этом величина угла поворота φ_i будет изменяться от φ_{min} до φ_{max} .

В таком случае фиксация произвольной точки M рабочей поверхности дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны вдоль плоскости, ограниченной режущей кромкой, относительно оси начало отсчета точки A с учетом выражения 2.1 будет определяться выражением:

$$\rho_{min} \cos \psi_2 - k \varphi_i \cos(\psi_2 + \varphi_i - \varphi_{min}), \quad (2.26)$$

где φ_i – угол поворота спирали для образования радиуса кривизны ρ_i произвольной точки M .

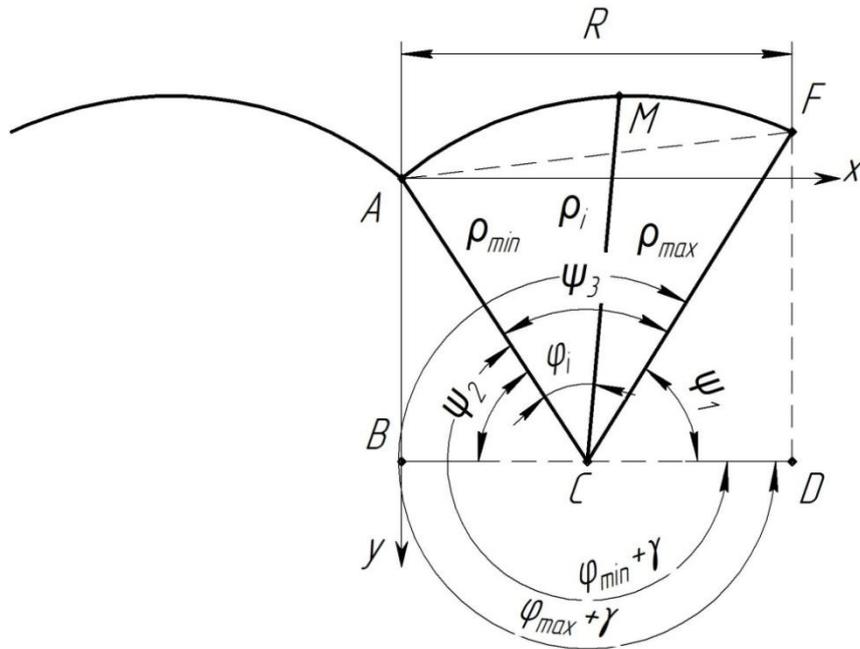


Рисунок 2.5 – Схема для фиксации произвольной точки M рабочей поверхности дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны

После фиксации точки M относительно плоскости лезвия необходимо зафиксировать ее на самой рабочей поверхности дискового рабочего органа, в результате чего на оси координат добавятся проекции отрезка MM_1 , величина которого будет определяться выражением:

$$\rho_{\min} \sin \psi_2 - k \varphi_i \sin(\psi_2 + \varphi_i - \varphi_{\min}). \quad (2.27)$$

Обозначим:

$$\rho_{\min} \sin \psi_2 - k \varphi_i \sin(\psi_2 + \varphi_i - \varphi_{\min}) = A_1,$$

$$\rho_{\min} \cos \psi_2 - k \varphi_i \cos(\psi_2 + \varphi_i - \varphi_{\min}) = B_1.$$

Тогда с учетом выражений (2.25), (2.26) и (2.27) координаты произвольной точки M будут описываться выражениями:

$$x = V_n t + B_1 \cos \alpha \cos \omega t + B_1 \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t + A_1 \sin \alpha \cos \beta, \quad (2.28)$$

$$y = B_1 \cos \alpha \sin \beta \sin \omega t - B_1 \sin \alpha \cos \omega t + A_1 \cos \alpha \cos \beta + \frac{R \sin(\alpha + \psi_4)}{\cos \psi_4}, \quad (2.29)$$

$$z = A_1 \sin \beta - B_1 \cos \beta \sin \omega t + R \cos \beta. \quad (2.30)$$

Выражения 2.28–2.30 описывают траекторию движения произвольной точки рабочей поверхности дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны. Кроме того при помощи полученных выражений можно определить скорость и ускорение произвольной точки рабочей поверхности, их направление и составляющие в пространстве, что позволит провести анализ процесса обработки почвы.

Абсолютная скорость точки M будет определяться по выражению:

$$V_M = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}, \quad (2.31)$$

где V_M – абсолютная скорость произвольной точки M рабочей поверхности дискового рабочего органа; V_x , V_y и V_z – проекции абсолютной скорости на оси координат.

При этом величина проекций составит:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = V_n - B_1 \omega \cos \alpha \sin \omega t + B_1 \omega \sin \alpha \sin \beta \cos \omega t, \quad (2.32)$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = B_1 \omega \cos \alpha \sin \beta \cos \omega t + B_1 \omega \sin \alpha \sin \omega t, \quad (2.33)$$

$$V_z = \frac{dz}{dt} = -B_1 \omega \cos \beta \cos \omega t. \quad (2.34)$$

После подстановки выражений (2.32–2.34) в выражение (2.31) и преобразования, получим:

$$V_M = \sqrt{V_n^2 + B_1^2 \omega^2 + 2V_n B_1 \omega (\sin \alpha \sin \beta \cos \omega t - \cos \alpha \sin \omega t)}. \quad (2.35)$$

Абсолютное ускорение произвольной точки M рабочей поверхности дискового рабочего органа будет определяться по выражению:

$$a_M = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}, \quad (2.36)$$

где a_M – абсолютное ускорение произвольной точки M рабочей поверхности дискового рабочего органа; a_x , a_y и a_z – проекции абсолютного ускорения произвольной точки M на оси координат.

При этом величина проекций составит:

$$a_x = \frac{d^2 x}{dt^2} = -B_1 \omega^2 \cos \alpha \cos \omega t - B_1 \omega^2 \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t, \quad (2.37)$$

$$a_y = \frac{d^2 y}{dt^2} = -B_1 \omega^2 \cos \alpha \sin \beta \sin \omega t + B_1 \omega^2 \sin \alpha \cos \omega t, \quad (2.38)$$

$$a_z = \frac{d^2 z}{dt^2} = B_1 \omega^2 \cos \beta \sin \omega t. \quad (2.39)$$

После подстановки выражений (2.37–2.39) в выражение (2.36) и преобразования, получим:

$$a_M = B_1 \omega^2. \quad (2.40)$$

Выражения (2.35) и (2.40) позволяют определить скорость и ускорение произвольной точки M рабочей поверхности дискового рабочего органа. Изменение величины и направления абсолютной скорости произвольной точки M будет характеризовать не только процесс отбрасывания пласта, но и за счет изменения ее

проекций по мере перемещения пласта процесс ее деформации, а ровно и крошения.

Изменение направления вектора абсолютной скорости произвольной точки M рабочей поверхности характеризуется направляющими косинусами [26, 74]. Для более удобного представления и анализа это изменение лучше характеризовать непосредственно углами между координатными осями и вектором абсолютной скорости. Тогда направляющие косинусы будут определяться по выражениям:

$$(\hat{V}, i) = \arccos\left(\frac{V_x}{V}\right), \quad (2.41)$$

$$(\hat{V}, j) = \arccos\left(\frac{V_y}{V}\right), \quad (2.42)$$

$$(\hat{V}, k) = \arccos\left(\frac{V_z}{V}\right), \quad (2.43)$$

где i , j , и k – орты соответствующих осей координат.

Для анализа процесса взаимодействия рабочей поверхности дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны с почвой и влияние на него конструктивных и технологических параметров построим графики изменения величины абсолютной скорости произвольной точки M в зоне перемещения пласта по ней, а также проекции абсолютной скорости на координатные оси при изменении угла поворота диска и радиуса кривизны (Рисунок 2.6–2.14). Для наглядности представления изменения исследуемых параметров используем аксонометрическую проекцию дискового рабочего органа, которую делим на равные 12 частей, что будет соответствовать углу поворота 30° . При этом направление осей системы координат остается без изменения, а движение диска осуществляется вдоль оси OX . При построении векторов скорости соответствующего каждому углу поворота диска и расположенных на лезвии диска и на расстоянии $1/3$ от его края, откладываем соответствующие проекции в масштабе, чтобы сохранить их соотношение и направ-

ление. Данные, полученные расчетным путем по полученным выражениям, для построения графиком представлены в таблицах А1–А16 приложения А.

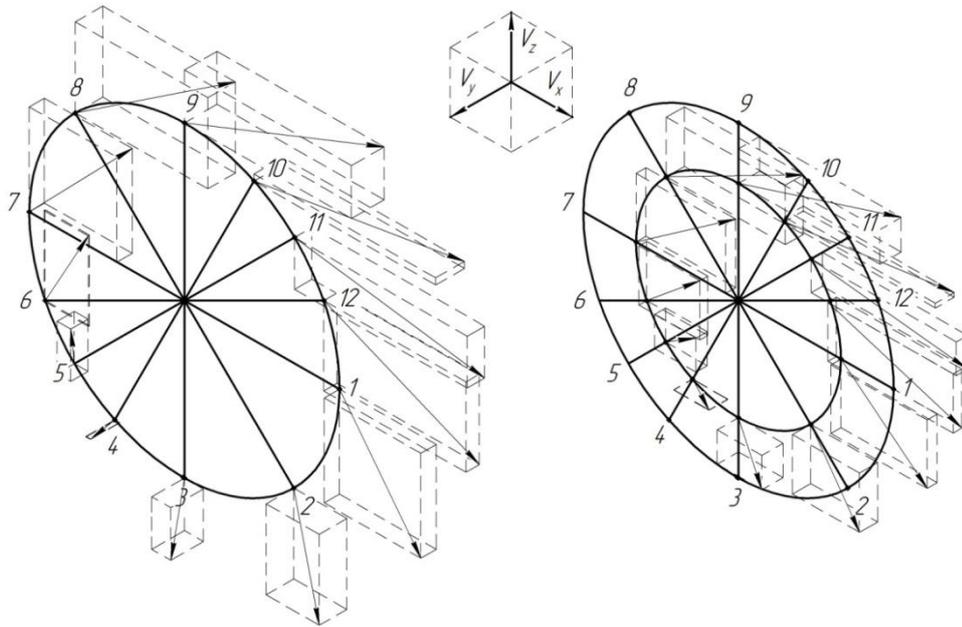


Рисунок 2.6 – График изменения абсолютной скорости точки M дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

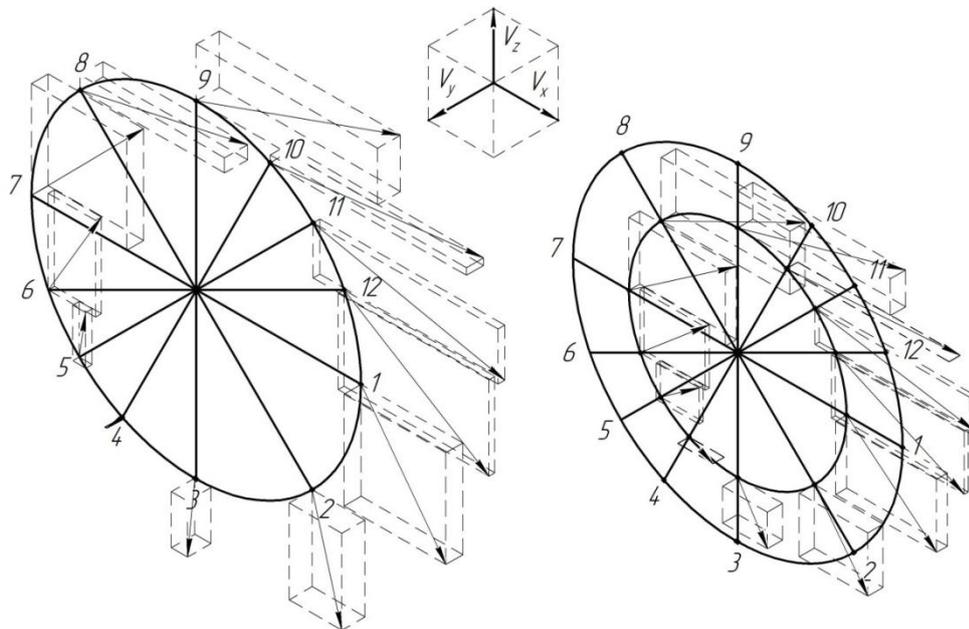


Рисунок 2.7 – График изменения абсолютной скорости точки M дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

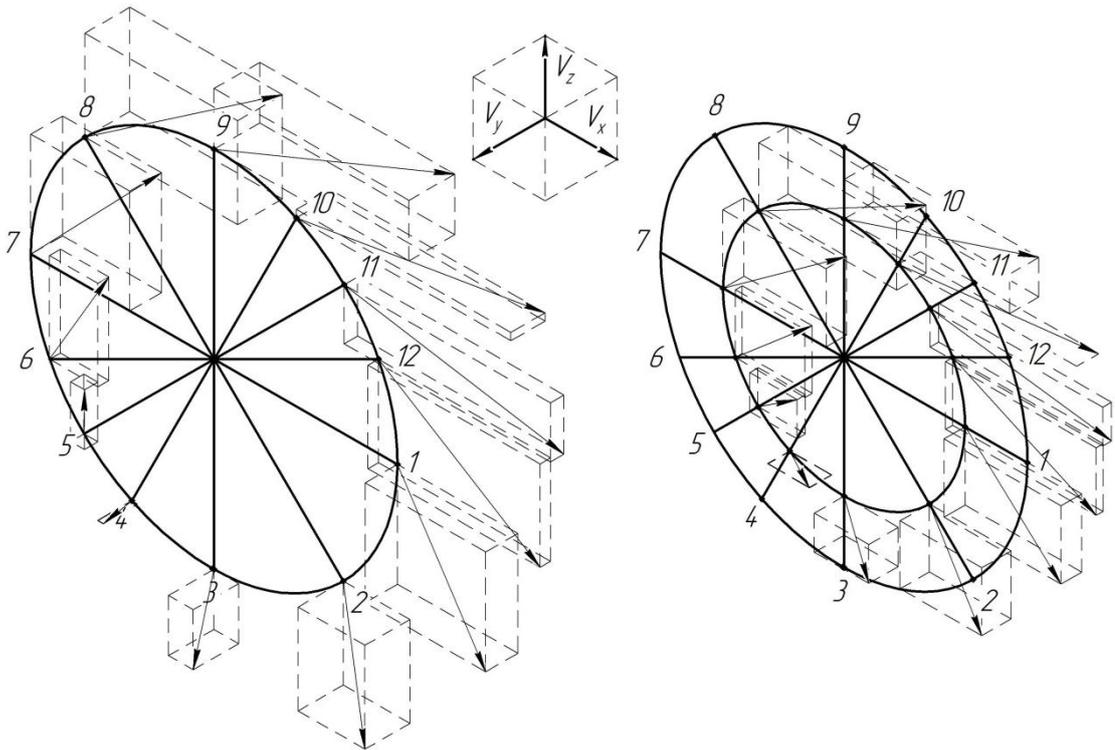


Рисунок 2.8 – График изменения абсолютной скорости точки M дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 18^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

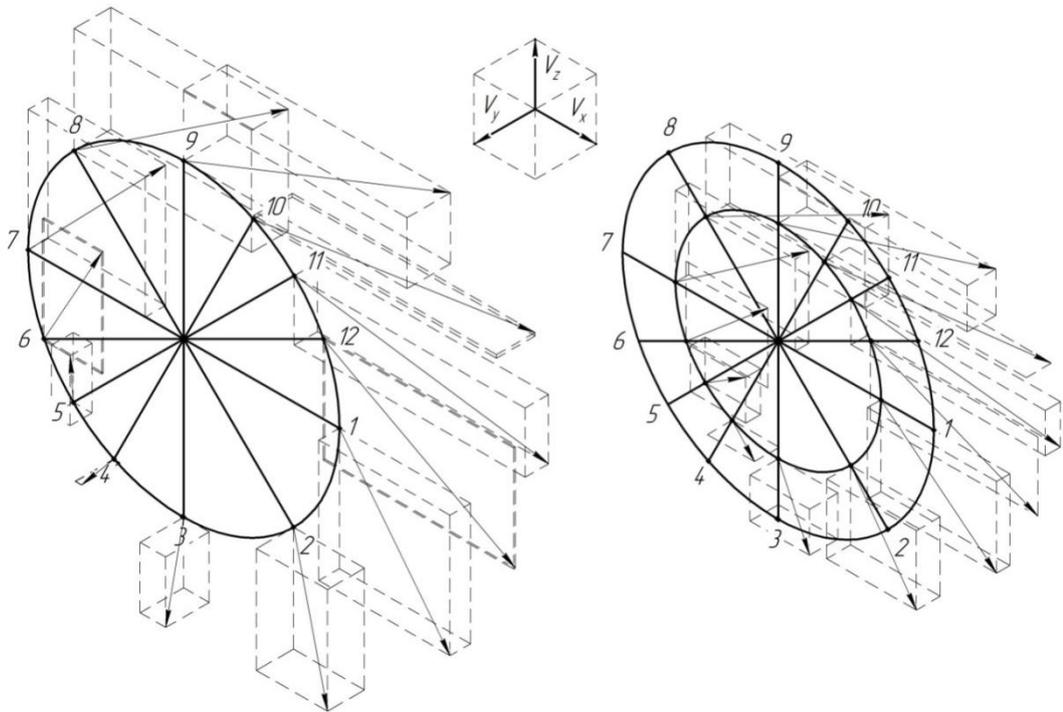


Рисунок 2.9 – График изменения абсолютной скорости точки M дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 4$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

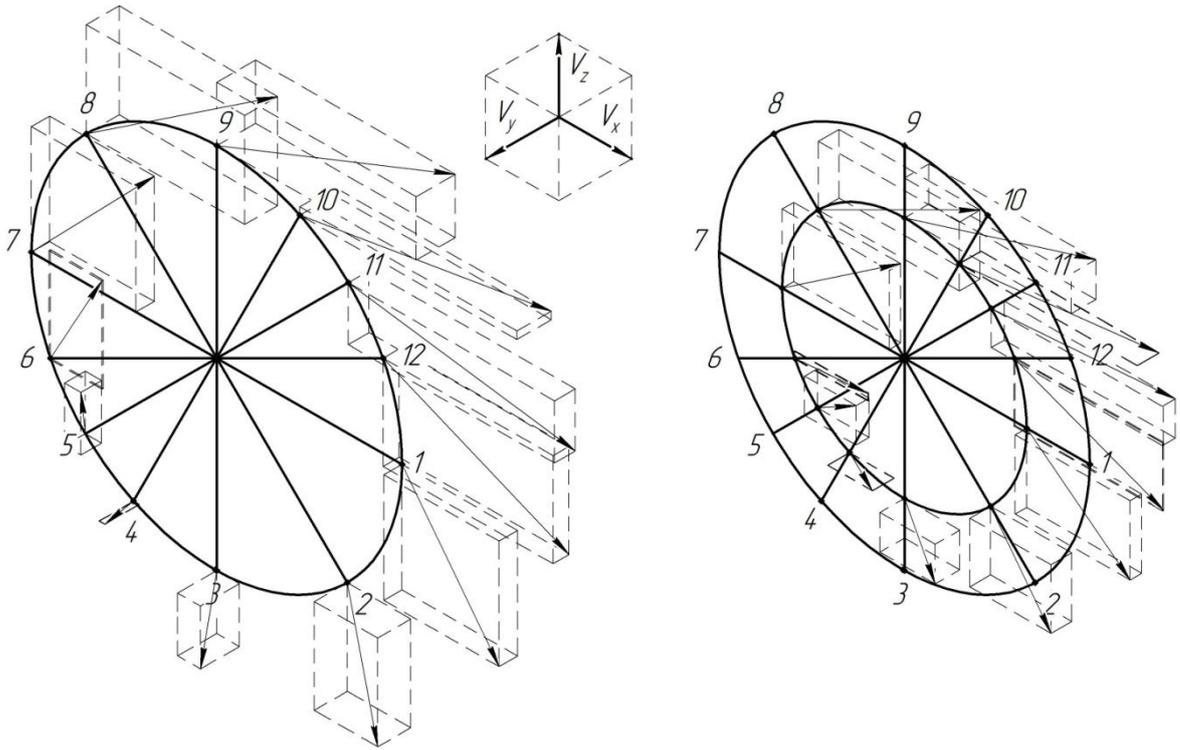


Рисунок 2.10 – График изменения абсолютной скорости точки M дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

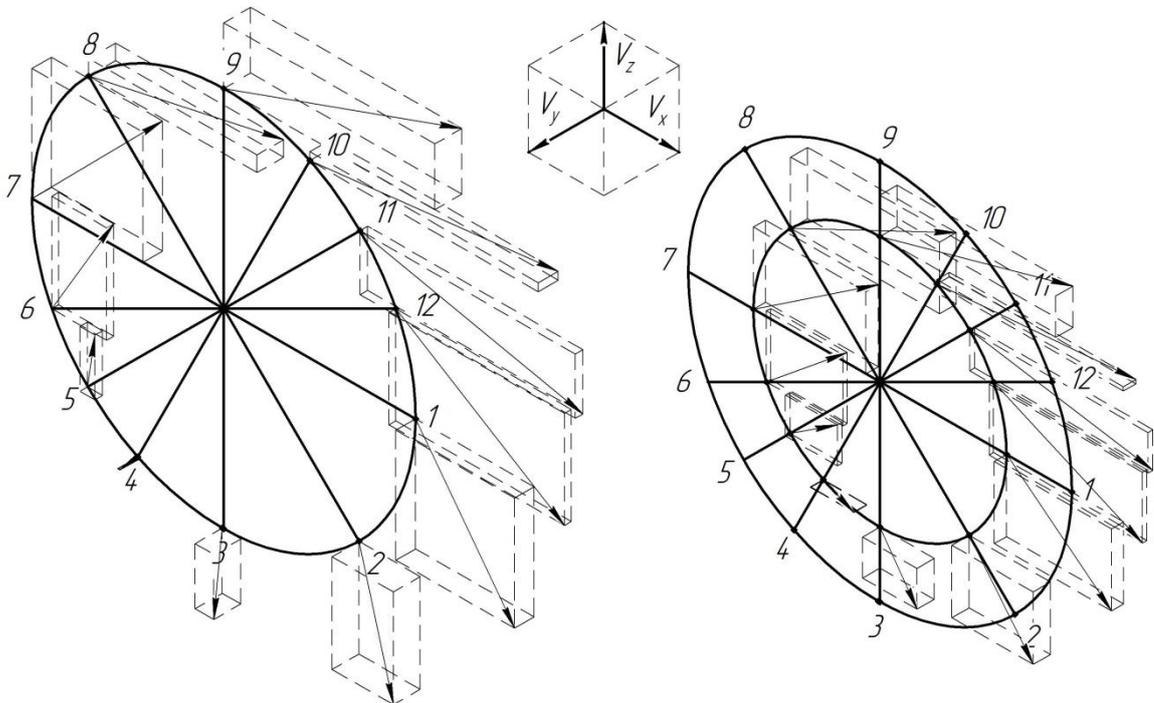


Рисунок 2.11 – График изменения абсолютной скорости точки M дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

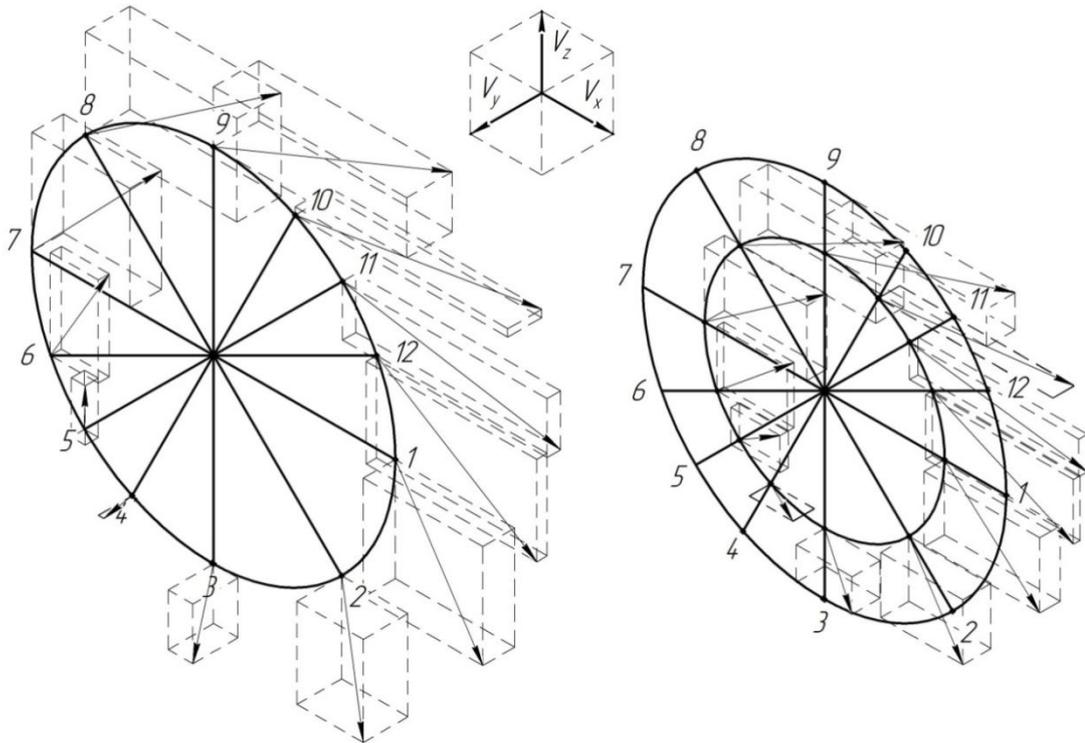


Рисунок 2.12 – График изменения абсолютной скорости точки M дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 18^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

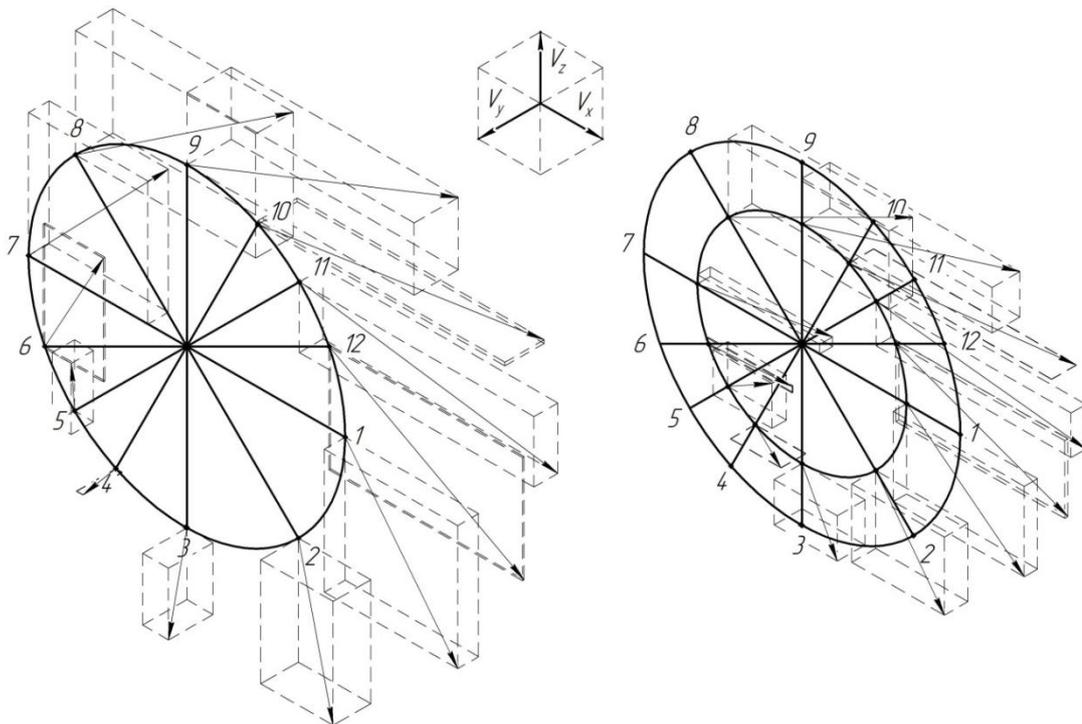


Рисунок 2.13 – График изменения абсолютной скорости точки M дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 4$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

Из графиков (Рисунок 2.6–2.13) изменения абсолютной скорости точки M лезвия дискового рабочего органа с изменяющейся кривизной видно, что обработка почвы, т. е. рабочая зона, будет производиться при угле поворота диска от 0 до 180°, поскольку при большем угле поворота ось вращения будет находиться ниже поверхности почвы. Абсолютная скорости точки M будет значительно изменяться как по направлению, так и по своей величине. При этом минимальное значение скорости находится при угле поворота диска 60–120°. Угол между абсолютной скоростью точки M в рабочей зоне будет направлен от плоскости лезвия диска в сторону необработанной почвы, после выхода из рабочей зоны в сторону стенки борозды. При этом в диапазоне угла поворота от 0 до 60° вектор абсолютной скорости направлен в сторону дна борозды, что будет свидетельствовать о смятии почвы лезвием диска. При угле поворота приблизительно 90° вектор абсолютной скорости занимает практически параллельное направление с поверхностью почвы и перпендикулярно к вертикали. Затем вектор абсолютной скорости начинает резко расти в своем абсолютном значении и ориентироваться в вертикальном направлении, на основании чего, можно заключить, что именно после этого угла поворота диска начнется отрыв пласта от дна борозды и его подъем по рабочей поверхности диска. Следует отметить, что в диапазоне от 0 до 60° будет также наблюдаться частичный подъем пласта, но это будет происходить в основном под влиянием увеличения объема парового пространства почвы и реакции необработанной его части.

При анализе графиков (Рисунок 2.6–2.13) абсолютной скорости точки M расположенной на расстоянии $1/3$ от режущей кромке можно сделать вывод, что общая тенденция направления векторов скорости в диапазоне угла поворота от 0 до 60° сохраняется, происходит общее снижение угла между вектором абсолютной скорости и направлением движения, а также снижение величины абсолютной скорости. При угле поворота диска более 60° направление векторов скорости, по сравнению с векторами скорости точек на режущей кромке, характеризуется большей величиной составляющих V_x и меньшей V_z , что говорит о возникновении

в пласте двух различно направленных напряжений, которые будут приводить к его разрушению.

В действительности же вектор скорости пласта почвы будет направлен по касательной к режущей кромке, поэтому при угле поворота дискового рабочего органа более 90° , направление вектора абсолютной скорости точки M диска будет значительно отличаться от вектора скорости почвы. В таком случае, в момент, когда сила трения и прилипания между почвой и рабочим органом станет меньше чем приобретенная кинетическая энергия пласта, произойдет отрыв почвы от рабочей поверхности, и дальше она будет перемещаться как тело, брошенное под углом к горизонту. Если же приобретенной кинетической энергии пласта будет недостаточно для преодоления указанных сил, то почва будет отбрасываться в направлении поступательного движения диска и повторно обрабатываться, что, безусловно, приведет к повышению энергоемкости процесса.

При работе дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны увеличение угла α атаки приводит к росту вектора абсолютной скорости в рабочей зоне. Наиболее интенсивно рост скорости происходит в диапазоне угла поворота от 60° до 120° за счет увеличения составляющих V_x и V_y , при этом возрастает угол отклонения вектора абсолютной скорости от плоскости лезвия диска, что говорит об отбросе почвы на большие расстояния. Этот факт позволяет сделать вывод, что для снижения энергоемкости, с точки зрения исключения повторной обработки почвы при ее отбросе на линию прохода соседнего рабочего органа, больший угол атаки необходимо устанавливать на задних рядах рабочих органов.

Увеличение угла β наклона дискового рабочего органа к вертикали ведет к уменьшению вектора абсолютной скорости в зоне отброса почвы в пределах от 90° до 180° , что снижает разброс почвы и энергоемкость обработки почвы за счет уменьшения динамического давления пласта.

Повышение поступательной скорости V_n диска приводит к повышению абсолютной скорости диска при его любом положении, при этом наиболее интенсивно рост наблюдается в зоне отброса пласта почвы в пределах от 90° до 120° . Это приведет к повышению энергоемкости за счет повышения сжатия почвы в

пределах угла поворота от 0 до 60° и повышению дальности ее отброса за счет большей скорости. Указанные факты позволяют сделать заключение, что повышение скорости приведет к повышению степени крошения почвы не только за счет создания в пласте разнонаправленных напряжений, но и за счет ее падения с большей высоты, т. е. придания ему большей кинетической энергии.

Повышение кривизны рабочей поверхности дискового рабочего органа приводит к росту вектора абсолютной скорости в диапазоне угла поворота от 60 до 120°, при этом возрастает составляющая V_x вектора скорости и уменьшаются составляющие V_y и V_z , что говорит о создании больших по величине разнонаправленных напряжений в обрабатываемом пласте. При других углах поворота дискового рабочего органа повышение кривизны ведет к снижению вектора абсолютной скорости. Снижение вектора скорости при повороте диска на угол от 0 до 60° свидетельствует о снижении энергоемкости процесса за счет уменьшения сжатия почвы.

Проведя кинематический анализ процесса работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны можно сделать вывод, что на величину и направление абсолютной скорости произвольной точки рабочей поверхности оказывает влияние поступательная V_n скорость диска, углы атаки α и установки диска к вертикали β . При этом при радиусе диска $R = 280$ мм уменьшение угла атаки α с 10 до 18 градусов приводит к уменьшению величины абсолютной скорости, однако, интенсивность ее изменения от максимальной до минимальной величины увеличивается на 0,5 м/с соответственно. Увеличение угла β наклона диска к вертикали от 10 до 18 градусов и уменьшение интенсивности изменения кривизны рабочей поверхности диска с $\Delta\varphi$ 1400 до 600 мм/об приводит к увеличению величины абсолютной скорости на 0,1 м/с. Поскольку при работе дискового рабочего органа интенсивность изменения абсолютной скорости произвольной точки характеризует величину действующего на рабочий орган динамического сопротивления, то необходимо при работе добиваться как можно меньшего ее варьирования. Тогда для диска $R = 280$ мм при работе можно рекомендовать использовать следующие параметры конструктивных и режимных параметров: угол атаки

$\alpha > 15^\circ$, скорость движения орудия $V_n < 14$ км/ч, при угле наклона диска к вертикали $\beta > 10^\circ$, интенсивность изменения кривизны рабочей поверхности должна быть $\Delta\varphi > 800$ мм/об.

2.3 Теоретическое исследование влияния конструктивных параметров и режимов работы дискового рабочего органа на его тяговое сопротивление при различных схемах ориентации

Энергоемкость процесса является одним из важнейших показателей эффективности работы любого почвообрабатывающего рабочего органа, которая наряду с качественными показателями работы характеризует целесообразность его использования в принципе. Наиболее часто для характеристики энергоемкости любого технологического процесса в качестве оценки используют удельную энергоемкость или удельное тяговое сопротивление [88, 95]. Удельное тяговое сопротивление является одновременно сложным и обобщенным показателем энергоемкости процесса, поскольку он включает в себя все видимые и скрытые процессы, происходящие в системе «рабочий орган – почва». В самом общем случае удельное тяговое сопротивление дисковой борона определяется по выражению [88]:

$$k_{y\partial} = \frac{R_{\partial.\partial.}}{B_{\partial.\partial.}}, \quad (2.44)$$

где $k_{y\partial}$ – удельное тяговое сопротивление дисковой борона, Н/м; $R_{\partial.\partial.}$ – тяговое сопротивление дисковой борона, Н; $B_{\partial.\partial.}$ – ширина захвата дисковой борона, м.

Однако данная запись является весьма обобщенной, и согласно априорной информации, удельное тяговое сопротивление изменяется в значительных пределах в зависимости от физико-механических свойств почвы, глубины обработки, ввиду того, что твердость почвы с глубиной изменяется в значительных пределах,

скорости движения и, конечно в определенной степени, от типа сельскохозяйственного орудия [3, 5, 26, 27, 34 и др.]. Тогда, с учетом сказанного можно записать:

$$k_{y\partial} = \frac{R_{\partial.б.} - [\Delta k_1(V_p - V) + \Delta k_2(h_p - h)] B_{\partial.б.}}{B_{\partial.б.}}, \quad (2.45)$$

где Δk_1 – коэффициент изменения тягового сопротивления в зависимости от изменения фактической рабочей скорости движения орудия от эталонной при определении удельного тягового сопротивления, %; Δk_2 – коэффициент изменения тягового сопротивления в зависимости от изменения фактической глубины обработки почвы от эталонной при определении удельного тягового сопротивления, %; V_p – фактическая скорость движения, м/с; h_p – фактическая глубина обработки, м; V и h – эталонные соответственно скорость и глубина обработки при определении удельного тягового сопротивления, м/с и м.

Конечно выражение (2.45) также не может учесть фактические физико-механические свойства почвы и особенности конструкции орудия, для этого необходимо дополнительно вводить коэффициенты. Однако, ввиду того, что выражение (2.45) можно получить только эмпирическим путем в результате проведения многократных экспериментов, то ввод в нее дополнительных коэффициентов будет только усложнять и без того сложную задачу.

С другой стороны, можно перейти от удельного тягового сопротивления процесса к его удельной энергоемкости, и определять ее по выражению:

$$k_э = \frac{R_{\partial.б.}}{B_{\partial.б.} h}, \quad (2.46)$$

где $k_э$ – удельная энергоемкость обработки почвы дисковой бороной, Н/м².

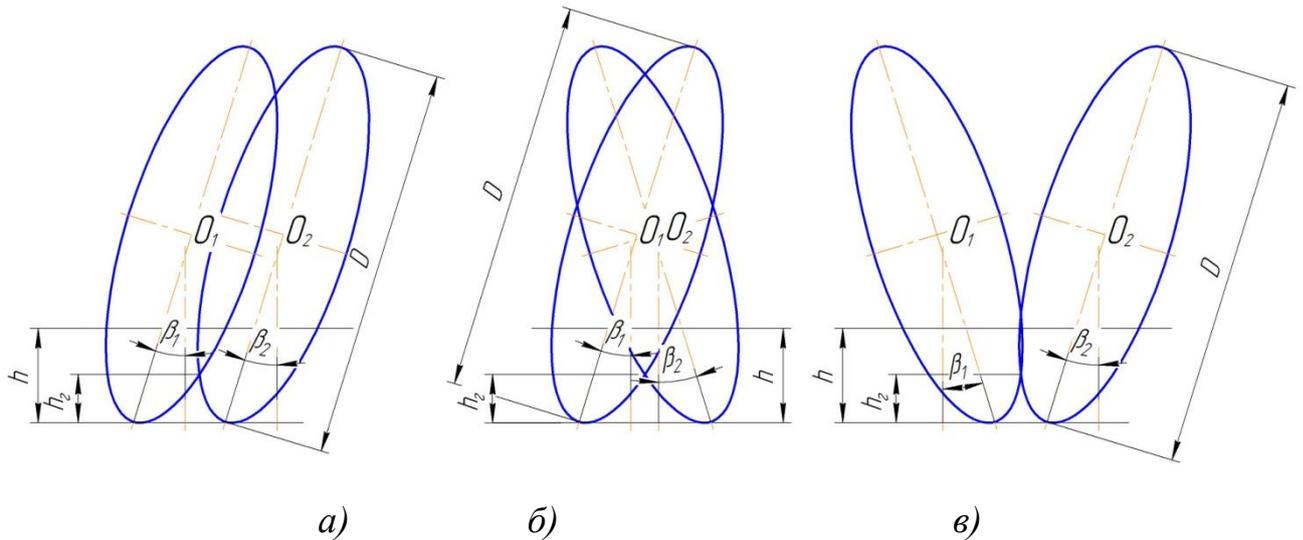
Выражение (2.46) также содержит в себе множество недочетов, однако базируя на ней свои предположения можно в результате серии опытов определить удельную энергоемкость обработки почвы дисковой бороной для конкретных

почвенно-климатических условий, а изменяя при этом скорость движения при помощи статистической обработки полученных результатов получить величину вариации входящего в выражение (2.45) коэффициента Δk_1 .

В виду того, что у исследуемого дискового рабочего органа, кривизна рабочей поверхности выполнена по спирали Архимеда, что позволит концентрировать напряжение возникающие в пласте, а также обеспечит их плавное нарастание, что будет приводить к снижению возникающего динамического сопротивления, то использовать при их исследовании уже известные значения удельного тягового сопротивления или энергоемкости не представляется возможным, ввиду несколько иного механизма взаимодействия его с почвой. Поэтому, на первоначальном этапе необходимо определить значение этих показателей, а затем уже расширять полученные знания на другие почвенно-климатические и эксплуатационные условия функционирования орудия.

Отличительной особенностью современных дисковых борон от многих других сельскохозяйственных орудий является то, что в зависимости от их взаимного расположения, т. е. от технологической схемы расстановки будут также значительно изменять показатели работы всего агрегата. В самом общем случае на дисковой бороне взаимная ориентация дисковых рабочих органов (Рисунок 2.14) может быть одинаково ориентированной, т.е. при одинаковых значениях углов наклона к вертикали, и противоположно ориентированной, т. е. в случае, когда углы наклона к вертикали противоположно направлены, а сами случаи называют в «свал» и в «развал».

При различных схемах ориентации рабочих органов соответственно будут различные показатели их работы, и в первую очередь, гребнистость дна борозды, которая очевидна будет зависеть от конструктивных и технологических параметров самих рабочих органов, а также их расстановки на раме орудия. Для более детального исследования необходимо получить аналитически взаимосвязь гребнистости дна борозды с конструктивными и технологическими параметрами дисковых рабочих органов.



а – в одном направлении; б – в «развал»; в – в «свал»

Рисунок 2.14 – Схема взаимной ориентации дисковых рабочих органов

Для этого, будем использовать ранее принятую систему координат (Рисунок 2.4). Тогда выражениями (2.29) и (2.30) будут описываться проекции произвольной точки рабочей поверхности дискового рабочего органа на плоскость YOZ . Поскольку для определения гребнистости и энергоёмкости необходимо знать поперечное сечение обрабатываемого пласта, то проекция этого сечения будет ограничиваться режущей кромкой. Для получения проекции режущей кромки дискового рабочего органа на плоскость YOZ в выбранной системе координат необходимо в выражениях (2.29) и (2.30) взять $A_1 = 0$, $B_1 = R$ и угол $\psi_4 = 0$. После преобразования выражений (2.29) и (2.30) получим:

$$\begin{cases} y_1 = R_1 \sin \alpha_1 + R_1 \cos \alpha_1 \sin \beta_1 \sin \omega_1 t - R_1 \sin \alpha_1 \cos \omega_1 t, \\ z_1 = R_1 \cos \beta_1 (1 - \sin \omega_1 t), \end{cases} \quad (2.47)$$

$$\begin{cases} y_2 = R_2 \sin \alpha_2 + R_2 \cos \alpha_2 \sin \beta_2 \sin \omega_2 t - R_1 \sin \alpha_2 \cos \omega_2 t + b, \\ z_2 = R_2 \cos \beta_2 (1 - \sin \omega_2 t), \end{cases} \quad (2.48)$$

где b – расстояние между соседними дисковыми рабочими органами вдоль оси OY , м; R_1 и R_2 – радиусы дисковых рабочих органов, м; α_1 и α_2 – углы атаки

дисковых рабочих органов, град; β_1 и β_2 – углы установки дисковых рабочих органов к вертикали, град; ω_1 и ω_2 – угловые скорости режущих кромок дисковых рабочих органов, c^{-1} ; y_1, z_1, y_2 и z_2 – координаты проекций режущих кромок двух дисковых рабочих органов, расположенных на расстоянии b .

Системы уравнений (2.47) и (2.48) описывают взаимное расположение проекций режущих кромок двух произвольных дисковых рабочих органов, в частности в случае $R_1 \neq R_2, \alpha_1 \neq \alpha_2, \beta_1 \neq \beta_2, \omega_1 \neq \omega_2$.

Найдем из вторых выражений систем (2.47) и (2.48) углы поворота $\omega_1 t$ и $\omega_2 t$:

$$\omega_1 t = \arcsin\left(1 - \frac{z_1}{R_1 \cos \beta_1}\right), \quad (2.49)$$

$$\omega_2 t = \arcsin\left(1 - \frac{z_2}{R_2 \cos \beta_2}\right). \quad (2.50)$$

После подстановки выражений (2.49) и (2.50) в соответствующие им выражения системы (2.48) и (2.47) и преобразований, получим:

$$y_1 = R_1 \sin \alpha_1 + R_1 \cos \alpha_1 \sin \beta_1 - z_1 \operatorname{tg} \beta_1 \cos \alpha_1 \pm R_1 \sin \alpha_1 \cos\left(\arcsin\left(1 - \frac{z_1}{R_1 \cos \beta_1}\right)\right), \quad (2.51)$$

$$y_2 = R_2 \sin \alpha_2 + R_2 \cos \alpha_2 \sin \beta_2 - z_2 \operatorname{tg} \beta_2 \cos \alpha_1 \pm R_2 \sin \alpha_2 \cos\left(\arcsin\left(1 - \frac{z_2}{R_2 \cos \beta_2}\right)\right) + b. \quad (2.52)$$

Выражения (2.51) и (2.52) являются уравнениями эллипсов, которые будут представлять собой проекции соответствующих дисковых рабочих органов на плоскость YOZ . При этом в выражениях (2.51) и (2.52) перед последними членами стоят знаки « \pm » поскольку при выводе углы поворота соответствующего дискового рабочего органа $\omega_1 t$ и $\omega_2 t$ были замены на косинусы, поэтому знак « $-$ » будет соответствовать правой части эллипса, а знак « $+$ » его левой части.

В самом общем случае эллипсы определяемые выражениями (2.51) и (2.52) могут не пересекаться, касаться друг друга и пересекаться в двух точках. В случае

расположения дисковых рабочих органов как указано в первых двух случаях обработка почвы будет не соответствовать агротехническим требованиям, так как будут оставаться не обработанные участки. Для нахождения точек пересечения указанных эллипсов необходимо приравнять выражения (2.51) и (2.52) и решить относительно общей координаты z , т. е. общей точки пересечения, находящейся на расстоянии z от дна борозды. При этом при определении необходимо брать для координаты y_1 левую часть эллипса, а для y_2 его правую часть, т. е. последний член для y_1 берется со знаком «+», а для y_2 со знаком «-». После подстановки и преобразования будем иметь:

$$R_1 \sin \alpha_1 \sqrt{\frac{2zR_1 \cos \beta_1 - z^2}{R_1^2 \cos^2 \beta_1}} + R_2 \sin \alpha_2 \sqrt{\frac{2zR_2 \cos \beta_2 - z^2}{R_2^2 \cos^2 \beta_2}} + zC_2 + A_2 - B_2 = b, \quad (2.53)$$

где $A_2 = R_1(\sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 \sin \beta_1)$, $B_2 = R_2(\sin \alpha_2 + \cos \alpha_2 \sin \beta_2)$,

$$C_2 = \operatorname{tg} \beta_2 \cos \alpha_2 - \operatorname{tg} \beta_1 \cos \alpha_1,$$

Выражение (2.53) позволяет определить высоту расположения над дном борозды точек пересечения соседних дисков при их различных параметрах и расстоянии между ними. Другими словами, задаваясь исходными параметрами по выражению (2.53) можно аналитически определить высоту гребнистости дна борозды или же задаваясь агротехническим допуском на него рассчитать необходимое расстояние между соседними дисками при различных схемах их размещения для его соблюдения.

Дальнейшее упрощение выражения (2.53) ввиду громоздкости математических выкладок проводить не целесообразно, однако для наших исследований необходимо определить координаты точек пересечения соседних дисковых рабочих органов для частных случаев, когда радиусы и углы атаки дисков равны, а углы установки к вертикали численно равны, но в зависимости от схемы ориентации меняют свои знаки, т. е. $R_1 = R_2 = R$, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, $|\beta_1| = |\beta_2| = |\beta|$.

Для случая, когда соседние дисковые рабочие органы ориентированы на раме орудия одинаково (Рисунок 2.14), то в выражение (2.53) необходимо подставить $R_1 = R_2, \alpha_1 = \alpha_2, \beta_1 = \beta_2$. Тогда, после преобразований, получим:

$$z_{1,2}^o = \left(R \pm \sqrt{R^2 - \frac{b^2}{4\sin^2 \alpha}} \right) \cos \beta, \quad (2.54)$$

где $z_{1,2}^o$ – координаты точек пересечения соседних эллипсов вдоль оси OZ при их одинаковой ориентации.

Поскольку гребнистость дна борозды будет определяться только нижней точкой пересечения, т. е. $h_2 = z_1$, то в выражении (2.54) в скобках последний член необходимо брать со знаком минус. Выражение (2.54) аналогично полученному ранее выражению для определения гребнистости дна борозды при работе дисковым плугом и позволяет определить гребнистость дна борозды при работе дисковых рабочих органов с одинаковой ориентацией на раме орудия и находящиеся на расстоянии b друг от друга, а ее график представлен на рисунке 2.15 [1].

Для случая, когда соседние дисковые рабочие органы ориентированы на раме орудия «в развал» (Рисунок 2.14), то в выражение (2.53) необходимо подставить $R_1 = R_2, \alpha_1 = \alpha_2, |\beta_1| = \beta_2$. Тогда, после преобразований, получим:

$$z_{1,2}^p = \frac{A_3 + \cos \alpha \cos \beta \sin \beta (2R \cos \alpha \sin \beta + b) \pm B_3}{C_3}, \quad (2.55)$$

где $z_{1,2}^p$ – координаты точек пересечения соседних эллипсов вдоль оси OZ при их ориентации «в развал»; $A_3 = 2R \sin^2 \alpha \cos \beta$

$$B_3 = \sin \alpha \cos \beta \sqrt{4R^2 \cos^2 \alpha (\cos^2 \beta + 2\sin^2 \beta) + 4R^2 (1 - 2\cos^2 \alpha) - b^2}$$

$$C_3 = 2\cos^2 \alpha \sin^2 \beta + 2\sin^2 \alpha$$

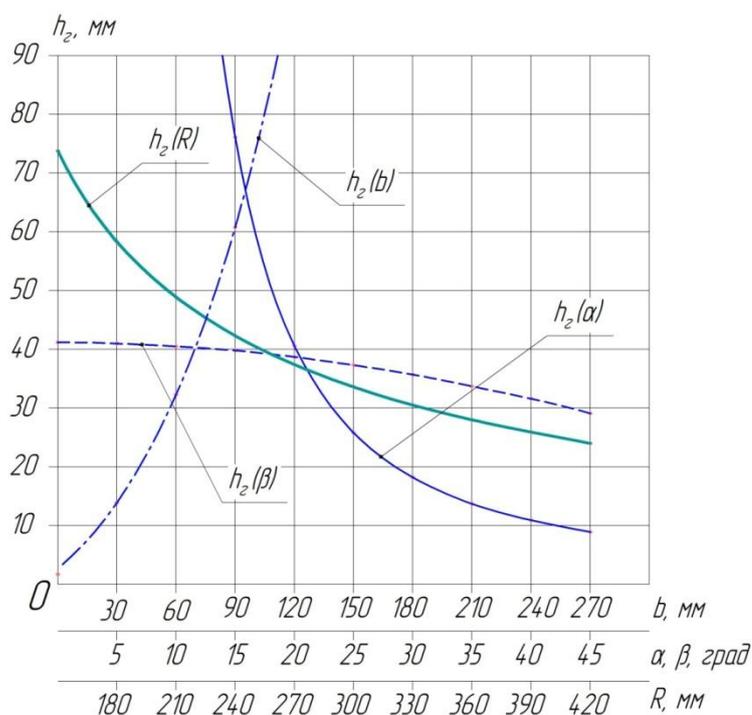


Рисунок 2.15 – Графики зависимости гребнистости дна борозды от параметров дисковых рабочих органов при их одинаковой ориентации и $R = 0,28$ м, $b = 0,1$ м, $\alpha = 20^\circ$, $|\beta| = 10^\circ$

Для случая, когда соседние дисковые рабочие органы ориентированы на раме орудия «в свал» (Рисунок 2.14), то в выражение (2.53) необходимо подставить $R_1 = R_2, \alpha_1 = \alpha_2, \beta_1 = |-\beta_2|$. Тогда, после преобразований, получим:

$$z_{1,2}^c = \frac{A_3 + \cos \alpha \cos \beta \sin \beta (2R \cos \alpha \sin \beta - b) \pm B_3}{C_3}, \quad (2.56)$$

где $z_{1,2}^c$ – координаты точек пересечения соседних эллипсов вдоль оси OZ при их ориентации «в свал».

В этих случаях гребнистость дна борозды также будет определяться только нижней точкой пересечения, поэтому в выражениях (2.55) и (2.56) последний член в числителях B_3 член необходимо также брать со знаком минус. Графики зависимости гребнистости дна борозды от параметров дисковых рабочих органов при их ориентации «в развал» и «в свал» представлены на рисунках 2.16 и 2.17.

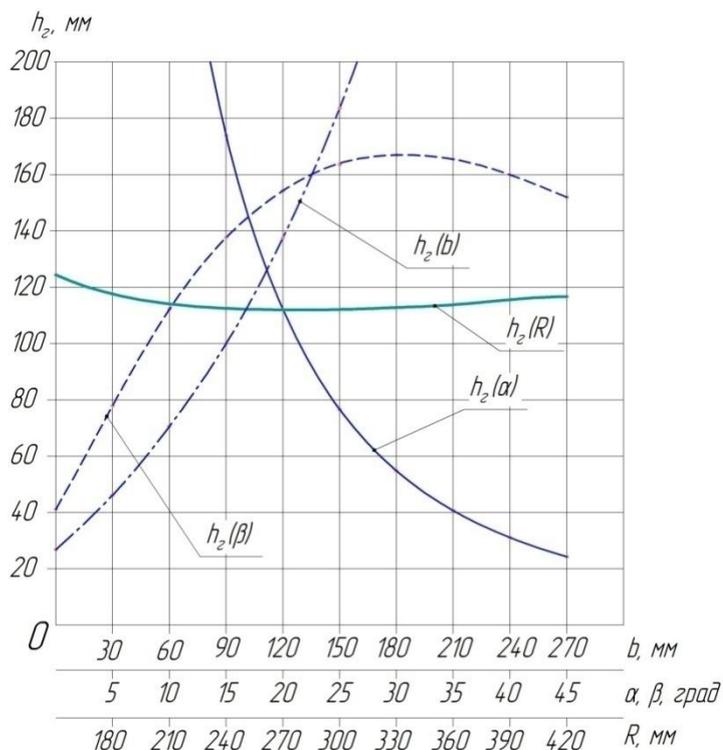


Рисунок 2.16 – Графики зависимости гребнистости дна борозды от параметров дисковых рабочих органов при их ориентации «в развал» и $R = 0,28$ м, $b = 0,1$ м, $\alpha = 20^\circ$, $|\beta| = 10^\circ$

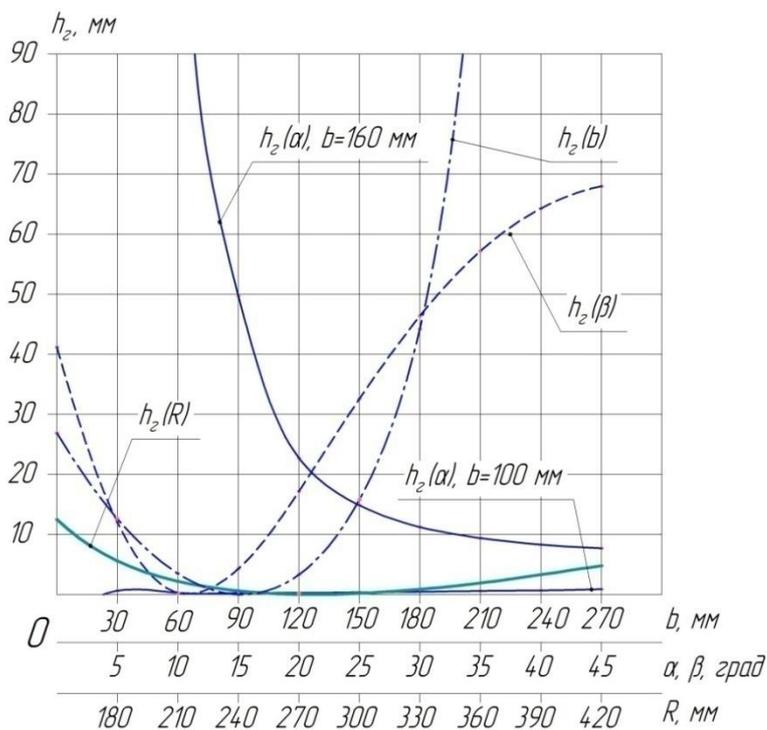


Рисунок 2.17 – Графики зависимости гребнистости дна борозды от параметров дисковых рабочих органов при их ориентации «в свал» и $R = 0,28$ м, $b = 0,1$ м, $\alpha = 20^\circ$, $|\beta| = 10^\circ$

Проведя анализ графиков на рисунках 2.15–2.17 можно сделать следующие выводы. Влияние конструктивных и режимных параметров на величину гребнистости дна борозды при любом расположении рабочих органов носит криволинейный характер. Наименьшее влияние на величину гребнистости дна борозды оказывает изменение угла наклона к вертикали, а наибольшее – расстояние между ними. При этом рост расстояния между дисковыми рабочими органами приводит к резкому росту величины гребнистости и только в случае расположения дисков «в свал» до величины $b = 90$ мм происходит ее снижение, а затем также к ее резкому росту. Следует отметить, что при различной ориентации дисков расстояние между ними, при котором гребнистость будет соответствовать агротехническим требованиям, различна. Так при ориентации дисков в одинаковом направлении при расстоянии между ними $b = 90$ мм, при ориентации «в развал» уже при $b = 60$ мм, а при ориентации «в развал» только при $b = 180$ мм величина гребнистости будет превышать 60 мм. Одинаковый характер влияния на гребнистость при любой ориентации дисковых рабочих органов оказывает изменение угла атаки, при увеличении которого величина ее резко снижается. Однако при ориентации дисков «в свал» при расстоянии между ними $b = 100$ мм гребнистость дна борозды минимальна, и рост угла атаки не приводит к его значительному изменению, и только при расстоянии $b = 160$ мм влияние угла атаки на нее уже заметна.

По разному принципу влияет на гребнистость дна борозды изменение радиуса диска и угла наклона к вертикали. При одинокой ориентации дисковых рабочих органов увеличение радиуса диска приводит к ее снижению. При ориентации дисков в «развал» и в «свал» изменение радиуса диска оказывает на нее наименьшее влияние, и при его росте сначала уменьшается, а в дальнейшем незначительно растет. Однако, при заданных исходных параметрах дисковых рабочих органов гребнистость дна борозды при ориентации «в развал» превышает агротехнический допуск, и рост радиуса не приводит его к требуемому значению. При ориентации же дисков «в свал» гребнистость находится в агротехническом допуске, и рост радиуса диска не приводит к его превышению.

В случае одинаковой ориентации дисковых рабочих органов увеличение угла наклона к вертикали ведет к снижению величины гребнистости дна борозды. С другой стороны при ориентации дисков «в развал» при увлечении угла наклона до $\beta = 30^\circ$ гребнистость растет, а затем начинает снижаться. При ориентации дисковых рабочих органов «в свал» до $\beta = 10^\circ$ гребнистость снижается, а затем уже растет.

Задавая допустимой величиной гребнистости дна борозды равной $h_2 = 40$ мм и $h_2 = 50$ мм, как наиболее часто используемые для обработки почвы дисковыми орудиями из рисунков 2.15–2.16 видно, что для ее соблюдения при радиусе дисков $R = 280$ мм, угле атаки $\alpha = 20^\circ$ и угле наклона дисков к вертикали $\beta = 10^\circ$ в случае одинаковой ориентации расстояние между соседними дисками должно быть $b_{40} < 70$ мм и $b_{50} < 80$ мм, для ориентации «в развал» – $b_{40} < 20$ мм и $b_{50} < 50$ мм, а для ориентации «в свал» – $b_{40} < 175$ мм и $b_{50} < 185$ мм соответственно.

Для определения площади поперечного сечения пласта приходящегося на один диск (Рисунок 2.18–2.20) при различной ориентации рабочих органов необходимо определить площадь фигуры $ANFCE$, которая будет определяться по выражению:

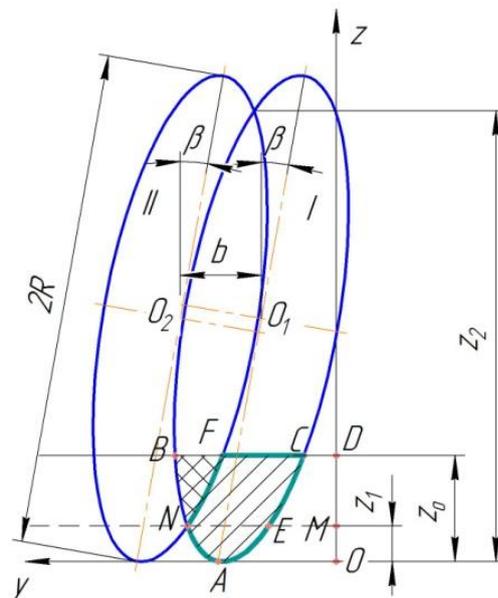


Рисунок 2.18 – Схема для определения площади поперечного сечения пласта, приходящиеся на один диск при одинаковой ориентации соседних рабочих органов

$$S_{ANFCE} = S_{ANBFCE} - S_{NBF}, \quad (2.57)$$

где S_{ANFCE} – действительная площадь поперечного сечения пласта, приходящиеся на один диск; S_{ANBFCE} – площадь поперечного сечения пласта, приходящиеся на один диск без учета перекрытия; S_{NBF} – площадь перекрытия между соседними дисками.

При этом площади S_{ANBFCE} и S_{NBF} будут определяться по выражениям:

$$S_{ANBFCE} = S_{ANBFCDMO} - S_{AECDMO}, \quad (2.58)$$

$$S_{NBF} = S_{NBFCDE} - S_{NFCDE}. \quad (2.59)$$

При этом

$$S_{ANBFCDMO} = \int_0^{z_0} R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta - z \operatorname{tg} \beta \cos \alpha + R \sin \alpha \cos(\arcsin(1 - \frac{z}{R \cos \beta})) dz, \quad (2.60)$$

$$S_{AECDMO} = \int_0^{z_0} R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta - z \operatorname{tg} \beta \cos \alpha - R \sin \alpha \cos(\arcsin(1 - \frac{z}{R \cos \beta})) dz, \quad (2.61)$$

где z_0 – глубина обработки почвы.

Поскольку при определении площадей $S_{ANBFCDMO}$ и S_{AECDMO} берутся разные части эллипса, определяемого выражением (2.51), то для его левой части в выражение (2.60) перед последним членом ставится знак «+», а в (2.61) для его правой части знак «-». После интегрирования выражений (2.60) и (2.61), получим:

$$S_{ANBFCDMO} = \frac{1}{2} R^2 \sin \alpha \cos \beta (\arcsin A_4 + A_4 \sqrt{1 - A_4^2}) + \frac{\pi R^2 \sin \alpha \cos \beta}{4}, \quad (2.62)$$

$$S_{AECDMO} = -\frac{1}{2} R^2 \sin \alpha \cos \beta (\arcsin A_4 + A_4 \sqrt{1 - A_4^2}) - \frac{\pi R^2 \sin \alpha \cos \beta}{4}, \quad (2.61)$$

$$\text{где } A_4 = \frac{z_0}{R \cos \beta} - 1$$

После подстановки полученных выражений (2.62) и (2.63) в (2.58) и преобразования получим:

$$S_{ANBFCE} = R^2 \sin \alpha \cos \beta \left(\frac{\pi}{2} + \arcsin A_4 + A_4 \sqrt{1 - A_4^2} \right). \quad (2.62)$$

Выражение (2.62) позволяет определить площадь поперечного сечения пласта, приходящиеся на один диск без учета перекрытия его соседними рабочими органами при любой его ориентации в пространстве.

При определении площади перекрытия необходимо учитывать взаимную ориентацию соседних дисков. В случае одинаковой ориентации соседних дисковых рабочих органов (Рисунок 2.18) будем иметь:

$$S_{NBFCDE} = \int_{z_1^o}^{z_0} R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta - z \operatorname{tg} \beta \cos \alpha + R \sin \alpha \cos(\arcsin(1 - \frac{z}{R \cos \beta})) dz, \quad (2.63)$$

$$S_{NFCDE} = \int_{z_1^o}^{z_0} R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta - z \operatorname{tg} \beta \cos \alpha - R \sin \alpha \cos(\arcsin(1 - \frac{z}{R \cos \beta})) + b dz, \quad (2.64)$$

где z_1^o – высота гребнистости дна борозды, определяемая по выражению (2.54).

После интегрирования выражений (2.63) и (2.64), подстановки в выражение (2.59) и преобразования будет:

$$S_{NBF}^o = b(z_1^o - z_0) + R^2 \sin \alpha \cos \beta (\arcsin A_4 + A_4 \sqrt{1 - A_4^2} - \arcsin A_5 + A_5 \sqrt{1 - A_5^2}), \quad (2.65)$$

$$\text{где } A_5 = \frac{z_1^o}{R \cos \beta} - 1$$

Подставив выражения (2.62) и (2.65) в выражение (2.57) и проведя преобразования, будет:

$$S_{ANFCE}^o = b(z_0 - z_1^o) + R^2 \sin \alpha \cos \beta \left(\frac{\pi}{2} + \arcsin A_5 + A_5 \sqrt{1 - A_5^2} \right). \quad (2.66)$$

Выражение (2.66) позволяет определить площадь поперечного сечения пласта, приходящиеся на один диск с учетом перекрытия в случае одинаковой ориентации соседних рабочих органов.

В случае ориентации соседних дисковых рабочих органов (Рисунок 2.19) «в развал» или «в свал» (Рисунок 2.20) площадь пласта поперечного сечения пласта, приходящиеся на один диск без учета перекрытия, определяется по выражению (2.62).

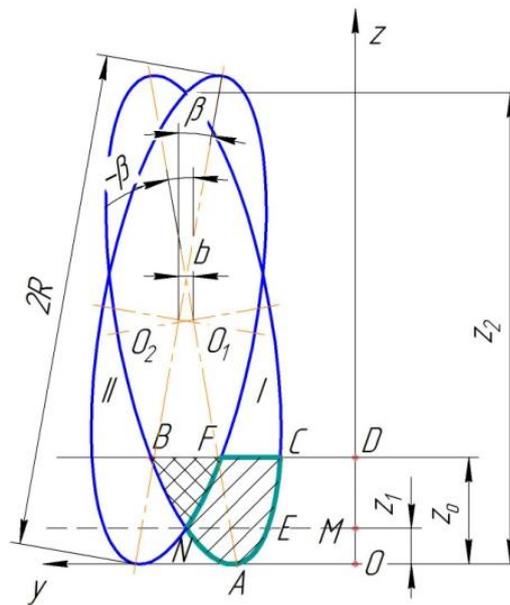


Рисунок 2.19 – Схема для определения площади поперечного сечения пласта, приходящиеся на один диск при ориентации соседних рабочих органов «в развал»

При ориентации соседних дисковых рабочих органов (Рисунок 2.19) «в развал» перекрытия между соседними дисковыми рабочими органами будет

определяться учетом противоположного угла наклона эллипса I. Тогда будем иметь:

$$S_{NBFCDE}^p = \int_{z_1^p}^{z_0} R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin(-\beta) - z \operatorname{tg}(-\beta) \cos \alpha + R \sin \alpha \cos(\arcsin(1 - \frac{z}{R \cos(-\beta)})) dz, \quad (2.67)$$

$$S_{NFCDE}^p = \int_{z_1^o}^{z_0} R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta - z \operatorname{tg} \beta \cos \alpha - R \sin \alpha \cos(\arcsin(1 - \frac{z}{R \cos \beta})) + b dz, \quad (2.68)$$

где z_1^p – высота гребнистости дна борозды, определяемая по выражению (2.55).

После интегрирования выражений (2.67) и (2.68), подстановки в выражение (2.59) и преобразования будет:

$$S_{NBF}^p = (b + 2R \cos \alpha \sin \beta)(z_1^p - z) + \cos \alpha \operatorname{tg} \beta (z_1^{p2} - z^2) + \\ + R^2 \sin \alpha \cos \beta (\arcsin A_4 + A_4 \sqrt{1 - A_4^2} - \arcsin A_6 - A_6 \sqrt{1 - A_6^2}), \quad (2.69)$$

$$\text{где } A_6 = \frac{z_1^p}{R \cos \beta} - 1$$

Подставив выражения (2.62) и (2.69) в выражение (2.57) и проведя преобразования, будем иметь:

$$S_{ANFCE}^p = (b + 2R \cos \alpha \sin \beta)(z_0 - z_1^p) + \cos \alpha \operatorname{tg} \beta (z_1^{p2} - z^2) + \\ + R^2 \sin \alpha \cos \beta (\frac{\pi}{2} + \arcsin A_6 + A_6 \sqrt{1 - A_6^2}), \quad (2.70)$$

При ориентации соседних дисковых рабочих органов (Рисунок 2.20) «в свал» на перекрытия между соседними дисками будет оказывать влияние противоположное значение угла наклона эллипса II. Тогда будем иметь:

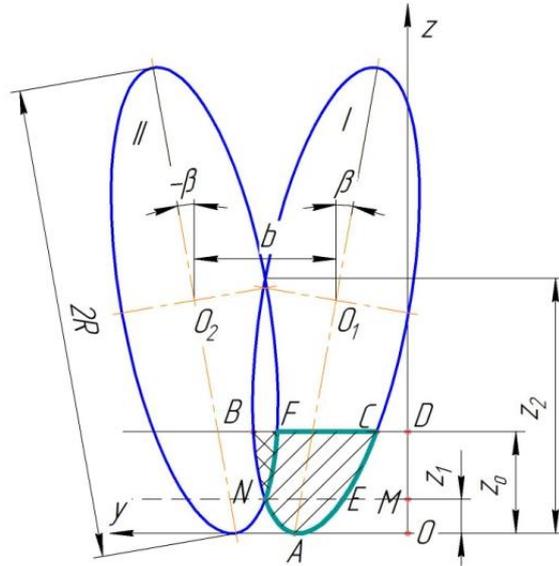


Рисунок 2.20 – Схема для определения площади поперечного сечения пласта, приходящиеся на один диск при ориентации соседних рабочих органов «в свал»

$$S_{NBFC DME} = \int_{z_1^c}^{z_0} R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta - z \operatorname{tg} \beta \cos \alpha + R \sin \alpha \cos \left(\arcsin \left(1 - \frac{z}{R \cos \beta} \right) \right) dz, \quad (2.71)$$

$$S_{NFC DME} = \int_{z_1^c}^{z_0} R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin(-\beta) - z \operatorname{tg}(-\beta) \cos \alpha - R \sin \alpha \cos \left(\arcsin \left(1 - \frac{z}{R \cos(-\beta)} \right) \right) + b dz, \quad (2.72)$$

где z_1^c – высота гребнистости дна борозды, определяемая по выражению (2.56).

Проинтегрировав выражения (2.71) и (2.72) и подставив полученный результат в выражение (2.59), после преобразования будем иметь:

$$S_{NBFC DME}^c = (b - 2R \cos \alpha \sin \beta)(z_1^c - z) + \cos \alpha \operatorname{tg} \beta (z_1^{c2} - z^2) + R^2 \sin \alpha \cos \beta (\arcsin A_4 + A_4 \sqrt{1 - A_4^2} - \arcsin A_7 - A_7 \sqrt{1 - A_7^2}), \quad (2.73)$$

$$\text{где } A_7 = \frac{z_1^c}{R \cos \beta} - 1$$

Подставив выражения (2.62) и (2.73) в выражение (2.57) и проведя преобразования, будем иметь:

$$S_{ANFCE}^c = (b - 2R \cos \alpha \sin \beta)(z_0 - z_1^c) + \cos \alpha \operatorname{tg} \beta (z^2 - z_1^{c2}) + R^2 \sin \alpha \cos \beta \left(\frac{\pi}{2} + \arcsin A_7 + A_7 \sqrt{1 - A_7^2} \right), \quad (2.74)$$

Выражения (2.70) и (2.74) позволяет определить площадь поперечного сечения пласта, приходящиеся на один диск с учетом перекрытия в случае ориентации соседних рабочих органов «в развал» и «в свал» соответственно.

Графики изменения величины площади поперечного сечения пласта при условии соблюдения величины гребнистости дна борозды для 4-х рядной схемы ориентации соседних дисков по схеме одинаковое – в «развал» – одинаковое – в «свал» представлены на рисунке 2.21.

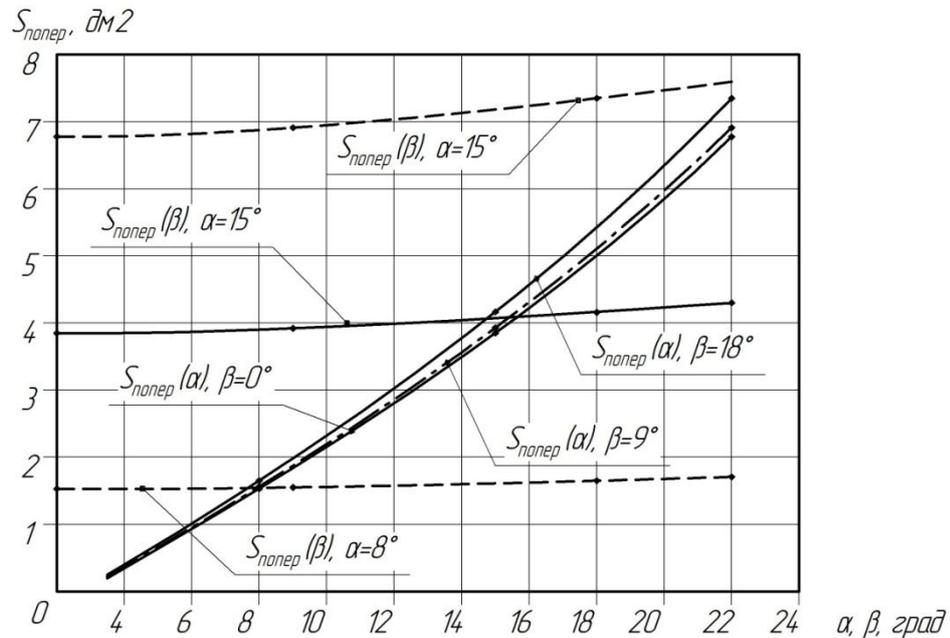


Рисунок 2.21 – Графики изменения величины площади поперечного сечения пласта $S_{попер}$, от угла атаки α и угла установки к вертикали β при условии соблюдения величины гребнистости дна борозды для 4-х рядной схемы ориентации соседних дисков по схеме одинаковое – «в развал» – одинаковое – «в свал»

Из рисунка 2.21 видно, что на величину площади поперечного сечения обрабатываемого пласта $S_{попер}$ при условии соблюдения величины гребнистости дна

борозды для 4-х рядной схемы ориентации соседних дисков по схеме одинаковое – в «развал» – одинаковое – в «свал» большие влияние оказывает изменения угла атаки, а меньшие угол наклона к вертикали.

Для исследования влияния конструктивных и режимных параметров дисковых рабочих органов на тяговое сопротивление необходимо задаться удельной энергоемкостью обработки почвы k_3 , тогда с учетом выражений (2.46), (2.66), (2.70) и (2.74) тяговое сопротивление в зависимости от ориентации рабочие органов будет определяться по выражениям:

$$R_{\partial.б.}^o = k_3 S_{ANFCE}^o, \quad (2.75)$$

$$R_{\partial.б.}^p = k_3 S_{ANFCE}^p, \quad (2.76)$$

$$R_{\partial.б.}^c = k_3 S_{ANFCE}^c. \quad (2.77)$$

где $R_{\partial.б.}^o$, $R_{\partial.б.}^p$, $R_{\partial.б.}^c$ – тяговое сопротивление диска соответственно при одинаковой ориентации, в «развал» и в «свал», Н; k_3 – удельная энергоемкость обработки почвы, Н/м².

Используя различные комбинации выражений (2.75–2.77), а также величину перекрытия при различной ориентации рабочих органов, определяемых по выражениям (2.65), (2.69) и (2.73) можно определить тяговое сопротивление дисковой бороны с любым расположением рабочих органов. Графики зависимости тягового сопротивления дискового рабочего органа при различных схемах ориентации представлены на рисунках 2.22–2.24.

Проведя анализ графиков на рисунках 2.21–2.23 можно сделать следующие выводы. Увеличение угла атаки рабочих органов для любой ориентации дисков будет приводить к росту тягового сопротивления, при этом наиболее интенсивно рост будет наблюдаться при ориентации дисков в «свал», а наименее интенсивный при одинаковой, что можно объяснить синхронностью изменения угла атаки и площади поперечного сечения обрабатываемого пласта. Увеличение же угла на-

клона диска к вертикали будет вести к росту тягового сопротивления при их одинаковой ориентации и по схеме в «развал».

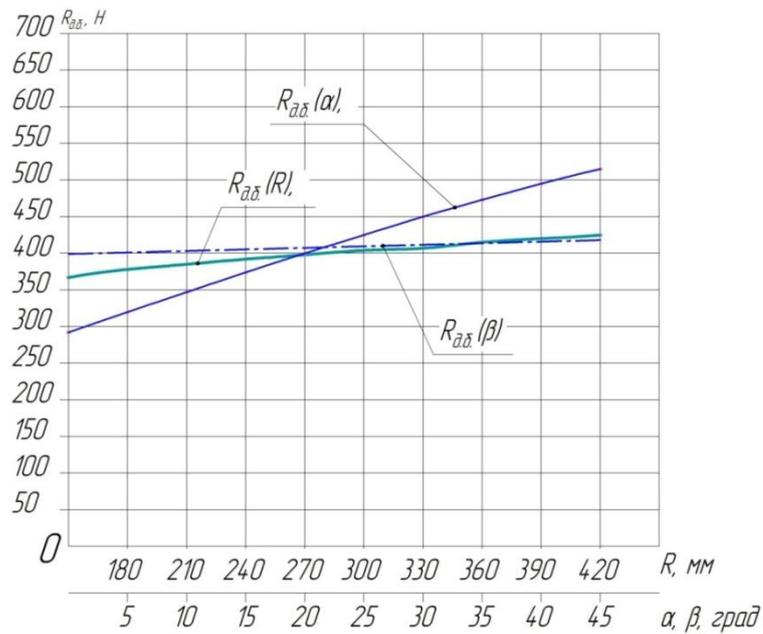


Рисунок 2.22 – Графики зависимости тягового сопротивления дискового рабочего органа от величины радиуса диска R , угла атаки α и угла наклона к вертикали β при одинаковой ориентации дисков и $k_s = 0,04 \text{ Н/мм}^2$

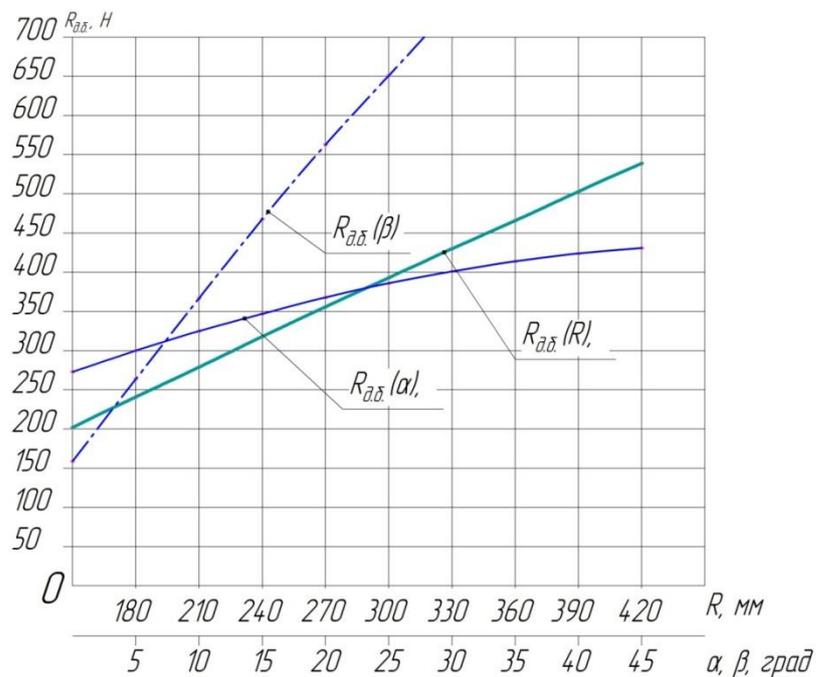


Рисунок 2.23 – Графики зависимости тягового сопротивления дискового рабочего органа от величины радиуса диска R , угла атаки α и угла наклона к вертикали β при ориентации дисков «в развал» и $k_s = 0,04 \text{ Н/мм}^2$

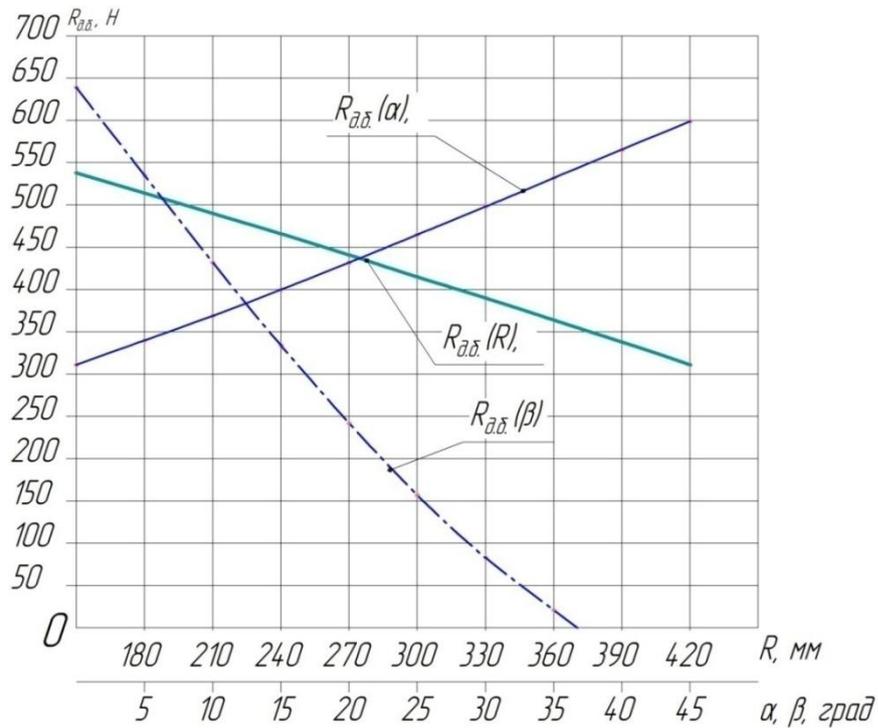


Рисунок 2.24 – Графики зависимости тягового сопротивления дискового рабочего органа от величины радиуса диска R , угла атаки α и угла наклона к вертикали β при ориентации дисков «в свал» и $k_3 = 0,04 \text{ Н/мм}^2$

При установке дисков «в свал» при увеличении угла наклона будет наблюдаться ее снижение. Такое же поведение тягового сопротивления будет при увеличении радиуса диска. Другими словами, в процессе износа диска тяговое сопротивление буде увеличиваться, ввиду уменьшения зоны перекрытия между соседними рабочими органами, а при ориентации в одном направлении и в «развал» будет снижаться, что можно объяснить уменьшением поперечной площади обрабатываемого пласта.

Для 4-х рядной дисковой бороны при схеме ориентации соседних дисков одинаковое – в «развал» – одинаковое – в «свал» увеличение угла атаки от $\alpha = 10^\circ$ до $\alpha = 25^\circ$ приведет к увеличению общего тягового сопротивления в среднем на 230 Н, а увеличение угла наклона диска к вертикали от $\beta = 0^\circ$ до $\beta = 20^\circ$ приводит к его снижению на 30 Н.

2.4 Выводы по главе

1. В ходе проведения теоретических исследований были получены выражения, позволяющие обосновать взаимосвязь величины максимального ρ_{max} и минимального ρ_{min} радиусов кривизны, радиуса диска R , угла ψ_4 между горизонталью и отрезком, соединяющим минимальный и максимальный радиусы кривизны, а также величины смещения k произвольной точки по лучу при его повороте. При величине радиуса диска $R \in [210; 300]$ мм, величина угла между горизонталью и отрезком, соединяющим минимальный и максимальный радиусы кривизны, лежит в интервале $\psi_4 \in [6; 15]$ град, величина смещения произвольной точки по лучу в интервале $k \in [180; 100]$ мм/об, при $\Delta\rho \in [60; 100]$ мм.

2. В процессе теоретического исследования кинематики дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны получены выражения, характеризующие взаимосвязь пространственных координат, величины и направления в пространстве скорости и ускорения произвольной точки на рабочей поверхности дискового рабочего органа от его конструктивных и режимных параметров. При этом для диска $R = 280$ мм рациональные конструктивные параметры и режимы работы находятся в интервалах: угол атаки $\alpha > 15^\circ$, скорость движения орудия $V_n < 14$ км/ч, при угле наклона диска к вертикали $\beta > 10^\circ$, интенсивность изменения кривизны рабочей поверхности должна быть $\Delta\varphi > 800$ мм/об.

3. В общем виде получена функциональная зависимость, позволяющая определить координаты точек пересечения соседних дисковых рабочих органов при различных сочетаниях их конструктивных и режимных параметров, которая показывает, что при допустимой величине гребнистости дна борозды равной $h_2 = 40$ мм и $h_2 = 50$ мм, радиусе дисков $R = 280$ мм, угле атаки $\alpha = 20^\circ$ и угле наклона дисков к вертикали $\beta = 10^\circ$ в случае одинаковой ориентации расстояние между соседними дисками должно быть $b_{40} < 70$ мм и $b_{50} < 80$ мм, для ориентации «в развал» – $b_{40} < 20$ мм и $b_{50} < 50$ мм, а для ориентации «в свал» – $b_{40} < 175$ мм и $b_{50} < 185$ мм соответственно.

4. Получены теоретические зависимости, определяющие величину площади поперечного сечения пласта почвы, приходящиеся на отдельно взятый рабочий орган и ее взаимосвязь с тяговым сопротивлением при различных схемах ориентации соседних дисков, их конструктивных и режимных параметров. Для 4-х рядной дисковой бороны при схеме ориентации одинаковое – в «развал» – одинаковое – в «свал» увеличение угла атаки от $\alpha = 10^\circ$ до $\alpha = 25^\circ$ приводит к повышению общего тягового сопротивления в среднем на 230 Н, а увеличение угла наклона диска к вертикали от $\beta = 0^\circ$ до $\beta = 20^\circ$ приводит к его снижению в среднем на 30 Н.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Цель и программа исследований. Выбор параметра оптимизации, независимых факторов и плана эксперимента

Основной целью экспериментальных исследований является проверка полученных в результате проведения теоретических исследований положений и выводов, а также получение сравнительных агротехнических характеристик и энергетических показателей работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны.

В соответствии с поставленной целью программа экспериментальных исследований состоит из трех основных этапов: предварительного этапа, этапа проведения полевого эксперимента и этапа обработки полученных результатов и формирования выводов.

Предварительный этап включает в себя выбор параметра оптимизации, факторов и интервалов их варьирования, плана эксперимента, выбор, разработка и изготовление необходимого оборудования, в том числе экспериментальных образцов дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны, методик проведения экспериментальных исследований, места проведения эксперимента и оборудования для определения и фиксации исследуемых параметров.

Этап проведения полевого эксперимента состоит из определения условий проведения и непосредственного проведения эксперимента, в ходе проведения которого проводится определение агротехнических показателей работы, величины площади поперечного сечения обрабатываемой почвы, приходящуюся на рабочие органы, а также определение удельной энергоемкости дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны.

Последний этап включал статистическую обработку полученных результатов, их анализ и формирование выводов и предложений на их основе. По полу-

ченным результатам провести обоснование конструктивных параметров и режимов работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны.

После завершения экспериментальных исследований необходимо провести экономическую оценку полученных результатов.

Поскольку параметром оптимизации называют количественно определенную характеристику цели, то на основании полученных в ходе проведения теоретических исследований результатов и данных априорной информации, а также в соответствии с поставленной целью исследований в качестве параметров оптимизации можно выделить удельную энергоемкость и агротехнические параметры процесса обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны. Параметр оптимизации удельная энергоемкость можно охарактеризовать ограниченной с одной стороны непрерывной областью определения, а агротехнические показатели дискретной областью. Этот факт накладывает ряд трудностей при поиске оптимального значения факторов и интерпретации полученных результатов. Например, наименьшая удельная энергоемкость может не соответствовать агротехническим требованиям, или же разница в агротехнических показателях будет незначительная, а удельная энергоемкость отличаться на порядок или соответствовать разным сочетаниям факторов. Поэтому, используя рекомендуемые требования к параметру оптимизации, а именно количественное определение, однозначность и статистическую эффективность, в качестве параметра оптимизации принимаем удельную энергоемкость процесса обработки почвы, а агротехнические параметры будем использовать в качестве ограничивающего параметра, который будет принимать только два возможных значения, а именно соответствует агротехническим требованиям или нет [1, 2].

Следующим этапом необходимо осуществить выбор факторов. На удельную энергоемкость процесса обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны оказывает воздействие множество факторов, которые подразделить на следующие виды:

- 1) конструктивные:

- радиус диска R ;
- наличие вырезов на режущей кромке;
- интенсивность изменения кривизны рабочей поверхности $\Delta\varphi$;
- технологическая схема расположения рабочих органов;
- материал диска;
- способ заточки;
- угол заточки режущей кромки i ;
- наличие вырезов на рабочей поверхности диска;
- место установки подшипникового узла;

2) технологические:

- угол атаки α ;
- угол установки диска к вертикали β ;
- поступательная скорость движения V ;
- глубина обработки почвы h ;

3) условия работы:

- агрофон;
- твердость почвы;
- влажность почвы;
- липкость;
- гранулометрический состав;
- коэффициент трения;
- уклон поля;
- скорость и направление ветра и др.

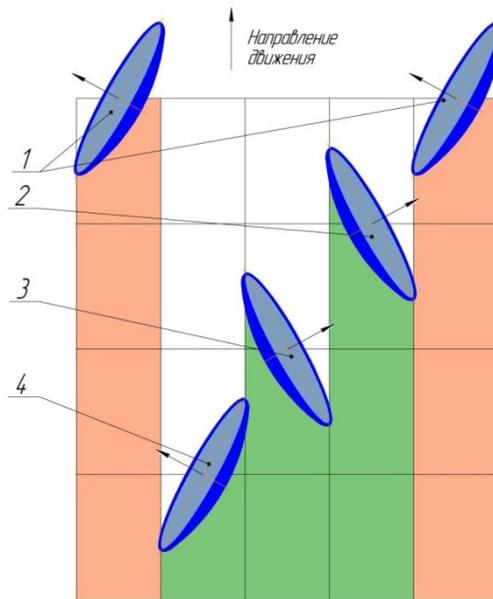
Все вышеперечисленные факторы оказывают влияние на удельную энергоемкость обработки почвы дисковыми рабочими органами, однако степень их воздействия различна. Для отсеивания факторов по степени их воздействия на критерий оптимизации на первоначальном этапе проверяли соответствие их основным требованиям, предъявляемым к факторам при проведении активного эксперимента. К таким требованиям относится их операционное определение, независимость

или отсутствие линейной корреляции между ними, управляемость и совместимость. Критерию управляемости не соответствуют факторы, отнесенные к группе условия проведения, а критерию независимости угол атаки α и глубина обработки почвы h , поскольку глубина обработки регулируется путем изменения угла атаки, а внесение изменений в конструкцию стандартной дисковой борона не предусмотрено программой экспериментальных исследований. Поскольку факторы, относящиеся к группе условий проведения, являются не управляемыми, но их воздействие нельзя полностью исключить, то для снижения степени их воздействия (снижения дрейфа случайного значения) на критерий оптимизации, эксперименты решено проводить рандомизированно во времени и пространстве, выбирая последовательность выполнения с помощью таблиц случайных чисел [80]. Кроме того, каждый опыт дублировался в 3-х кратной повторности, а фиксацию случайных значений проводили как среднюю величину, полученную при прямом и обратном движении агрегата. Для исключения влияния агрофона на полученные результаты все опыты будем проводить на одном поле в одинаковый промежуток времени в течение дня [1, 2, 10, 22, 32, 33].

На следующем этапе отсеивания факторов, после анализа априорной информации, результатов научных исследований известных ученых в исследуемой области и с учетом поставленной цели, можно исключить как влияющие факторы наличие вырезов на режущей кромке и рабочей поверхности диска, место установки подшипникового узла, а также угол заточки режущей кромки и технологическая схема расположения рабочих органов [80]. В качестве технологической схемы расстановки рабочих органов принимаем схему рекомендуемую профессором Сохт К. А., представленную на рисунке 3.1 [80].

Дальнейших процесс отсеивания факторов проводим с использованием метода экспертных оценок [2]. Для этого 12 специалистов в исследуемой области присваивали ранги оставшимся факторам в порядке снижения степени их воздействия на критерий оптимизации, т. е. ранг 1 соответствовал наибольшему воздействию, а наименьший ранг наименьшей степени влияния. Так же была предостав-

лена возможность добавления в указанный список не учтенных ранее факторов. Полученные результаты представлены в таблице 3.1.



1-4 – рабочие органы

Рисунок 3.1 – Технологическая схема расстановки рабочих органов для проведения экспериментальных исследований:

Таблица 3.1 – Матрица ранжирования факторов для удельной энергоемкости процесса обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны

Порядковый номер специалиста	Факторы						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	5	3	7	6	1	4	2
2	5	4	6	7	1	2	3
3	6	4	3	5	2	7	1
4	7	3	5	6	1	4	2
5	7	4	6	5	2	3	1
6	5	4	6	7	1	2	3
7	7	3	4	5	2	6	1
8	6	4	5	7	1	3	2
9	5	4	3	7	2	6	1
10	7	3	5	6	2	4	1
11	5	3	4	5	1	7	2
12	7	3	5	6	1	4	2
Сумма рангов	65	49	65	74	17	44	21
Отклонение суммы рангов от среднего	17,14	1,14	17,14	26,14	-30,86	-3,86	-26,86
Квадраты отклонений	293,78	1,3	293,78	683,3	952,34	14,9	721,46

где x_1 – радиус диска R ; x_2 – интенсивность изменения кривизны рабочей поверхности $\Delta\varphi$; x_3 – материал диска; x_4 – способ заточки; x_5 – угол атаки α ; x_6 – угол установки диска к вертикали β ; x_7 – поступательная скорость движения V ;

Оценку согласованности мнений экспертов проверяли с помощью коэффициента конкордации, который определяется по выражению [2]:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (3.1)$$

где W – коэффициент конкордации; S – сумма квадратов отклонений рангов от среднего; m – число экспертов; n – число факторов.

Согласно полученным данным коэффициент конкордации равен 0,7343, что для уровня значимости 0,95 является значимым и позволяет сделать вывод о не случайной согласованности мнений экспертов. На основании полученных данных можно построить априорную диаграмму рангов для удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны, которая представлена на рисунке 3.2.

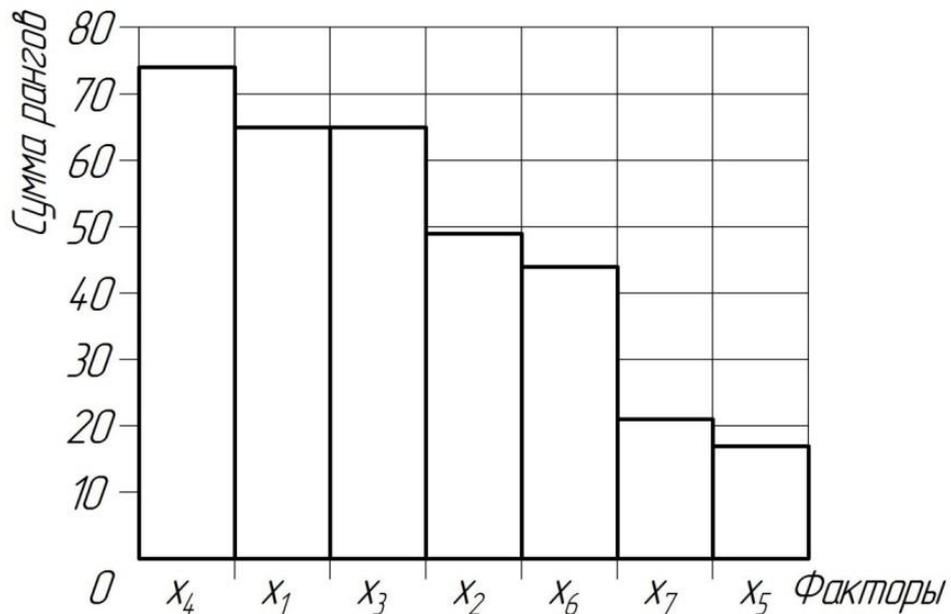


Рисунок 3.2 – Априорная диаграмма рангов для удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны

Проведя анализ рисунка 3.2 можно сделать вывод, что она имеет экспоненциально убывающий характер, а из указанных факторов как наиболее значимые можно выделить x_5 – угол атаки α , x_7 – поступательная скорость движения V , x_6 – угол установки диска к вертикали β и x_2 – интенсивность изменения кривизны рабочей поверхности $\Delta\varphi$.

Для обоснования конструктивных и режимных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны согласно рекомендациям будем использовать полином второй степени, и варьировать выбранные факторы на трех уровнях [33]. Нулевой уровень выбранных факторов и интервал их варьирования выбираем на основании априорной информации, технических ограничений конструкции и полученных ранее результатов теоретических исследований. Перечень независимых факторов, интервалы их варьирования, а также новые шифры для удобства дальнейшей работы с ними представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Независимые факторы и интервалы их варьирования

П.п.	Факторы			
	Угол атаки (α , x_1 , град)	Поступательная скорость движения (V , x_2 , км/ч)	Угол установки диска к вертикали (β , x_3 , град)	Интенсивность изменения кривизны рабочей поверхности ($\Delta\varphi$, x_4 , мм/об)
Нулевой уровень (x_{i0})	15	10,5	9	1000
Интервал варьирования (Δx_i)	8	2,5	9	400

Кодирование факторов производим по выражению:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= \frac{x_n - x_{i0}}{\Delta x_i} \\ x_i &= x_{i0} + \Delta x_i \cdot x_n \end{aligned} \right\}, \quad (3.2)$$

где $\Delta x_i = \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{2}$ – интервал варьирования для i -го фактора; x_i – кодированное обозначение действительного значения фактора; x_{i0} – действительное значение i -го фактора на нулевом уровне.

3.2 Выбор, разработка и изготовление оборудования для проведения экспериментальных исследований

При выборе, разработке и изготовлении необходимого экспериментального оборудования необходимо добиться как можно большего его соответствия исходным параметрам и требованиям независимых факторов.

Поскольку из выбранных независимых факторов три относятся непосредственно к параметрам рабочего органа, то в первую очередь необходимо разработать именно его конструкцию. Для этого с использованием полученных во второй главе теоретических зависимостей конструктивных параметров дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны в программе КОМПАС-3D были спроектированы три диска с изменяющимся радиусом кривизны согласно принятым уровням фактора. Из полученных дисков путем создания радиальных сечений были получены три шаблона рабочей поверхности, которым должны соответствовать опытные образцы (Рисунок 3.3).

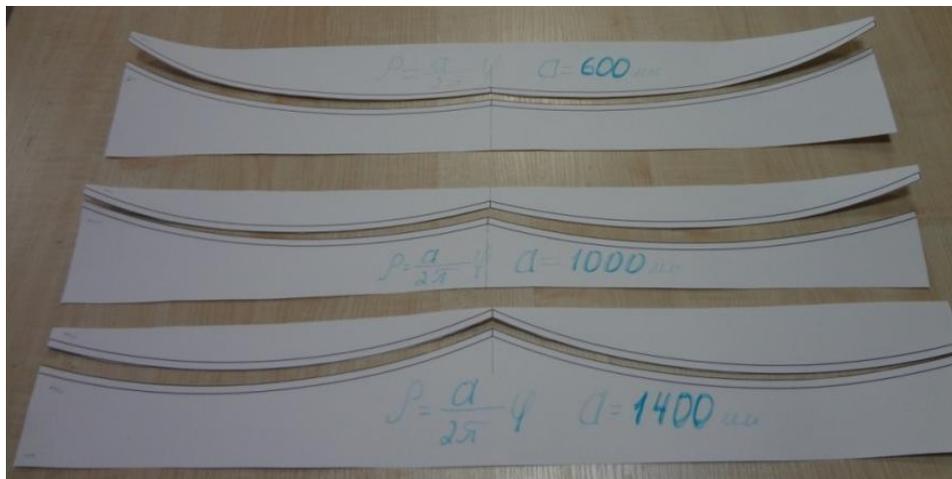


Рисунок 3.3 – Шаблоны для проверки интенсивности изменения кривизны рабочей поверхности дискового рабочего органа

Изготовление опытных дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны проводили путем придания необходимой формы рабочей поверхности стандартным дискам в специально изготовленной пресс-форме (Рисунок 3.4)



Рисунок 3.4 – Внешний вид пресс-формы для изготовления дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны

Согласно рекомендациям, при испытаниях почвообрабатывающих машин минимально необходима ширина захвата равная 1 м, поэтому согласно принятой схеме их расстановки (Рисунок 3.1) было изготовлено 13 штук каждого варианта изменения кривизны.

Для установления требуемого уровня угла атаки и угла установки диска к вертикали была спроектирована стойка рабочего органа с индивидуальным креплением к раме, а также изменением требуемых углов. В качестве подшипникового узла был использован стандартный узел с бороны БДМ-4×4П с необслуживаемыми подшипниками качения, на котором заменены стандартные щеки крепления к стойке (Рисунок 3.6).

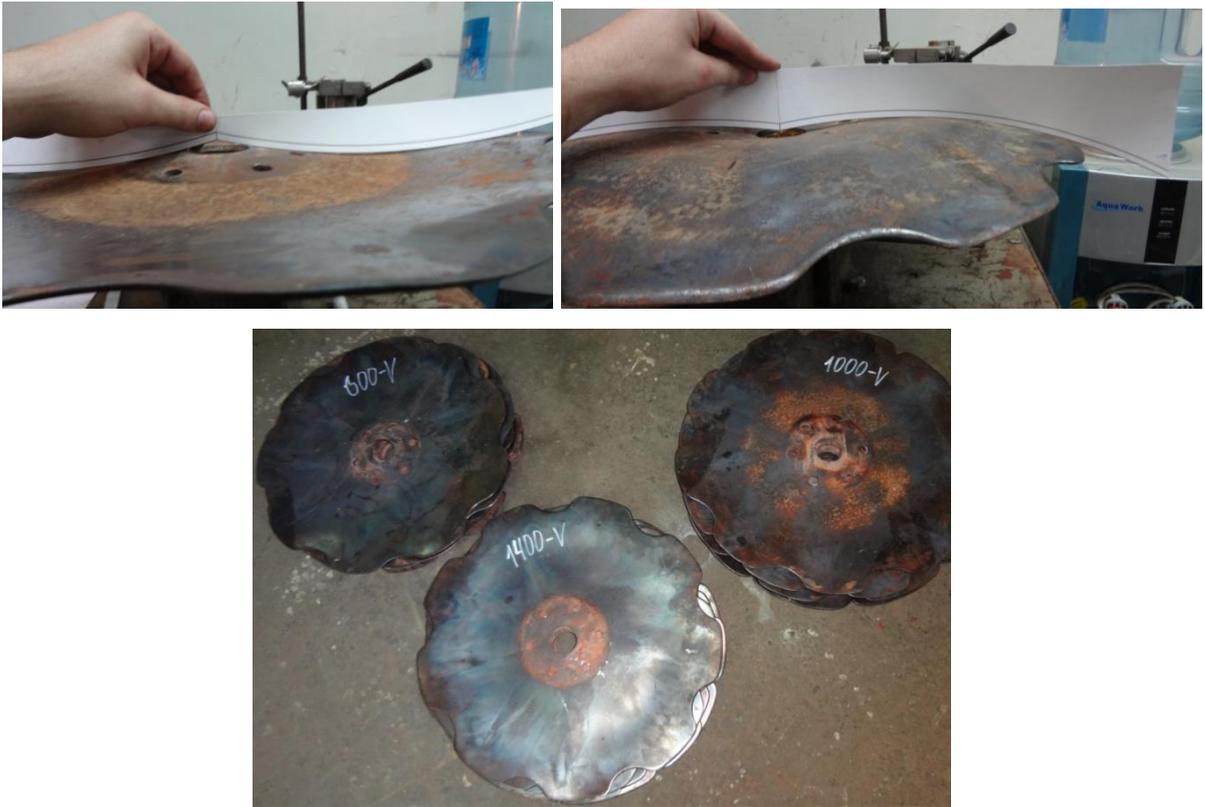


Рисунок 3.5 – Внешний вид опытных образцов дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны



Рисунок 3.6 – Внешний вид стойки и подшипникового узла дискового рабочего органа для эксперимента

Установка разработанного подшипникового узла на раму орудия проводилась при помощи болтового соединения (Рисунок 3.7). Изготовленная конструкция дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны позволяет не только независимо друг от друга устанавливать и поддерживать требуемый уровень фактора, но и перемещать их по раме для изменения расстояния между ними.



Рисунок 3.7 – Внешний вид опытного рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны

Установка изготовленных рабочих органов для проведения полевого эксперимента проводилась на стандартную раму прицепной дисковой бороны БДМ-4×4П после демонтажа стандартных режущих узлов (Рисунок 3.8). Агрегатировалась борона с трактором Т-150К.



Рисунок 3.8 – Внешний вид процесса монтажа опытных режущих узлов

3.3 Методика и приборы для проведения полевого эксперимента

Полевой эксперимент по определению удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны, а также агротехнических показателей проводился в соответствии с ГОСТ Р. 54783-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения», ГОСТ 33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний», ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний», ГОСТ 24055-2016 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки», ГОСТ 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» и СТО АИСТ 4.6-2018 «Испытания сельскохозяйственные. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения и надежности. Общие положения» [83–88].

Полевой эксперимент проводился на территории УОХ «Кубань» ФГБОУ ВО Кубанского ГАУ при дисковании стерни озимой пшеницы на учетной площади с тяжелосуглинистым не каменистым типом почвы выщелочного чернозема, рельеф поля равнинный, уклон не более 2°, средняя температура воздуха при проведении +28° С, средняя скорость ветра 2,3 м/с, направление преимущественно восточное. В качестве предшествующей обработки была проведена технологическая операция прямого комбайнирования озимых колосовых культур. Учетную площадь разбивали на учетные делянки в количестве равном числу опытов согласно матрице проведения эксперимента. Также дополнительно выделялись три учетные делянки для проведения дискования стерни стандартной дисковой бороной БДМ-4×4П с рекомендуемыми заводом изготовителем режимными параметрами для получения агротехнических и энергетических показателей работы с целью их дальнейшего сравнения с полученными результатами эксперимента. Длина учетной делянки, исходя из максимальной скорости движения агрегата и минимального времени необходимого для измерения энергетических показателей, которая согласно требованиям ГОСТ составляет не менее 20 с, принята 80 м. Фиксация измеряемых параметров проводилась при прямом и обратном движе-

нии агрегата, а для дальнейших исследований использовали среднюю от полученных значений.

Перед проведением полевого эксперимента проводилось определение условий испытаний, по результатам которых определяли микрорельеф почвы, влажность, твердость, засоренность сорными растениями и пожнивными остатками. Определение условий проведения эксперимента проводилось в соответствии с действующим ГОСТ по стандартной методике [22]. При определении условий испытаний использовались следующие приборы и оборудование. Для определения микрорельефа поля использовалась координатная рейка, для определения влажности нож, которым брались образцы из стенки почвенного разреза, алюминиевые бюксы с крышками, сушильный шкаф и весы. Твердость почвы определялась твердомером в тех же местах, где брались пробы на влажность на глубине до 5, от 5 до 10 и свыше 10 см. Для определения агрегатного состава и степени крошения почвы после ее обработки использовался набор сит с отверстиями диаметром 10, 7, 5, 3, 2, и 1 мм. Для определения степени засоренности почвы сорными растениями и пожнивными использовались весы и рамка 1×1 м.

Согласно плану проведения экспериментальных исследований в качестве критерия оптимизации выбран показатель удельной энергоемкости обработки почвы, а ограничивающим параметром решено использовать агротехнические показатели работы. В процессе непосредственного проведения экспериментальных исследований фиксировались и определялись агротехнические, технологические и энергетические параметры работы. К агротехническим параметрам работы относятся глубина обработки, крошение почвы, подрезание сорной растительности и заделка пожнивных остатков. Методика проведения агротехнической оценки работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны была общепринятой [12–16, 82]. К технологическим параметрам работы относились углы атаки и установки рабочих органов, а также фактическая скорость движения. Определение фактической скорости движения осуществлялось в j -ых опытах с одинаковыми уровнями независимых факторов как среднеарифметическое частного длины учетной делянки на время движения агрегата по ней. Фактическое рас-

стояние и время движения определялись измерительной рулеткой и секундомером. Движение трактора осуществлялось во втором диапазоне на второй и четвертой скорости, а также в третьем диапазоне на второй скорости, номинальные скорости на которых наиболее близко соответствовали значениям факторов.

Поскольку при различных сочетаниях уровней исследуемых факторов критерий оптимизации может иметь различное значение, то для согласования агротехнических показателей работы, в частности высоты гребня дна борозды, при проведении экспериментальных исследований решено использовать различное расстояние между рабочими органами. Перед началом j -го опыта, по зависимостям, полученным в процессе теоретических исследований, определялось расстояние между соседними рабочими органами при высоте гребнистости дна борозды равном 40 мм согласно ранее принятой схеме расстановки на раме бороны, и уровням факторов в этом опыте. После чего проводилась их расстановка, и затем сам эксперимент. Принятые ограничения позволят расположить рабочие органы на максимальном расстоянии друг от друга при гарантированной высоте гребнистости дна борозды, а также отсутствии огрехов при работе, что позволит избежать непроизводительного расхода энергии и искажения результатов энергетической оценки процесса при условии соблюдения агротехнических требований.

Определение удельной энергоёмкости E процесса обработки почвы дисковыми рабочими органами с измеряющимся радиусом кривизны проводилось косвенным путем. Для этого при проведении каждого j -ого опыта измерялось фактическое тяговое сопротивление агрегата и площадь поперечного сечения обрабатываемого пласта, после чего находилось их частное. Поскольку длина учетной делянки принята 80 м для всех опытов, то для удобства при определении удельной энергоёмкости фиксировали полученное отношение в $H/дм^2$, а перевод в $Дж/м^3$ выполним уже при интерпретации результатов. Искомая величина удельной энергоёмкости определялась как среднеарифметическое значение полученных в j -ом опыте величин при прямом и обратном ходе агрегата. Определение величины тягового сопротивления производилось при помощи тензозвена, которое устанавливалось между прицепной серьгой бороны и проушиной прицепного уст-

ройства трактора. Устанавливаемое тензозвено при помощи кабелей присоединялось к согласующему устройству МС-5, которое соединялось с измерительной информационной системой ИП-264 (Рисунок 3.9). Питание измерительной информационной системы ИП-264 осуществлялось через кабель от бортовой сети трактора. Для фиксации усредненных данных измерений с первичных преобразователей использовался персональный компьютер, который соединялся с ИП-264 через кабель последовательного интерфейса, и разработанный КубНИИТиМ программный продукт «Исследователь».



Рисунок 3.9 – Внешний вид измерительной информационной системы ИП-264

Кроме принятого ограничения по расстоянию расположения рабочих органов, накладывается также дополнительная необходимость сравнения теоретической площади поперечного сечения обрабатываемого пласта с опытной. Определение площади поперечного сечения обрабатываемого пласта проводилась путем раскрытия дна борозды по всей ширине захвата после его рабочего прохода, после чего проводились измерения фактической ширины и глубины обработанного почвенного горизонта при помощи координатной рейки и вспомогательных измерительных инструментов. При измерении площади поперечного сечения обработанного пласта полученная в сечении фигура делилась на отдельные фигуры, что позволит получить более точную измеряемую величину. По полученным в результате j -ых опытах данным определялась среднеарифметическая величина, которая в дальнейшем использовалась для анализа.

Обработку полученных в результате проведения экспериментальных исследований данных проводили методами математической статистики и планирования эксперимента [1, 2, 10, 33].

3.4 Выводы по главе:

1. В результате разработки программы проведения экспериментальных исследований путем поэтапного отсеивания выбраны факторы и уровни их варьирования, оказывающие наибольшее влияние на удельную энергоемкость обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны, к числу которых относятся угол атаки α , поступательная скорость движения V , угол установки диска к вертикали и интенсивность изменения кривизны рабочей поверхности $\Delta\varphi$;

2. Разработаны и изготовлены диски с изменяющимся радиусом кривизны для проведения экспериментальных исследований, которые позволяют изменять и поддерживать длительное время на заданном уровне угол α атаки от 8° до 22° , угол β установки диска к вертикали от 0 до 18° и интенсивность $\Delta\varphi$ изменения кривизны рабочей поверхности от 400 до 1400 мм/об.

3. Разработана частная методика для косвенного определения удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны при условии соблюдения максимальной величины гребнистости дна борозды через среднеарифметическое значение частного от измеренного фактического тягового сопротивления агрегата и площади поперечного сечения обрабатываемого пласта.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ДИСКОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ РАДИУСОМ КРИВИЗНЫ

4.1 Исследования агротехнических показателей работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны

Согласно программе экспериментальных исследований перед проведением полевого опыта необходимо определить условия испытаний. К определяемым параметрам относился микрорельеф, влажность и твердость почвы на различных глубинах, а также засоренность сорными растениями и пожнивными остатками. Результаты проведенных исследований представлены в таблицах 4.1–4.3 и Б1 Приложения Б. Согласно ранее принятой схеме размещения рабочих органов при различных уровня независимых факторов максимальная ширина захвата бороны во время испытаний составляла 1,6 м.

Проанализировав результаты измерения микрорельефа учетной делянки можно сделать вывод, что поперечный профиль характеризуется большей выравненностью с колебанием не более ± 1 см. Продольный профиль обладает большими колебаниями и характеризуется величиной в пределах от +2 см до -1 см. Исследования микрорельефа учетной делянки позволяют сделать вывод, что его изменчивость при проведении экспериментальных исследований не будет приводить к появлению грубых ошибок [22].

Таблица 4.1 – Результаты определения твердости и влажности почвы в исследуемом почвенном горизонте

П.п.	Слой почвы, см.	Твердость почвы, МПа.	Влажность почвы %
1	До 5 включительно	1,42	7,8
2	От 5 до 10 включительно	3,97	13,6
3	Свыше 10	5,31	15,3

Таблица 4.2 – Результаты определения засоренности почвы сорняками

Повторность	Засоренность шт./м ²
1	3
2	2
3	2
4	3
5	4
Сумма	14
Среднее значение	2,8

Таблица 4.3 – Результаты определения засоренности исследуемой почвы пожнивными остатками

Повторность	Наименование пожнивных остатков	Масса пожнивных остатков по размерам, г.		
		до 15 см	свыше 15 см	всего
1	Стерня озимой пшеницы	501	255	756
2		511	283	794
3		492	296	788
4		583	264	847
5		499	243	742
Сумма		2586	1341	3927
Среднее значение		517,2	268,2	785,4

Проведя анализ данных таблиц 4.1–4.3 можно сделать вывод, что условия проведения экспериментальных исследований дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны соответствуют условия эксплуатации машин аналогичного назначения [25].

Согласно разработанной программе экспериментальных исследований дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны агротехнические показатели работы были приняты в качестве ограничивающего качественного критерия, который может иметь только два значения, а именно соответствует требованиям или нет. Из всех агротехнических показателей не оценивалась на соответствие только глубина обработки, поскольку по отношению к уровням факторов этот показатель имеют корреляционную связь. В случае если в j -ом опыте после обработки почвы ее агротехнические показатели не будут соответствовать требованиям, то сочетание исследуемых фактов отмечается как не соответствующие, а полученные результаты будут выбракованы, и не использоваться для дальнейших

исследований. В процессе исследования агротехнических показателей работы фиксировались и анализировались следующие параметры при каждой *j*-ом опыте: глубина обработки, крошение почвы, полнота подрезания сорной растительности и качества заделки пожнивных остатков. Результаты исследований представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты исследования агротехнические показатели обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны

№ опыта	Показатель						Подрезание сорной растительности, %
	Глубина обработки, мм			Крошение почвы, %			
	Среднее арифметическое, мм.	Стандартное отклонение, ± мм.	Коэффициент вариации, %	св. 0 до 25 мм. вкл.	св. 25 до 50 мм. вкл.	более 100 мм.	
1	113,3	3,9	3,4	75,1	15,3	0	100
2	122,8	4,1	3,3	73,4	15,4	0	100
3	71	2,9	4,1	61,3	19,4	0	100
4	80,5	3,1	3,9	59	21,1	0	100
5	103,8	4,2	4	72,4	15,2	0	100
6	109,3	5,1	4,7	70	17,1	0	100
7	94,8	5,1	5,4	68,3	18,3	0	100
8	100,3	4,3	4,3	66,3	17,2	0	100
9	106,5	4,7	4,4	70,5	15,6	0	100
10	119,3	6,6	5,5	73,5	16,3	0	100
11	113,3	4,3	3,8	72,3	16,5	0	100
12	71,8	4,2	5,8	62,1	21,3	0	100
13	79,5	4,7	5,9	62,1	18,3	0	100
14	97,3	5,9	6,1	69	18,1	0	100
15	81,3	4,3	5,3	66,2	21,5	0	100
16	105,3	5,5	5,2	62,4	21,2	0	100
17	94,3	5	5,3	61,1	23,1	0	100
18	108,8	5,4	5	70	16,2	0	100
19	123,3	4,3	3,5	74,2	15,1	0	100
20	107,5	6	5,6	72,7	16,2	0	100
21	79,3	4,1	5,2	65	17,1	0	100
22	72,5	6,4	8,8	51,6	29,3	0	100
23	103,3	5,1	4,9	71,2	16,1	0	100
24	108,3	7	6,5	70,4	17,5	0	100
25	113	5,6	5	65,1	19,2	0	100
26	109	3,7	3,4	61,4	22,3	0	100
27	110,3	4,6	4,2	73,4	13,4	0	100
БДМ-4×4П	105,7	4,6	4,4	60,2	13,3	0	100
	101,4	5,2	5,1	64,3	15,3	0	100
	97,3	6,7	6,9	64,4	16,7	0	100

В таблице в последних строках представлены результаты агротехнической оценки работы дисковой бороны БДМ-4×4П на учетной делянке при скоростях движения 8, 10,5 и 13 км/ч.



Рисунок 4.1 – Фиксация агротехнических показателей и агрофон после работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны

Проведя анализ данных агротехнической оценки работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны представленных в таблице 4.4 можно сделать следующие выводы. Повышение углов атаки и установки диска к вертикали приводит к росту глубины обработки и степени крошения почвы. Увеличение скорости приводит к снижению глубины обработки, но при этом увеличивает степень крошения почвы. Повышение интенсивности изменения кривизны рабочей поверхности дисков приводит к росту степени крошения почвы, но при этом снижается глубина обработки при больших углах наклона диска к вертикали и малых углах атаки, что можно объяснить возникновением затылочного давления со стороны диска на почву. Сравнение изменения степени крошения почвы на различных скоростях движения при работе стандартных дисков бороны и дисков с изменяющимся радиусом кривизны представлены на рисунке 4.2

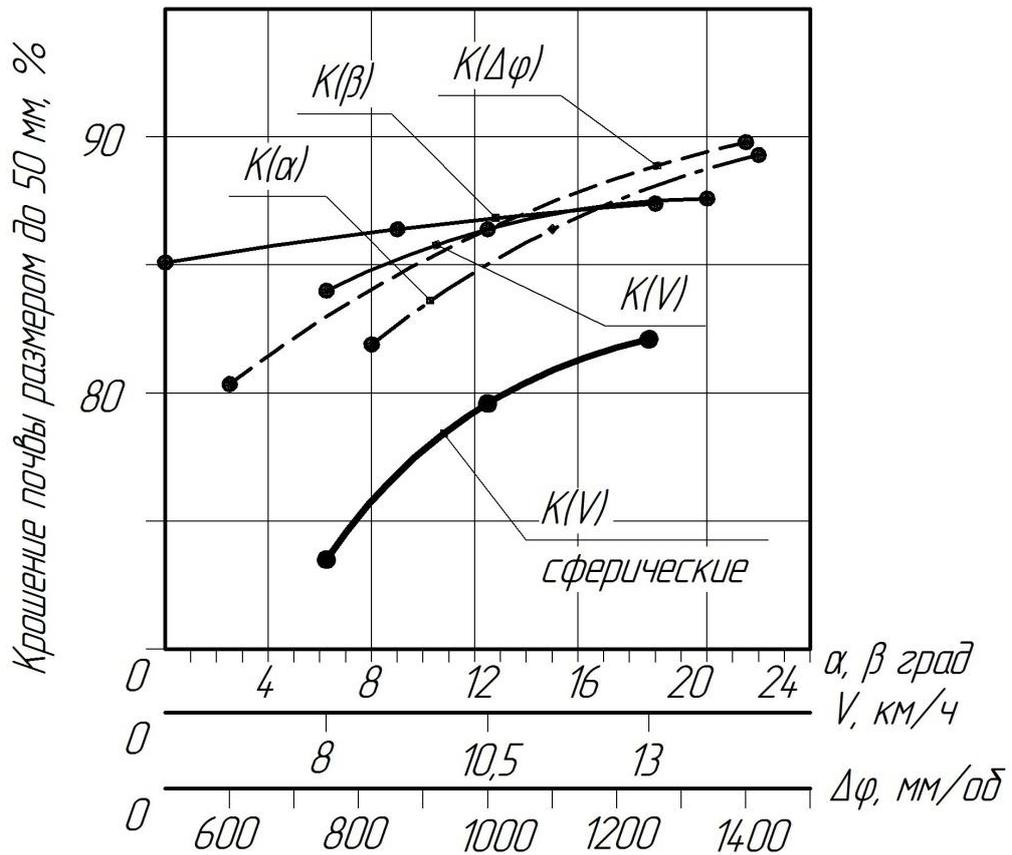


Рисунок 4.2 – График изменения степени крошения почвы стандартными дисками бороны БДМ-4×4 и дисками с изменяющимся радиусом кривизны при изменении поступательной скорости движения

Проанализировав рисунок 4.2 и данные таблицы 4.4 можно сделать вывод, что зависимость степени крошения почвы от исследуемых параметров носит криволинейный характер, при этом их рост приводит к повышению степени крошения. Минимальная степень крошения дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны отмечена равной $K_{min}^u = 80,1 \%$, максимальная – $K_{max}^u = 90,4 \%$, а при работе стандартных сферических дисков $K_{min}^c = 73,5 \%$ и $K_{max}^c = 82,1 \%$. При этом средние значения степени крошения составляют $K_{cp}^u = 85,7 \%$ и $K_{cp}^c = 78,4 \%$, а стандартные отклонения $\sigma^u = 3,1 \%$ и $\sigma^c = 4,4 \%$ и коэффициенты вариации $V^u = 0,036 \%$ и $V^c = 0,056 \%$ соответственно, что позволяет сделать вывод о большей равномерности степени крошения почвы при работе дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны. Из исследуемых параметров на степень крошения почвы наибольшие влияние оказывает угол ата-

ки $\alpha(x_1)$, а наименьшие угол установки диска к вертикали $\beta(x_3)$. Поскольку в матрице проведения эксперимента отсутствуют опыты для нулевых значения факторов и варьирования только одно из факторов, то представленные графические зависимости получены при парном взаимодействии одного из факторов и интенсивности изменения кривизны рабочей поверхности, а при построении зависимости $K(\Delta\varphi)$ одновременно с ростом интенсивности кривизны $\Delta\varphi$ использовался рост поступательной скорости движения V . Кроме того из рисунка 4.2 можно видеть, что дисковые рабочие органы с изменяющимся радиусом кривизны при работе на скорости 8 км/ч производят крошение почвы до 12 % интенсивней по сравнению со стандартными сферическими дисками бороны БДМ-4×4, что свидетельствует о более интенсивном сжатии почвы. При росте поступательной скорости движения разница в степени крошения почвы снижается и при скорости 13 км/ч составляет около 5%, что говорит не столько об интенсивности ее сжатия, сколько о большей кинетической энергии передаваемой ей от рабочих органов при тех же прочностных характеристиках. Доверительный интервал для исследуемых выборок составляет $t_{\alpha\sigma\delta} = 3,9331$ при разнице между средними 7,28 %. Проведя анализ полученных данных о степени крошения почвы при работе дисковых рабочих органов с различными параметрами, не смотря на принятые допущения, можно однозначно утверждать о повышении степени крошения почвы при использовании дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны по сравнению со стандартными сферическими.

Также проводились исследования степени заделки пожнивных остатков, минимальная величина которой составила 60%, а максимальная 68%. Полученные сравнительные агротехнические показатели работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны позволяют сделать вывод об их соответствии нормативным требованиям и возможности их дальнейшего исследования.

4.2 Исследование удельной энергоёмкости при работе дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны

Экспериментальное исследование удельной энергоёмкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны проводили по плану Бокса-Бенкина, результаты которого представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты экспериментальных исследований удельной энергоёмкости (Н/дм²) обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны

№ опыта	Результаты эксперимента				Проверка однородности дисперсий по критерию Кохрена	Определение дисперсии воспроизводимости	Проверка адекватности модели	
	y_1	y_2	y_3	y_{cp}			$U_{расч}$	$(U_{cp.э.} \cdot U_{расч})^2$
1	642	661	685	662,67	309,5555583		668,7383444	36,8248043
2	718	745	737	733,33	128,222225		714,1217444	368,9570815
3	781	772	818	790,33	396,222225		818,8449444	813,1020567
4	622	637	653	637,33	160,222225		640,5683444	10,48687474
5	641	651	677	656,33	230,222225		664,4550444	66,01634722
6	683	695	709	695,67	112,8888917		697,9066444	5,002578371
7	758	769	797	774,67	269,5555583		781,7400444	49,98552845
8	612	632	623	622,33	66,88889167		623,5116444	1,396283593
9	698	705	718	707	103	206	708,8889	3,56794321
10	684	689	699	690,67	38,88889167		698,7529944	65,33479919
11	697	671	677	681,67	123,5555583		682,6945944	1,049793776
12	801	784	771	785,33	150,8888917		783,3595944	3,882498053
13	702	678	671	683,67	176,222225		674,6411944	81,51932976
14	730	749	722	733,67	128,222225		729,3628944	18,55115827
15	703	733	737	724,33	230,222225		722,3028944	4,109156933
16	624	628	648	633,33	110,222225		634,4112944	1,169197676
17	689	674	680	681	38		684,3612944	11,29830034
18	704	715	711	710	31	62	708,8889	1,23454321
19	673	682	689	681,33	42,88889167		683,9587944	6,910560231
20	562	587	616	588,33	486,8888917		589,7337944	1,970638842
21	618	605	626	616,33	74,88889167		606,5653944	95,34752166
22	732	778	754	754,67	352,8888917		743,6803944	120,7714303
23	822	862	869	851	428,6666667		830,4020944	424,2737133
24	724	728	758	736,67	230,222225		729,0186944	58,5424767
25	705	740	732	725,67	224,222225		724,9604944	0,503398133
26	685	676	707	689,33	169,5555583		701,5670944	149,7464804
27	702	715	712	709,67	46,33333333	92,6667	708,8889	0,61011721
Сумма					4860,555617	360,6667	Сумма	2402,164612

Проверка полученных в результате проведения эксперимента данных по критерию Стьюдента позволяет сделать вывод об отсутствии грубых ошибок при его проведении и годности для их дальнейшего исследования. Однородность дисперсий полученных выборок подтверждается расчетным значением критерия Кохрена $G_s = 0,1001$, которое меньше табличного $G_T = 0,2167$. Величина дисперсии воспроизводимости эксперимента $\sigma_y^2 = 180,33$. Последовательность расчета и проверки значимости коэффициентов уравнений регрессии представлена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Определение коэффициентов уравнения регрессии

Обозначения коэффициентов уравнения регрессии	Показатель					
	Расчетное значение коэффициентов уравнения регрессии	Дисперсия коэффициентов уравнения регрессии	Среднеквадратичное отклонение	Критерий Стьюдента $t_{табл}$	Доверительный интервал	Принятые значения коэффициентов уравнения регрессии
b_0	708,889	60,1111	7,75314	2,056	15,9404	708,889
b_1	-19,138	15,0277792	3,876567962		7,97022373	-19,138
b_2	33,2233					33,2233
b_3	-10,723					-10,723
b_4	31,1942					31,1942
b_{12}	-55,915	45,0833375	6,71441267		13,8048324 5	-55,915
b_{13}	57,835					57,835
b_{14}	-23,165					-23,165
b_{23}	14,2525					14,2525
b_{24}	19,4975					19,4975
b_{34}	-47,92					-47,92
b_{11}	-17,473	33,8125031	5,814851944		11,9553356	-17,473
b_{22}	19,1522					19,1522
b_{33}	-35,432					-35,432
b_{44}	18,446			18,446		

После определения и подстановки коэффициентов уравнения регрессии в полином второй степени получим уравнение регрессии в нормализованном виде:

$$\begin{aligned}
 y = & 708,889 - 19,138x_1 + 33,2233x_2 - 10,723x_3 + 31,1942x_4 - 55,915x_1x_2 + \\
 & + 57,835x_1x_3 - 23,165x_1x_4 + 14,2525x_2x_3 + 19,4975x_2x_4 - 47,92x_3x_4 - \\
 & - 17,473x_1^2 + 19,1522x_2^2 - 35,432x_3^2 + 18,446x_4^2, \quad (4.1)
 \end{aligned}$$



Рисунок 4.3 – Процесс экспериментального исследования удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны

Последовательность расчета критерия Фишера для полученного уравнения представлена в таблице 4.5. Расчетное значение критерия Фишера $F_p = 1,132$, при табличном $F_T = 2,2$, что позволяет сделать вывод об адекватности и пригодности для дальнейшего исследования полученного уравнения регрессии удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны. Для полученного уравнения регрессии точка экстремума в факторном пространстве в нормализованном виде имеет следующие координаты:

$$\begin{cases} x_1 = 0,3914; \\ x_2 = -0,295; \\ x_3 = 0,2177; \\ x_4 = -0,161. \end{cases} \quad (4.2)$$

Проведя обратное преобразование из кодированных значений факторов в натуральные, уравнение регрессии и координаты оптимума будут иметь вид:

$$y = 598,61 + 35,176x_1 - 34,326x_2 + 1,283x_3 - 0,129x_4 - 2,796x_1x_2 + 0,803x_1x_3 - 0,007x_1x_4 + 0,63x_2x_3 + 0,0195x_2x_4 - 0,0133x_3x_4 - 0,273x_1^2 + 3,064x_2^2 - 0,437x_3^2 + 0,0001x_4^2, \quad (4.3)$$

$$\begin{cases} x_1 = 18,1 \text{ град}; \\ x_2 = 9,76 \text{ км / ч}; \\ x_3 = 11 \text{ град}; \\ x_4 = 935,6 \text{ мм / об}; \end{cases} \quad (4.4)$$

Из уравнения (4.1) регрессии видно, что наибольшее влияние на удельную энергоёмкость обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны оказывает величина свободно члена b_0 , который включает в себя все не учтенные факторы, в том числе и физико-механические свойства почвы. Из исследуемых факторов на критерий оптимизации наибольшее воздействие оказывает взаимодействие факторов угла атаки и угла установки диска к вертикали, из линейного воздействия факторов наибольшее смещение дает скорость движения. Для приведения уравнение регрессии к типовой канонической форме необходимо переместить центр в точку экстремума и произвести поворот осей в факторном пространстве на угол $\alpha = 7,317$ град. Тогда уравнение регрессии в каноническом виде будет:

$$Y - 696.564 = -17,473x_1^2 + 20,067x_2^2 - 36,347x_3^2 - 28x_4^2. \quad (4.5)$$

Для удобства и наглядности анализа степени влияния независимых факторов на критерий оптимизации последовательно фиксировали два фактора в точке центра опыта, а для двух других определяли новую точку экстремума, и приводили к канонической форме, а затем их варьировали. Для полученных зависимостей построены поверхности откликов и их двухмерные сечения, которые представлены на рисунках 4.4–4.9.

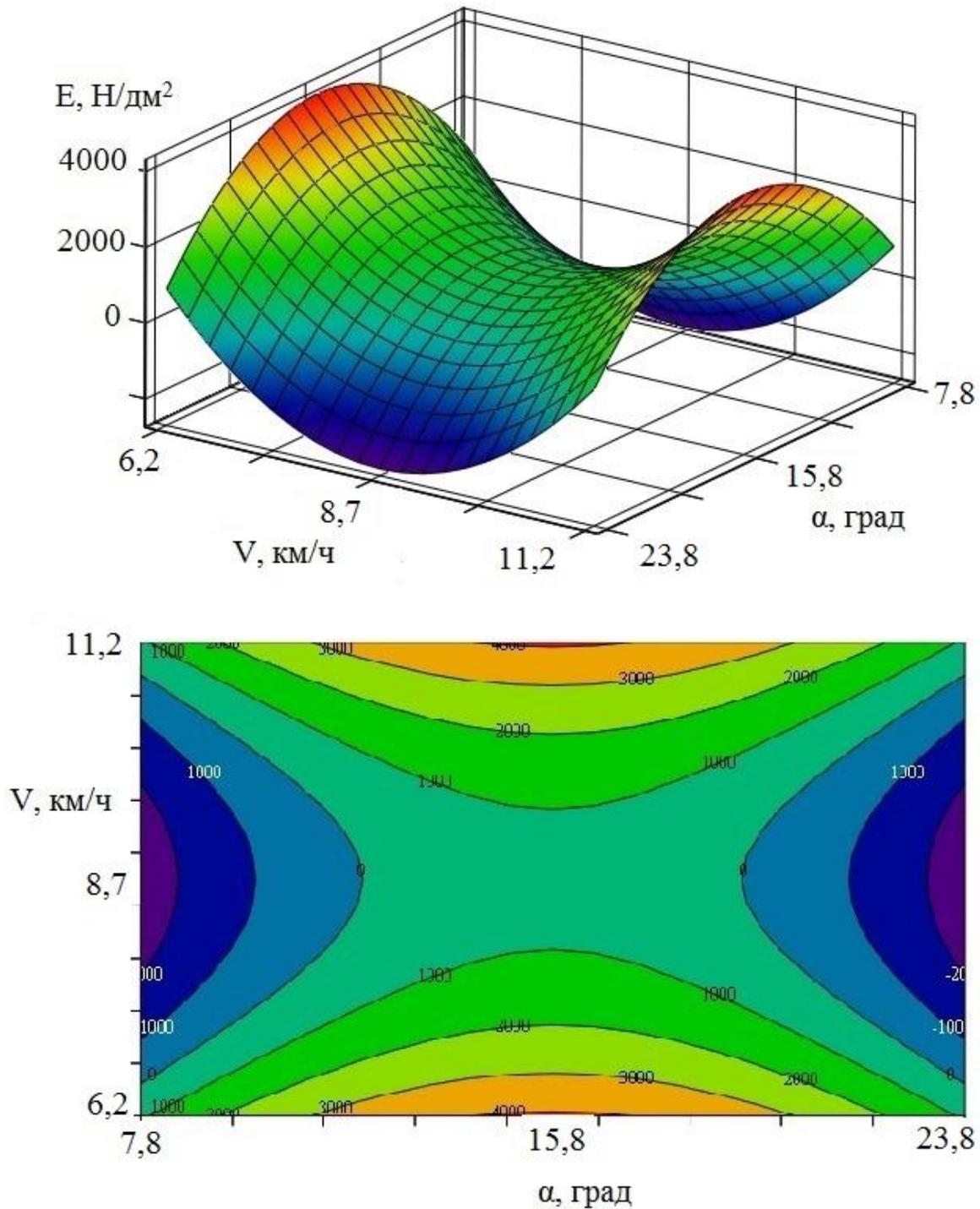


Рисунок 4.4 – Поверхность и сечение зависимости удельной энергоёмкости обработки почвы от угла атаки α и поступательной скорости движения V при фиксированных значениях угла наклона к вертикали β и интенсивности изменения кривизны $\Delta\varphi$

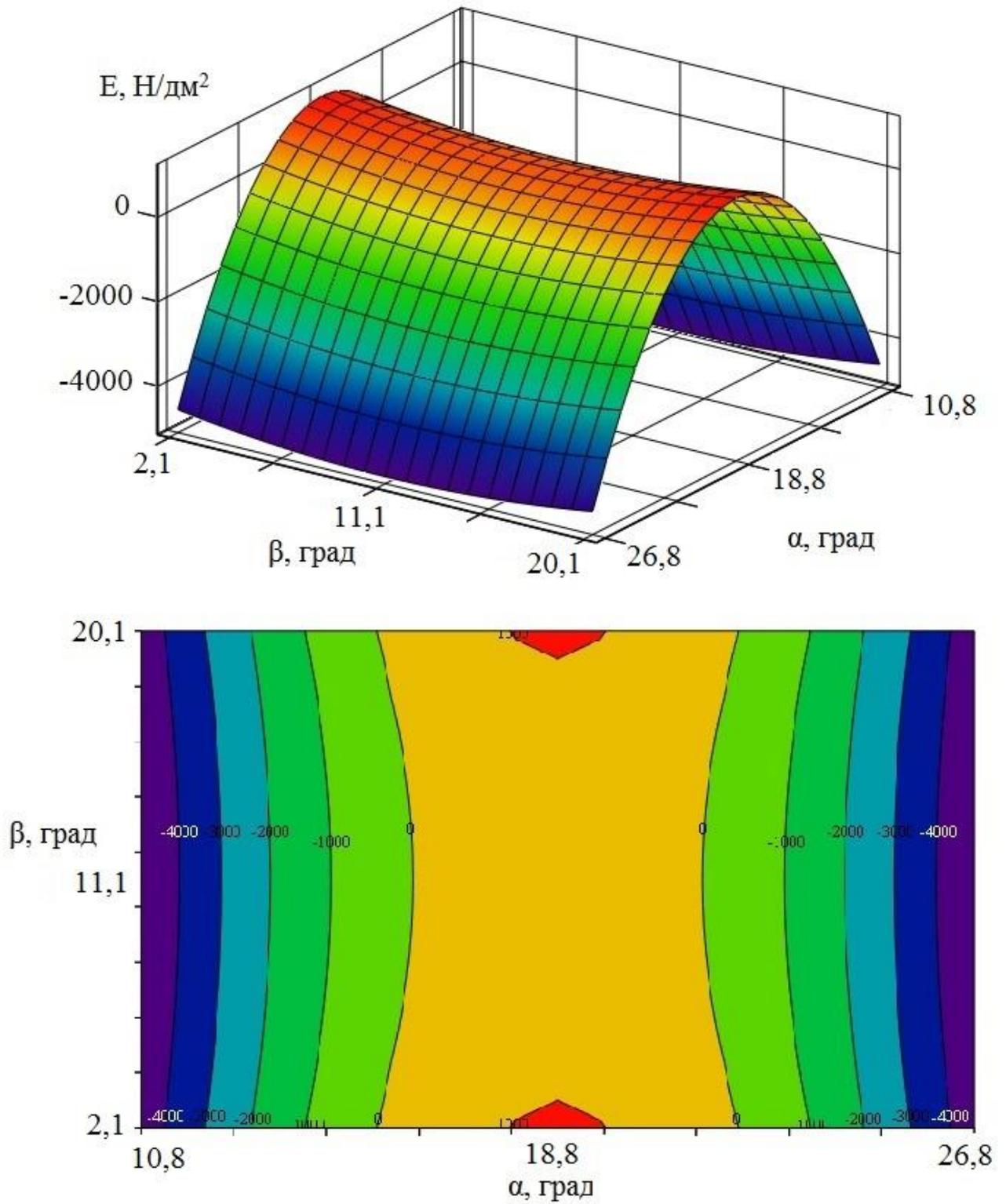


Рисунок 4.5 – Поверхность и сечение зависимости удельной энергоёмкости обработки почвы от угла атаки α и угла наклона к вертикали β при фиксированных значениях поступательной скорости движения V и интенсивности изменения кривизны $\Delta\varphi$

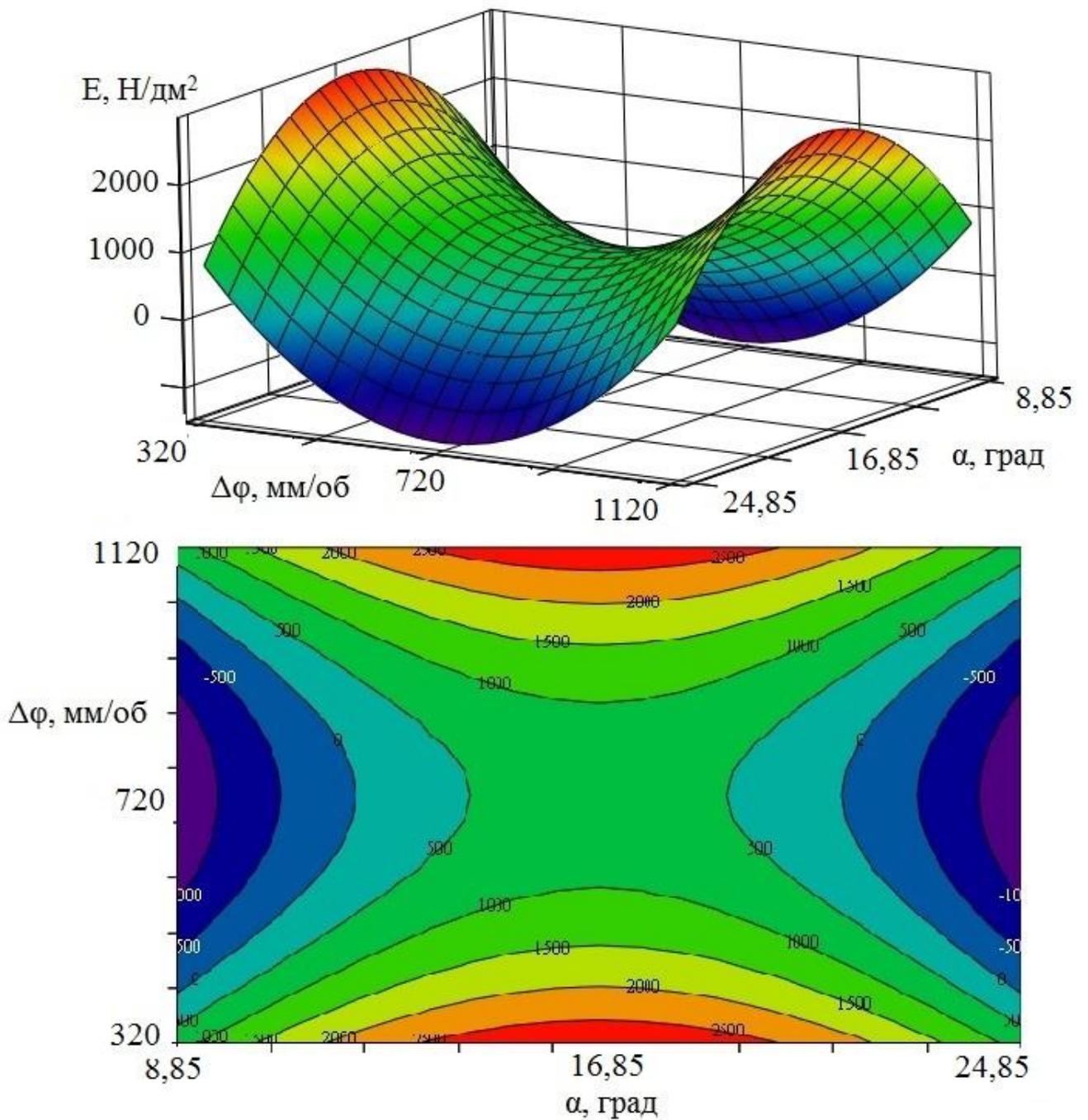


Рисунок 4.6 – Поверхность и сечение зависимости удельной энергоёмкости обработки почвы от угла атаки α и интенсивности изменения кривизны $\Delta\phi$ при фиксированных значениях поступательной скорости движения V и угла наклона к вертикали β

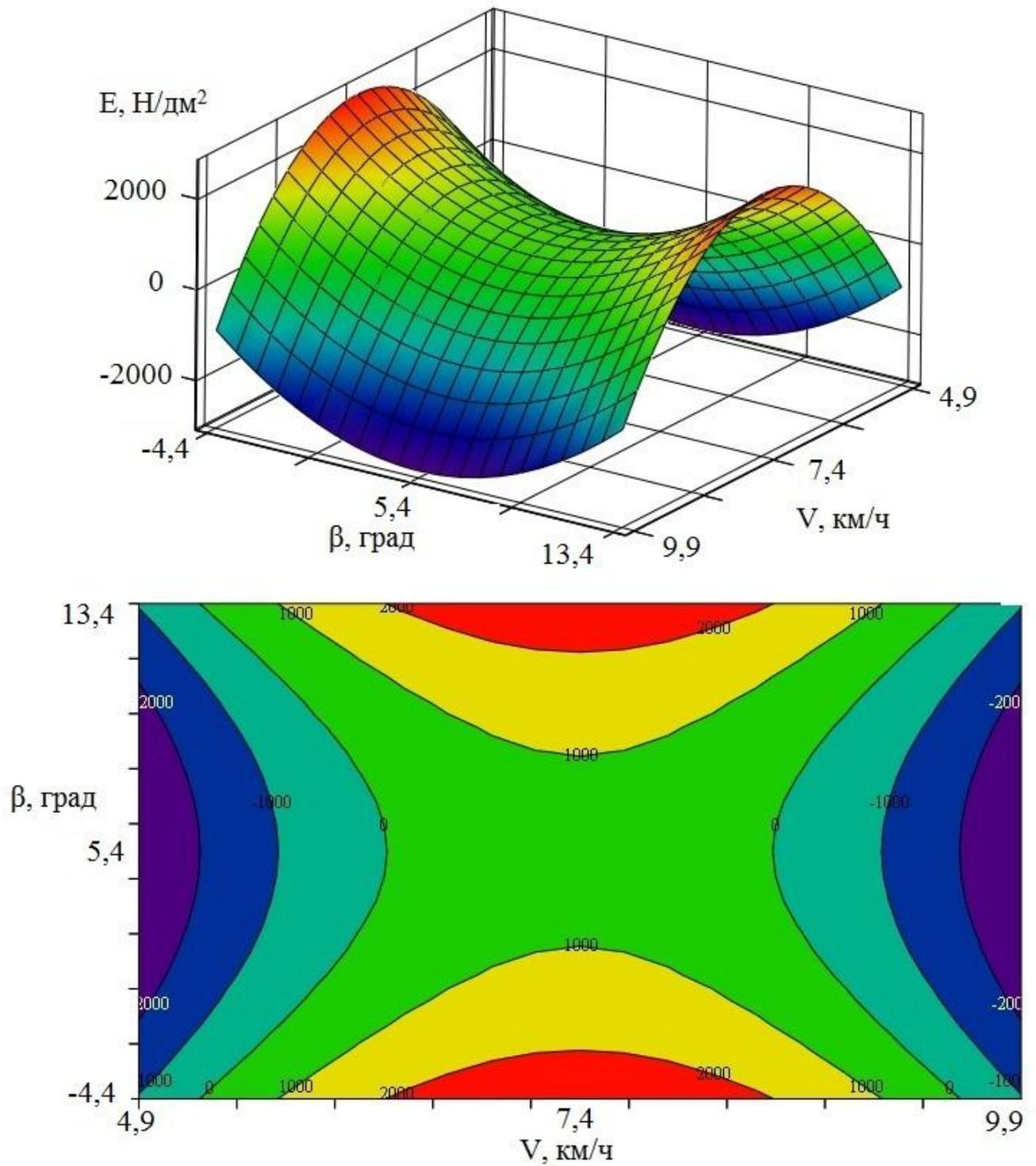


Рисунок 4.7 – Поверхность и сечение зависимости удельной энергоёмкости обработки почвы от поступательной скорости движения V и угла наклона к вертикали β при фиксированных значениях угла атаки α и интенсивности изменения кривизны $\Delta\varphi$

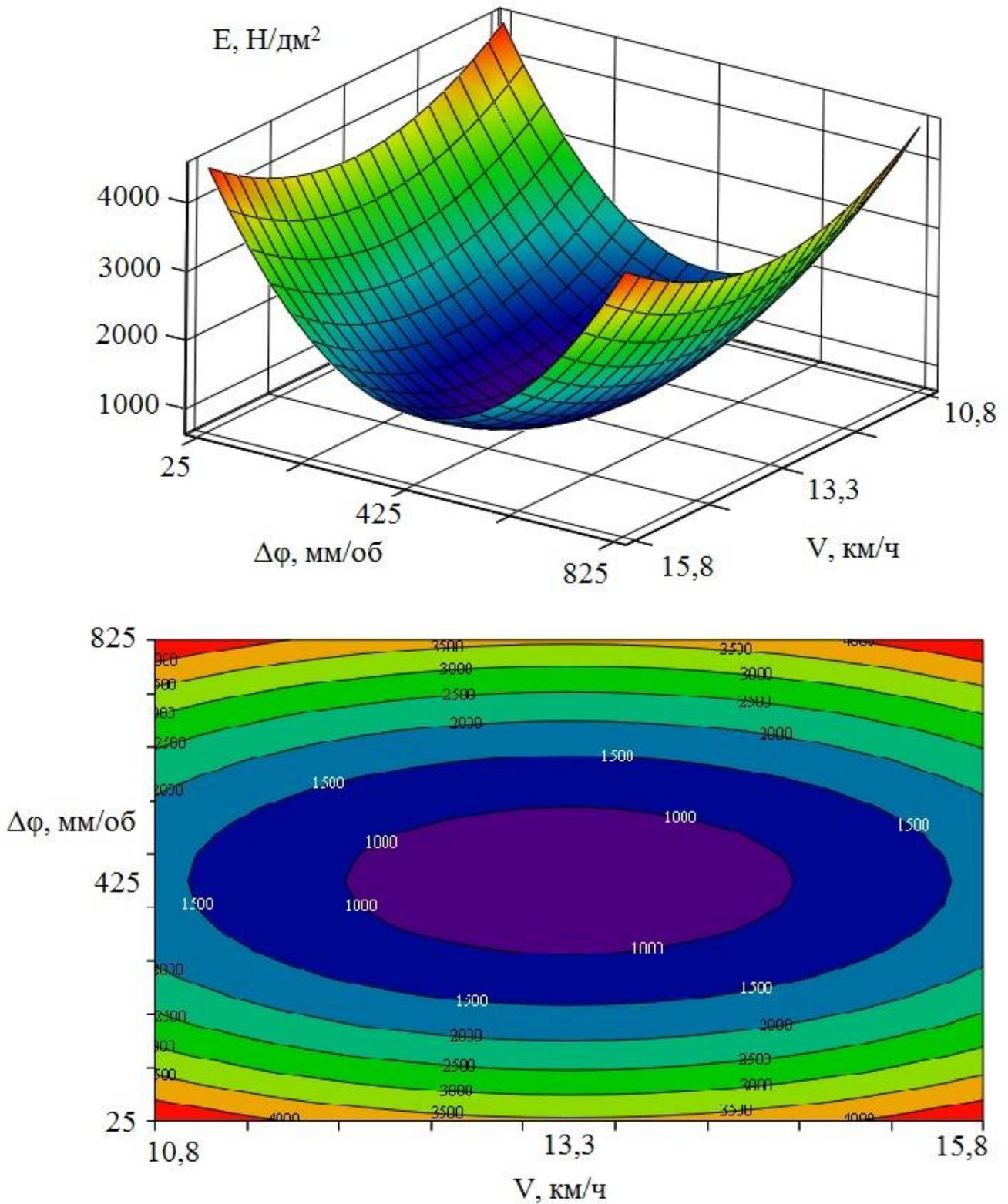


Рисунок 4.8 – Поверхность и сечение зависимости удельной энергоёмкости обработки почвы от поступательной скорости движения V и интенсивности изменения кривизны $\Delta\phi$ при фиксированных значениях угла атаки α и угла наклона к вертикали β

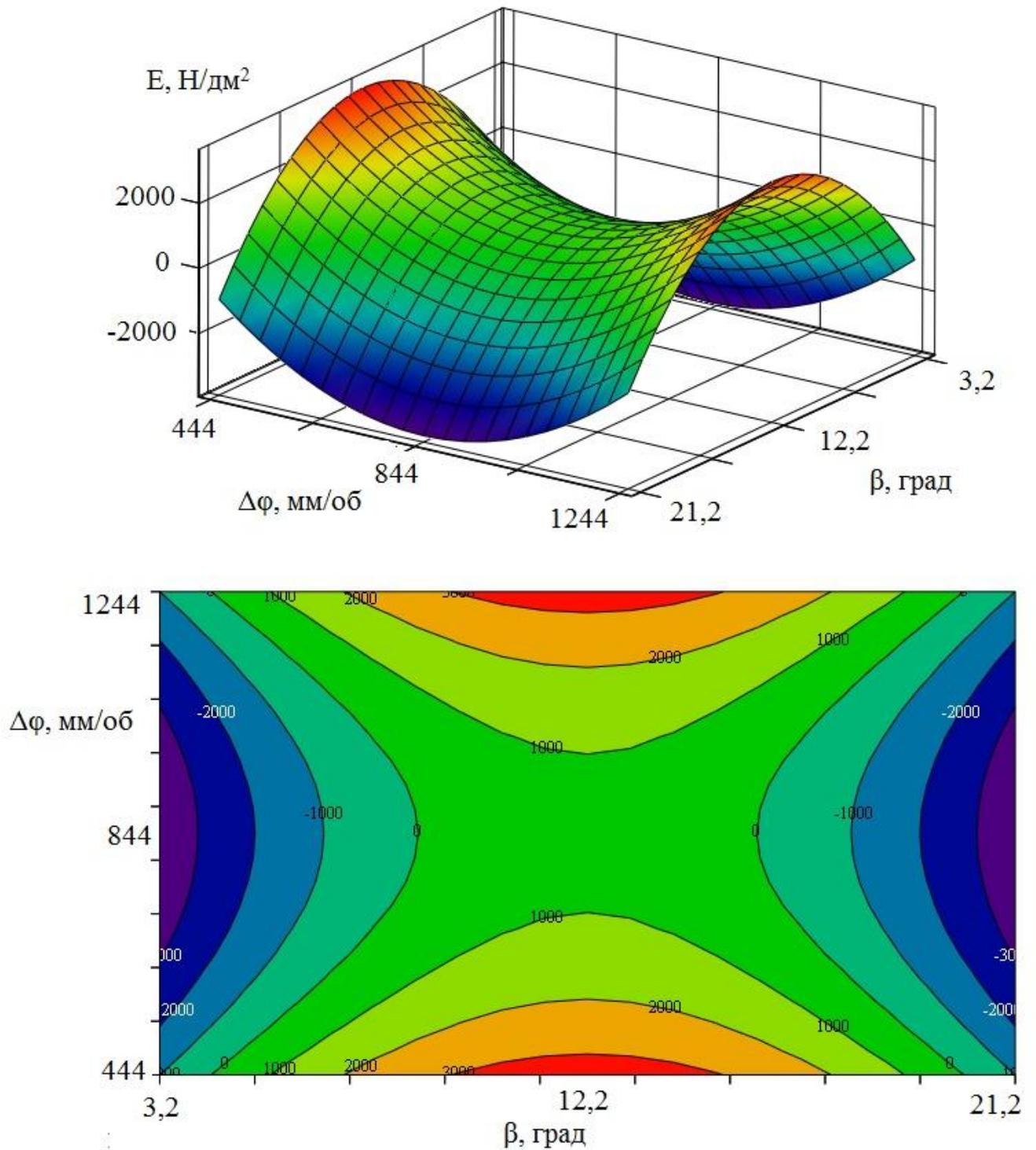


Рисунок 4.9 – Поверхность и сечение зависимости удельной энергоёмкости обработки почвы от угла наклона к вертикали β и интенсивности изменения кривизны $\Delta\phi$ при фиксированных значениях угла атаки α и поступательной скорости движения V

Проведя анализ поверхности и сечения (Рисунок 4.4) можно сделать вывод, что скорость движения V оказывает большее влияние на удельную энергоёмкость обработки почвы, чем угол атаки α , что можно объяснить синхронным увеличением глубины обработки и ширины захвата при увеличении угла атаки α , т. е. возрастает площадь поперечного сечения обкатываемого пласта. Поэтому, не смотря на то, что тяговое сопротивление будет интенсивно расти с увеличением угла атаки α , рост удельной энергоёмкости обработки почвы будет отставать от него, что можно объяснить неизменностью затрат энергии на самоперемещение агрегата. При этом изменение удельной энергоёмкости при росте площади поперечного сечения пласта не происходит по прямолинейному закону, что обусловлено увеличением твердости почвы с ростом глубины обработки, что подтверждают исследования по условиям проведения эксперимента. Также скорость движения больше влияет больше чем угол наклона диска к вертикали (Рисунок 4.7).

Из рисунка 4.5 видно, что угол атаки α на удельную энергоёмкость почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимися радиусами кривизны оказывает большое влияние, чем угол наклона к вертикали β , что обусловлено снижением динамического сопротивления пласта и повышением заглубляющей силы при увеличении угла наклона β . Данные рисунка 4.6 позволяют сделать вывод, что интенсивность изменения кривизны $\Delta\varphi$ значительно больше влияет на удельную энергоёмкость обработки почвы, поскольку рост этого показателя приводит к более интенсивному сжатию почвы, о чем можно также заключить из рисунков 4.8 и 4.9. Однако степень влияния на критерий оптимизации интенсивности изменения кривизны диска $\Delta\varphi$ и скорости движения V практически одинаковая, что также обуславливает механизм их взаимодействия с почвой в виде ее сжатия.

Полученные данные позволяют сформировать следующие рекомендуемые диапазоны изменения уровней независимых факторов: для угла атаки $\alpha \in [15,5:18,8]$ град, для поступательной скорости движения $V \in [7,4:13,3]$ км/ч, для угла установки диска к вертикали $\beta \in [5,4:12,2]$ град, для интенсивности изменения кривизны $\Delta\varphi \in [425:1020]$ мм/об.

Помимо влияния на критерий оптимизации независимых факторов в процессе проведения эксперимента проводилось исследование величины площади поперечного сечения обрабатываемого пласта при изменении угла атаки α и угла наклона к вертикали β диска. Результаты экспериментальных и теоретических исследований для их сравнения представлены на рисунке 4.10.

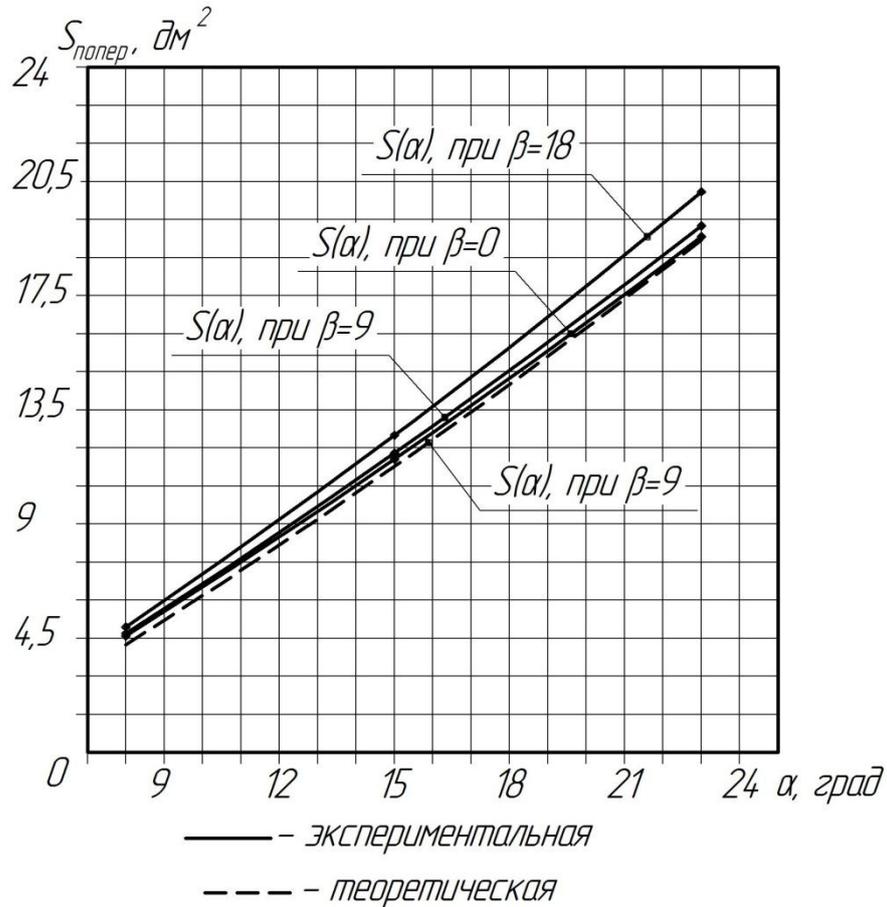


Рисунок 4.10 – Результаты исследований величины площади поперечного сечения пласта обработки почвы при условии соблюдения величины гребнистости дна борозды

Сравнение результатов экспериментальных и теоретических исследований о величине поперечной площади обрабатываемого пласта позволяет сделать вывод об их согласованности. Относительная ошибка в полученных результатах отличается не более чем 5 %, что можно объяснить принятыми допущениями при проведении теоретических исследованиях.

На основании полученных результатов экспериментальных исследований удельная энергоемкость обработки почвы при работе дисковой бороны БДМ-4×4П со сферическими дисками составляет $E_c = 68,2$ кДж/м³, а дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны при условии соблюдения высоты гребнистости дна борозды $E_s = 62,34$ кДж/м³, т. е. га 9,4 % меньше.

4.3 Экономическая эффективность обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны

При определении экономической эффективности обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны в качестве базовой машины для сравнения принимаем агрегат Т-150К+БДМ-4×4П со стандартными сферическими дисками, агротехнические и эксплуатационные показатели работы которого получены при выполнении экспериментальных исследований, т. е. в одинаковых агротехнических условиях и одной и той же технологической операции. Согласно рекомендациям экономическую оценку будем проводить следующим показателям: годовой экономический эффект, срок окупаемости дополнительных капиталовложений и верхний предел цены новой техники [17]. Для проведения экономической оценки расчета использовали формулы, которые представлены в рекомендациях и ГОСТ 53056 [17, 39].

В соответствии с полученными данными, а также рекомендациями по определению эксплуатационных показателей машинно-тракторных агрегатов полученные следующие исходные данные для расчета [86]:

$$W_q^c = 2,8 \text{ га} / \text{ч}, \quad g = 8,2 \text{ кг} / \text{га};$$

$$W_q^s = 3,2 \text{ га} / \text{ч}, \quad g = 7,2 \text{ кг} / \text{га};$$

При расчете экономических показателей приняли согласно рекомендациям годовую загрузку базовой и новой техники равную 200 часов. При этом срок эксплуатации базовой и новой техники приняли равным 10 лет, который установлен заводом производителем бороны БДМ-4×4П. Для удобства анализа расчетов экономической эффективности результаты представим в табличных формах (Таблицы 4.7 и 4.8)

Таблица 4.7 – Результаты расчетов экономических показателей по новой и базовой технике

П.п.	Наименование показателя		Значение показателя		
			Новая	Базовая	
1	Наименование сельскохозяйственной операции		Дискование стерни озимой пшеницы		
2	Состав агрегата		Т-150К+БДМ-4×4(И)	Т-150К+БДМ-4×4(С)	
3	Цена техники, руб.		837432	740000	
4	Число обслуживающего персонала, чел		1	1	
5	Производительность, га/ч.	сменная	3,2	2,8	
		эксплуатационная	3,1	2,7	
6	Расход топлива, кг/га.		7,2	8,2	
7	Структура совокупных затрат, руб./га.	в том числе прямые эксплуатационные затраты на	зарплату	81,3	92,9
			топливо	417,6	475,6
			ремонт и техническое обслуживание	183,2	185
			амортизацию	214,6	216,7
			прочие затраты	3,3	3,7
		затраты средств, учитывающие уровень условий труда	47,1	53,8	
		затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду	1,08	1,23	
		всего	948,18	1028,93	
8	Удельная остаточная стоимость, руб./га.		405,2	411,1	

Таблица 4.8 – Расчетные показатели экономической эффективности обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны

П.п.	Наименование показателя	Значение показателя	
		Новая	Базовая
1	Совокупные затраты денежных средств, руб./га.	948,18	1028,93
2	Затраты труда, чел.-ч./га.	0,3	0,4
3	Удельный расход топлива, кг./га.	7,2	8,2
4	Годовой экономический эффект, руб.	47904	x
5	Дополнительные капиталовложения, руб.	97432	
6	Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет	2	
7	Верхний предел цены новой техники, руб.	1129529,6	

Проведя анализ результатов расчетов экономической эффективности внедрения в производство дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны можно сделать вывод, что при их использовании совокупные затраты денежных средств снижаются на 82 руб./га., что позволяет получить годовой экономический эффект в размере 48 тыс. руб. на один агрегат Т-150К+БДМ-4×4 при его нормативной загрузке. При этом дополнительные капиталовложения в размере 97 тыс. руб. окупятся за 2 года.

4.4 Выводы по главе

1. В результате экспериментальных исследований по определению условий испытаний дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны можно сделать вывод, что условия проведения соответствуют условиям эксплуатации машин аналогичного назначения, а колебания микрорельефа, твердости, влажности почвы, а также засоренности ее сорняками и пожнивными остатками не будут приводить к появлению грубых ошибок.

2. Исследования агротехнических показателей работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны показали, что выбранные в качестве независимых факторов конструктивные и режимные параметры оказывают непо-

средственное влияние на них, при этом показатели подрезания сорной растительности и заделки пожнивных остатков соответствуют нормативным требованиям, а степень крошения почвы увеличивается от 5 до 12 % по сравнению со стандартными сферическими рабочими органами.

3. Получено уравнение регрессии удельной энергоемкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны, адекватность которой подтверждается рассчитанными статистическими критериями. Относительная ошибка результатов экспериментальных исследований величины поперечной площади обрабатываемого пласта составляет не более 5 % от полученных в ходе теоретических исследований.

4. На основании полученных экспериментальных данных и результатов их статистической обработки сформированы рекомендуемые диапазоны изменения уровней независимых факторов, а их оптимальное значение достигается при $\alpha = 18,1$ град, $V = 9,76$ км/ч, $\beta = 11$ град, $\Delta\varphi = 935,6$ мм/об, которым соответствует удельная энергоемкость обработки почвы $E_s = 62,34$ кДж/м³.

5. Рассчитанные показатели экономической эффективности обработки почвы позволяют сделать вывод, что при работе с дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны и обоснованными конструктивными и режимными параметрами совокупные затраты денежных средств снижаются на 82 руб./га, дополнительные капиталовложения окупаются за 2 года, а верхний предел цены новой техники повыситься по сравнению с базовой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате конструктивно-технологического анализа почвообрабатывающих машин с дисковыми рабочими органами установлено, что наиболее перспективным направлением совершенствования дисковых орудий для обработки почвы является повышение степени крошения и равномерности перемешивания почвы и пожнивных остатков рабочими органами, а также снижение энергоемкости процесса, которое можно добиться путем повышения концентрации напряжений возникающих в пласте при его движении вдоль рабочей поверхности диска, а также приданию ему новой траектории движения, которая обеспечит снижение возникающих динамических сопротивлений.

2. Получены выражения, позволяющие обосновать взаимосвязь величины максимального ρ_{max} и минимального ρ_{min} радиусов кривизны, радиуса диска R и угла ψ_4 между горизонталью и отрезком, соединяющим минимальный и максимальный радиусы, а также величины смещения k произвольной точки по лучу при его повороте. При радиусе диска $R \in [210; 300]$ мм, величина угла между горизонталью и отрезком, соединяющим минимальный и максимальный радиусы кривизны, лежит в интервале $\psi_4 \in [6; 15]$ град, величина смещения произвольной точки по лучу в интервале $k \in [180; 100]$ мм/об, при $\Delta\rho \in [60; 100]$ мм.

3. Получены теоретические зависимости для определения координат, скорости и ускорения произвольной точки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны. Для диска $R = 280$ мм рациональные конструктивные параметры и режимы работы находятся в интервалах: угол атаки $\alpha > 15^\circ$, скорость движения орудия $V_n < 14$ км/ч, при угле наклона диска к вертикали $\beta > 10^\circ$, интенсивность изменения кривизны рабочей поверхности должна быть $\Delta\rho > 800$ мм/об.

4. Получена функциональная зависимость для определения координат точек пересечения соседних дисковых рабочих органов при различных схемах ориентации, конструктивных и режимных параметров. При допустимой величине гребнистости дна борозды равной $h_2 = 40$ мм и $h_2 = 50$ мм, радиусе дисков $R = 280$ мм,

углах атаки $\alpha = 20^\circ$ и углах наклона дисков к вертикали $\beta = 10^\circ$ в случае одинаковой ориентации расстояние между соседними дисками должно быть $b_{40} < 70$ мм и $b_{50} < 80$ мм, для ориентации «в развал» – $b_{40} < 20$ мм и $b_{50} < 50$ мм, а для ориентации «в свал» – $b_{40} < 175$ мм и $b_{50} < 185$ мм соответственно.

5. Получены теоретические зависимости, определяющие величину площади поперечного сечения пласта почвы, приходящиеся на отдельно взятый рабочий орган и ее взаимосвязь с тяговым сопротивлением при различных схемах ориентации соседних дисков, их конструктивных и режимных параметров. Для 4-х рядной дисковой борона при схеме ориентации дисков: одинаковое – «в развал» – одинаковое – «в свал», увеличение угла атаки от $\alpha = 10^\circ$ до $\alpha = 25^\circ$ приводит к повышению общего тягового сопротивления в среднем на 230 Н, а увеличение угла наклона диска к вертикали от $\beta = 0^\circ$ до $\beta = 20^\circ$ приводит к его снижению в среднем на 30 Н.

6. Разработана программа и методика экспериментальных исследований, которая позволяет при условии соблюдения максимальной величины гребнистости дна борозды исследовать агротехнические показатели работы дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны, а также косвенным путем определить удельную энергоёмкость через среднеарифметическое значение частного от измеренного фактического тягового сопротивления агрегата и площади поперечного сечения обрабатываемого пласта.

7. По результатам проведенных экспериментальных исследований получено адекватное уравнение регрессии удельной энергоёмкости обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны, на основании анализа которой, определено, что для данных почвенно-климатических условий при угле атаки $\alpha = 18,1$ град, поступательной скорости движения $V = 9,76$ км/ч, угле наклона диска к вертикали $\beta = 11$ град и интенсивности изменения кривизны $\Delta\varphi = 935,6$ мм/об, удельная энергоёмкость обработки почвы составит $E_s = 62,34$ кДж/м³, что на 9,4 % меньше чем при работе сферических дисков в тех же условиях. При этом степень крошения почвы составит $K = 85,7$ %, что на 7,3 % выше при работе стандартных сферических дисков. Относительная ошибка ре-

зультатов экспериментальных исследований величины поперченной площади обрабатываемого пласта составляет не более 5 % от полученных в ходе теоретических исследований.

8. Рассчитанные показатели экономической эффективности обработки почвы позволяют сделать вывод, что при работе с дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны совокупные затраты денежных средств снижаются на 82 руб./га, дополнительные капиталовложения окупаются за 2 года, а верхний предел цены новой техники повысится по сравнению с базовой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента [Текст] / Ю. П. Адлер. – М.: Металлургия, 1969. – 158 с.
2. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Бледных В. В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий [Текст] учеб. пособие / В. В. Бледных. – Челябинск: ЧГАА, 2010. – 214 с.
4. Богус Ш. Н. Дисковые плуги: вопросы применения, теоретические исследования, испытания [Текст]: монография / Ш. Н. Богус, В. С. Василин, В. П. Заярский, Ю. А. Пейсахович, А. Т. Табашников, Е. М. Харитонов. – Краснодар : КубГАУ, 2009. – 219 с.
5. Босой Е. С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин [Текст] учебник / Е. С. Босой и [др.] – М.: Машиностроение, 1978. – 569 с.
6. Борона дисковая полуприцепная БДП-6×2Н [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГБУ Алтайская государственная машиноиспытательная станция, - протокол испытаний от 12.09.2018 г. № 01-21-18 (5020592).
7. Борона дисковая модернизированная БДМ-4х4П (дискатор) [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГБУ Кубанская государственная машиноиспытательная станция, - протокол испытаний от 06.10.2015 г. № 07-39-2005 (4020422), – 4 с.
8. Борона дисковая БДМ-6х4ПК [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГБУ Кубанская государственная машиноиспытательная станция, - протокол испытаний от 21.11.2017 г. № 07-55-2017 (5020662), – 4 с.
9. Буромский В. И. Новый метод построения крошащих рабочих поверхностей плужных корпусов на технологических основаниях [Текст] / В. И. Буромский // Сб. трудов по земледельческой механике. Т.2. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 367с.

10. Вознесенский В. А. Принятие решений по статистическим моделям [Текст] / В. А. Вознесенский, А. Ф. Ковальчук. – М.: Статистика, 1978. – 192 с.
11. Воинов В. Н. Обоснование основных конструктивных параметров и режимов работы дискаторов для ресурсосберегающих технологий обработки почвы [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.20.01: защищена 01.02.2013 : утв. 12.06.2013 / Воинов Валерий Николаевич. – Челябинск, 2013. – 147 с.
12. ГОСТ Р. 54783-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения [Текст]. – Введ. 2011–12–13. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 23 с.
13. ГОСТ 33687-2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2015–11–12. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 46 с.
14. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Текст]. – Введ. 2011–11–29. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 27 с.
15. ГОСТ 24055-2016. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки [Текст]. – Введ. 2016–02–29. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 27 с.
16. ГОСТ 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки [Текст]. – Введ. 2007–11–13. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 11 с.
17. ГОСТ 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки [Текст]. – Введ. 2009–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 20 с.
18. Горячкин В. П. Собрание сочинений в трех томах. Том II [Текст] / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1963. – 459 с.
19. Дискосвая борона Румба 5×2ПК [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос-сю Федерации, ФГБУ Кубанская государственная машиноиспытательная станция, - протокол испытаний от 05.12.2018 г. № 07-98-2018 (5020922), – 5 с.
20. Дискосвая борона БДМ-7х3 ПКШК [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГБУ Владимирская государственная машиноиспытательная станция, - протокол испытаний от 21.11.2018 г. № 03-66-18 (5020642), – 4 с.

21. Дискосые плуги: вопросы применения, теоретические исследования, испытания [Текст] учеб. пособие / Ш. Н. Богус и [др] – Краснодар : КубГАУ, 2000. –219 с.
22. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [Текст] / Б.А. Доспехов – М.: Книга по Требованию, 2012. – 352 с. ISBN 978-5-458-23540-2.
23. Желиговский В. А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов [Текст] / В. А. Желиговский. – Тбилиси : Изд-во ГСИ, 1960. – 146 с.
24. Жук А.Ф. Развитие машин для минимальной обработке почвы [Текст]: монография / А. Ф. Жук, Е. Е. Ревякин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007 – 140 с.
25. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве [Текст]: требования / В. И. Анискин и [д.р.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 270 с.
26. Канарев Ф. М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия [Текст] / Ф. М. Канарев. – М.: Машиностроение, 1983. – 142 с.
27. Камбулов С. И. Влагообеспеченность обрабатываемого слоя почвы при различных технологиях возделывания / С. И. Камбулов и [д.р.] // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 4 (25). – С. 222-227.
28. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные машины [Текст]: учебник / Н. И. Кленин, С. Н. Киселев, А. Г. Левшин.: – М.: КолосС, 2008 – 816 с.: ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб.заведений). ISBN 978-5-9532-0455-2.
29. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений : [Текст] учебник / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М. :Изд-во «Наука», 1969. – 512 с.
30. Кулен А. Современная земледельческая механика [Текст] / А. Кулен, Х. Куиперс. Пер. с англ. А. Э. Габриэляна; под редакцией и с предисл. Ю. А. Смирнова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 349 с.

31. Математическая статистика в технике : [Текст] учебник / А. М. Длин. – М. :Изд-во «Советская наука», 1958. – 467 с.
32. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С. В. Мельников, В.Р. Алешкин, П. М. Рошин. – 2-е изд. пераб. и доп. – Л.: КОЛОС, 1980. – 168 с.
33. Митков А. Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении [Текст] / А. Л. Митков, С. В. Кардашевский. – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с.
34. Нартов П. С. Дисковые почвообрабатывающие орудия [Текст] / П. С. Нартов. – Воронеж : ВГУ, 1972. – 184 с.
35. Новиков Ю. Ф. К теории акад. В. А. Желиговского о смятии почвы корпусом плуга [Текст] / Ю. Ф. Новиков // Сб.трудов по земледельческой механике. Т.13. – М.: Машиностроение, 1971. – 400 с.
36. Несмиян А. Ю. Технические характеристики и агротехнические показатели работы почвообрабатывающих агрегатов [Текст] / А. Ю. Несмиян // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 6. – С. 58–64.
37. Новые адаптивные энерго и почвосберегающие технологии возделывания озимой пшеницы и кукурузы в Краснодарском крае: [Текст] монограф. / П. Н. Рыбалкин и [др.]. – Краснодар : Просвещение-Юг, 2002. – 105с.
38. Организация инновационной деятельности в АПК : [Текст] учебник / В. И. Нечаев, В. Ф. Бирман, И. С Санду и др.; Под ред. В. И. Нечаева. – М. : «КолосС», 2010. – 328 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учебных заведений). ISBN 978-5-9532-0753-9.
39. Организация производства и предпринимательской деятельности в АПК: [Текст] учебник / В. И. Нечаев, П. Ф. Парамонов. – Краснодар.: КубГАУ, 2007 – 466 с.
40. Пат. 82507 Российская Федерация, МПК А01В 21/08, U1. Почвообрабатывающий агрегат [Текст] / Е. Н. Бехтер, А. С. Пестерев, В. Ф. Карбушев ; заявители и патентообладатели Бехтер Е. Н., Карбушев В. Ф. – №2007141239/22 ; заявл. 06.11.2007 ; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13. – 4 с. : 1 ил.

41. Пат. 2375855 Российская Федерация, МПК А01В 7/00, А01В 15/16, А01В 23/06, С2. Способ почвообработки и устройство для его осуществления [Текст] / В. А. Ежов, К. А. Сохт, А. К. Кириченко ; заявитель и патентообладатель Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П. П. Лукьяненко. – №2008108115/12 ; заявл. 03.03.2008 ; опубл. 20.12.2009, Бюл. № 35. – 9 с. : 3 ил.

42. Пат. 2350059 Российская Федерация, МПК А01В 21/08, С1. Авторегулируемая дисковая борона [Текст] / К. А. Сохт, А. К. Кириченко, В. А. Ежов ; заявитель и патентообладатель Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П. П. Лукьяненко. – №2007131595/12 ; заявл. 20.08.2007 ; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9. – 6 с. : 2 ил.

43. Пат. 185832 Российская Федерация, МПК А01В 23/06, U1. Рабочий орган бороны [Текст] / М. В. Ивашнев и [др.] ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет». – №2018126298 ; заявл. 16.07.2018 ; опубл. 19.12.2018, Бюл. № 35. – 6 с. : 2 ил.

44. Пат. 94027047Российская Федерация, МПК А01В 13/02, А01В 39/15, А1. Дисковое почвообрабатывающее орудие [Текст] / А. П. Иофинов, С. Г. Мударасов ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет». – №94027047/13 ; заявл. 18.07.1994 ; опубл. 27.09.1996, Бюл. № 1. – 3 с. : 2 ил.

45. Пат. 2335869 Российская Федерация, МПК А01В 15/16, А01В 5/00, А01В 7/00,С1. Приспособление к дисковому почвообрабатывающему орудю [Текст] / В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин ; заявители и патентообладатели В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин . – №2007111225/12 ; заявл. 27.03.2007 ; опубл. 20.10.2008, Бюл. № 29. – 6 с. : 3 ил.

46. Пат. 2344586 Российская Федерация, МПК А01В 5/00, А01В 7/00, С1. Приспособление к дисковому почвообрабатывающему орудю [Текст] / В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин ; заявители и патентообладатели

В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин . – №2007135700/12 ; заявл. 26.09.2007 ; опубл. 27.01.2009, Бюл. № 3. – 6 с. : 3 ил.

47. Пат. 186224 Российская Федерация, МПК А01В 15/00, А01В 5/00, U1. Приспособление к дисковому почвообрабатывающему орудю [Текст] / В. Н. Блохин и [др.] ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный аграрный университет». – №2018116484 ; заявл. 03.05.2018 ; опубл. 11.01.2019, Бюл. № 2. – 3 с. : 2 ил.

48. Пат. 80089 Российская Федерация, МПК А01В 21/00, U1. Диск рабочего органа почвообрабатывающего орудия (варианты) [Текст] / В. А. Ежов, А. К. Кириченко, К. А. Сохт ; заявитель и патентообладатель Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П. П. Лукьяненко. – №2008115775/22 ; заявл. 21.04.2008 ; опубл. 27.01.2009, Бюл. № 3. – 15 с. : 5 ил.

49. Пат. 2046578 Российская Федерация, МПК А01В 15/16, А01В 5/00, С1. Диск для пахоты и дисковый плуг [Текст] / Жан-Шарль Жавеляк ; заявитель и патентообладатель Жавеляк Жан-Шарль. – №5010089/15 ; заявл. 02.05.1990 ; опубл. 27.10.1995, Бюл. № 1. – 6 с. : 8 ил.

50. Пат. 78621 Российская Федерация, МПК А01В 7/00, U1. Диск сферический почвообрабатывающего орудия [Текст] / заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью группа предприятий «Сельмашкомплект». – №2008121578/22 ; заявл. 28.05.2008 ; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 34. – 7 с. : 7 ил.

51. Пат. 2381639 Российская Федерация, МПК А01В 15/16, А01В 23/06, С1. Диск сферический почвообрабатывающего орудия [Текст] / К. А. Сохт, А. К. Кириченко, В. А. Ежов, ; заявитель и патентообладатель Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П. П. Лукьяненко. – №2008127679/12 ; заявл. 07.07.2008 ; опубл. 07.07.2008, Бюл. № 5. – 5 с. : 1 ил.

52. Пат. 86375 Российская Федерация, МПК А01В 7/00, А01В 23/06, U1. Диск сферический почвообрабатывающего орудия [Текст] / К. А. Сохт, А. К. Кириченко, В. А. Ежов, Г. Н. Гречкина, О. И. Горюнова ; заявитель и патен-

тообладатель Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П. П. Лукьяненко. – №2009111909/12 ; заявл. 31.03.2009 ; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 25. – 5 с. : 2 ил.

53. Пат. 84179 Российская Федерация, МПК А01В 79/00, U1. Луцильник ротационный [Текст] / А. Р. Валиев, Ф. Ф. Ярулин, П. И. Макаров, Р. Г. Сафиулин ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет». – №2009110704/22 ; заявл. 24.03.2009 ; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 19. – 9 с. : 5 ил.

54. Пат. 2622916 Российская Федерация, МПК А01В 23/06, А01В 15/16, С1. Диск почвообрабатывающий [Текст] / А. Ф. Жук, Г. С. Юнусов, В. А. Игумнов, С. А. Шишиморов ; заявитель и патентообладатель Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. – №2016146294 ; заявл. 25.11.2016 ; опубл. 21.06.2017, Бюл. № 18. – 8 с. : 3 ил.

55. Пат. 176202 Российская Федерация, МПК А01В 21/07, U1. Рабочий орган дискового луцильника [Текст] / Л. Ф. Бабицкий, И. В. Соболевский ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». – №2017109747 ; заявл. 23.03.2017 ; опубл. 12.01.2018, Бюл. № 2. – 6 с. : 2 ил.

56. Пат. 106072 Российская Федерация, МПК А01В 21/08, U1. Устройство для основной и предпосевной обработки почвы [Текст] / В. И. Клименко ; заявитель и патентообладатель Клименко В. И. – №2011109956/21 ; заявл. 16.03.2011 ; опубл. 10.07.2011, Бюл. № 19. – 4 с.

57. Пат. 2342820 Российская Федерация, МПК А01В 21/08, С2. Способ почвообработки и устройство для его реализации [Текст] / В. А. Ежов, К. А. Сохт, А. К. Кириченко ; заявитель и патентообладатель Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П. П. Лукьяненко. – №2006140770/12 ; заявл. 17.11.2006 ; опубл. 10.01.2009, Бюл. № 1. – 5 с. : 3 ил.

58. Пат. 152563 Российская Федерация, МПК А01В 21/00, U1. Рабочий орган дискового почвообрабатывающего орудия [Текст] / Е. И. Трубилин, К. А. Сохт, В. И. Коновалов ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». – №2014146819/13 ; заявл. 20.11.2014 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16. – 5 с. : 3 ил.

59. Пат. 152563 Российская Федерация, МПК А01В 21/00, U1. Рабочий орган дискового почвообрабатывающего орудия [Текст] / Е. И. Трубилин, К. А. Сохт, В. И. Коновалов ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет». – №2014146819/13 ; заявл. 20.11.2014 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16. – 6 с. : 3 ил.

60. Перспективная ресурсосберегающая технология производства озимой пшеницы:[Текст] метод.рек. / Шабает А. И. и [др.]. –М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 68 с.

61. Перспективная ресурсосберегающая технология производства подсолнечника:[Текст] метод. рек. / Лукомец В. М. и [др.]. –М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 56 с.

62. Перспективная ресурсосберегающая технология производства кукурузы на зерно:[Текст] метод. рек. / Сотченко В. С. и [др.]. –М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 72 с.

63. Перспективная ресурсосберегающая технология производства сои:[Текст] метод. рек. / Лукомец В. М. и [др.]. –М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 56 с.

64. Протокол испытаний импортного образца дискового культиватора Vaderstad CR 820 [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГБУ Кубанская государственная машиноиспытательная станция, - протокол испытаний от 03.12.2018 г. № 07-93-2018 (6240552), – 5 с.

65. Протокол испытаний импортного образца компактной дисковой бороны AMAZONE CATROS 7501-2Т [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Феде-

рации, ФГБУ Кубанская государственная машиноиспытательная станция, - протокол испытаний от 10.12.2018 г. № 07-104-2018 (6240712), – 6 с.

66. Протокол испытаний дисковой бороны Rubin 9/600 KUA [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГБУ Северо-западная государственная зональная машиноиспытательная станция, – протокол испытаний от 19.09.2017 г. № 10-09-2017 (5020422), - 4 с.

67. Протокол периодических испытаний бороны дисковой модернизированной БДМ-7х3 ПКСП [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГБУ Владимирская государственная машиноиспытательная станция, - протокол испытаний от 13.07.2016 г. № 03-06-16 (5020302), – 31 с.

68. Протокол периодических испытаний бороны дисковой модульной БДМ-5х4/09 [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГБУ Владимирская государственная машиноиспытательная станция, - протокол испытаний от 21.10.2016 г. № 03-42-16 (5020352), – 32 с.

69. Ревут И. Б. Физика почв [Текст]: монограф. / И. Б. Ревут. – Ленинград : «Колос», 1972. – 368 с.

70. Сабликов М. В. Сельскохозяйственные машины. Ч. 2. Основы теории и технологического расчета [Текст] учеб. пособие / М. В. Сабликов. – М.: Колос, 1967. – 297 с.

71. Сельскохозяйственные машины (конструкция, теория и расчет) Часть I [Текст]: учебное пособие / Е. И. Трубилин, В. А. Абликов, А. Н. Лютый, Л. П. Соломатин.: КГАУ, 2-е издание перераб. и дополн. Краснодар, 2008.

72. Синеоков Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст] / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

73. Синеоков Г. Н. Проектирование почвообрабатывающих машин [Текст] / Г. Н. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1965. – 303 с.

74. Справочник по высшей математике [Текст]: справочник / М. Я. Выгодский. – М.: АСТ: Астрель, 2006. – 991 с.

75. Современные технологии и комплексы машин для возделывания подсолнечника:[Текст] науч. ан. обзор / Гольтяпин В. Я, Колчина Л. М., Щеголихина Т. А. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. – 108 с.
76. Сохт К. А. Машинные технологии возделывания зерновых культур: [Текст] монограф. / К. А. Сохт. – Краснодар, 2001. – 271 с.
77. Сохт К. А. Структура почвы. Технологии и техника. Проблемы и решения [Текст]: учеб. пособие / К. А. Сохт, Е. И. Трубилин, В. И. Коновалов. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 116 с.
78. Сохт К. А. Дисковые бороны и лушильники. Проектирование технологически параметров [Текст]: учеб. пособие / К. А. Сохт, Е. И. Трубилин, В. И. Коновалов. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – 164 с.
79. Сравнительный анализ технического уровня дисковых борон по результатам испытаний на машиноиспытательных станциях [Текст] / М-во сельского хозяйства Рос. Федерации, ФГБУ Государственный испытательный центр, - Солнечногорск, 2014, – 66 с.
80. Статистические методы исследований процессов и машин в агробизнесе :[Текст] учеб. пособие / К. А. Сохт, Е. И. Трубилин, В. И. Коновалов. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 217 с. ISBN 978-5-94672-998-7
81. СТО АИСТ 4.6-2018. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения и надежности. Общие требования [Текст]. – Введ. 15.09.2018 г. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018 – 34 с.
82. СТО АИСТ 4.6-2018. Испытания сельскохозяйственные. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения и надежности. Общие положения [Текст]. – Введ. 2018–09–15. – М. : Изд-во ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 34 с.
83. Стрельбицкий В. Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины: [Текст] / В. Ф. Стрельбицкий. – М.: Машиностроение, 1978. – 135 с.

84. Тарасенко Б. И. Обработка почвы [Текст]: учеб. пособие / Б. И. Тарасенко, А. С. Найденов, Н. И. Бардак, В. В. Терещенко. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 176 с.

85. Тарасенко Б. И. Повышение плодородия почв Кубани [Текст]: монография / Б. И. Тарасенко. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – 130 с.

86. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов: [Текст] учеб. пособие / А. П. Карабаницкий, О. А. Левшукова. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 104 с.

87. Технологии и техника для возделывания и уборки сахарной свеклы: [Текст] справочник / Колчина Л. М. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2012. – 80 с.

88. Техническая эксплуатация средств механизации АПК [Текст] : учеб. пособие / Г. Г. Маслов, А. П. Карабаницкий. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 163 с.

89. Трубилин Е. И. Энергосберегающая технология подготовки тяжелых почв Кубани к посеву и агрегат для ее реализации [Текст] монография / Е. И. Трубилин и [др.] – Краснодар : КубГАУ, 2004. – 219 с.

90. Турбин Б. Г. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет [Текст] / Б. Г. Турбин и [др]. Издание второе, переработанное и дополненное. – Ленинград: Машиностроение, 1967. – 584 с.

91. Хабибулин И. Ф. Обоснование рациональных параметров комбинированного рабочего органа дискового плуга [Текст]: дис. канд. техн. наук : 05.20.01 : защищена 27.12.2005 : утв. 08.07.2006 / Хабибулин Ильшат Фанилович. – Уфа, 2005. – 192 с.

92. Халилов М. Б. Анализ технологий и обоснование технологических схем машин для обработки почвы в условиях республики Дагестан [Текст] / М. Б. Халилов, Т. С. Байбулатов, Ш. М. Халилов // Научное обозрение. – 2011. – № 1. – С. 4–8.

93. Хачатрян Х. А. движение почвы по поверхности сферического диска [Текст]: // Труды объединенной научной сессии Грузинской, Азербайджанской и Армянского сельскохозяйственных институтов. – Ереван, 1961. – 239-249 с.
94. Экономическая эффективность конструкторской части дипломных проектов, выполняемых на факультете механизации. [Текст] метод.указания / Ю. И. Бершицкий, Ю. К. Кастиди. –Краснодар: КубГАУ, 2014. – 18 с.
95. Эксплуатация машинно-тракторных агрегатов в ресурсосберегающих технологиях растениеводства[Текст]: учеб. пособие /под общ. ред. Г. Г. Маслов. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 183с.
96. Vox G. E. P. The effects of errors in the factor levels and experimental design [Текст] / G. E. P. Vox // Technometrics, 1963. Vol. 5. – № 2. – P. 247-262.
97. Clyde A. W. Disc Harrow Design Improvements[Текст] / A. W.Clyde // Agricultural Engineering, 1939, 20, № 6. – P. 215-217.
98. Clyde A. W. Improvement of disc tools[Текст] / A. W. Clyde // Agricultural Engineering, 1939, 20, №6. – P. 217-221.
99. Gordon E. D. Physical reactions of soil on plow discs[Текст] / E. D. Gordon // Agricultural Engineering, 1941, 22, № 6. – P. 205-208.
100. Nerli N. Sulproblema dinamico dell aradro a disco estratto del bolletino del R. Istituto [Текст] / N. Nerli // SuperioreAgraro di Pisa, 1930, V 1.
101. Söhne. Die Scheibenpflug [Текст] / Söhne // «Grandlagen der Landtechnik», 1951, №1.
102. Taylor P. A. Field measurement of forces and movements on wetland plow discs[Текст] / P. A. Taylor // Transactions of the ASAE, 1967, 10, № 6. – P. 762-768, 770.
103. Taylor P. A. New thoughts on the setting and control of disc ploughs[Текст] / P. A. Taylor // J. Agrie. Victoria, 1969,67, № 5. – P. 138-143.
104. Taylor P. A., Johnston R. S. Report of an investigation into the forces acting on wetland disc ploughs[Текст] / P. A. Taylor, R. S. Johnston // Power Farming and Better Farming Digest in Australia and New Zealand, 1964, 75, № 9. – P. 6-9.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчетные данные для построения векторов абсолютной скорости
произвольной точки

Таблица А1 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,161	1,715	0,612	0,147	0,445	1,425	2,826	4,274	5,381	5,852	5,561	4,585
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,495	0,89	1,051	0,928	0,558	0,038	-0,491	-0,89	-1,05	0,93	-0,562	-0,043
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-2,954	-2,56	-1,481	-0,01	1,47	2,553	2,954	2,566	1,492	0,02	-1,458	-2,546
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	4,355	3,208	1,916	0,94	1,634	2,924	4,118	5,064	5,682	5,926	5,776	5,245

Таблица А2 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M , находящейся на расстоянии $1/3R$ от режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,105	2,16	1,44	1,137	1,331	1,971	2,887	3,832	4,555	4,863	4,673	4,036
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,324	0,583	0,686	0,606	0,364	0,025	-0,321	-0,581	-0,68	-0,608	-0,36	-0,028
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-1,93	-1,672	-0,967	-0,01	0,96	1,668	1,93	1,676	0,975	0,013	-0,952	-1,663
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	3,67	2,793	1,866	1,288	1,681	2,582	3,487	4,223	4,709	4,901	4,783	4,365

Таблица А3 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,09	1,630	0,489	0,046	0,392	1,435	2,896	4,385	5,504	5,954	5,614	4,576
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,513	0,705	0,708	0,522	0,197	-0,181	-0,511	-0,704	-0,709	-0,524	-0,2	0,178
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-2,954	-2,56	-1,481	-0,01	1,47	2,553	2,954	2,566	1,492	0,02	-1,458	-2,546
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	4,306	3,101	1,713	0,524	1,534	2,934	4,169	5,13	5,747	5,977	5,804	5,24

Таблица А4 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M , находящейся на расстоянии $1/3R$ от режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,059	2,088	1,36	1,07	1,297	1,978	2,932	3,905	4,636	4,929	4,707	4,029
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,335	0,46	0,462	0,341	0,128	-0,118	-0,334	-0,46	-0,463	-0,342	-0,131	0,116
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-1,93	-1,672	-0,967	-0,01	0,96	1,668	1,93	1,676	0,975	0,013	-0,952	-1,663
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	3,632	2,714	1,732	1,123	1,618	2,59	3,526	4,274	4,76	4,941	4,805	4,361

Таблица А5 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 18^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,286	1,823	0,675	0,147	0,382	1,317	2,701	4,165	5,318	5,851	5,623	4,694
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,882	1,227	1,244	0,929	0,3666	-0,295	-0,878	-1,225	-1,245	-0,933	-0,371	0,29
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-2,853	-2,472	-1,43	-0,001	1,419	2,466	2,853	2,478	1,441	0,019	-1,408	-2,459
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	4,441	3,308	2,012	0,941	1,515	2,811	4,026	4,999	5,649	5,925	5,808	5,307

Таблица А6 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M , находящейся на расстоянии $1/3R$ от режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 18^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,187	2,232	1,841	1,137	1,29	1,901	2,805	3,761	4,514	4,862	4,713	4,106
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,576	0,801	0,813	0,607	0,239	-0,193	-0,573	-0,8	-0,813	-06,9	-0,242	0,189
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-1,864	-1,615	-0,934	-0,001	0,927	1,61	1,864	1,619	0,941	0,012	-0,92	-1,606
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	3,737	2,869	1,931	1,289	1,607	2,499	3,416	4,172	4,862	4,9	4,808	4,413

Таблица А7 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 4$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	4,215	2,286	0,816	0,196	0,593	1,9	3,768	5,699	7,175	7,803	7,415	6,114
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,661	1,19	1,401	1,238	0,744	0,051	-0,655	-1,186	-1,4	-1,24	-0,749	-0,057
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-3,939	-3,413	-1,975	-0,001	1,959	3,404	3,939	3,422	1,99	0,026	-1,944	-3,395
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	5,807	4,277	2,555	1,253	2,178	3,899	5,491	6,752	7,576	7,901	7,702	6,994

Таблица А8 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M , находящейся на расстоянии $1/3R$ от режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 4$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,095$ м, $\psi_4 = 0^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	4,14	2,881	1,92	1,515	1,775	2,628	3,849	5,109	6,074	6,484	6,23	5,381
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,431	0,777	0,915	0,808	0,486	0,033	-0,428	-0,775	-0,915	-0,81	-0,489	-0,037
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-2,573	-2,229	-1,29	-0,001	1,28	2,224	2,573	2,235	1,3	0,017	-1,27	-2,218
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	4,894	3,724	2,488	1,718	2,441	3,443	4,649	5,63	6,278	6,534	6,377	5,82

Таблица А9 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,161	1,715	0,612	0,147	0,445	1,425	2,826	4,274	5,381	5,852	5,561	4,585
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,495	0,89	1,051	0,928	0,558	0,038	-0,491	-0,89	-1,05	0,93	-0,562	-0,043
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-2,954	-2,56	-1,481	-0,01	1,47	2,553	2,954	2,566	1,492	0,02	-1,458	-2,546
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	4,355	3,208	1,916	0,94	1,634	2,924	4,118	5,064	5,682	5,926	5,776	5,245

Таблица А10 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M , находящейся на расстоянии $1/3R$ от режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,102	2,189	1,493	1,2	1,388	2,006	2,89	3,804	4,502	4,799	4,616	4
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,313	0,563	0,663	0,586	0,352	0,024	-0,31	-0,561	-0,663	-0,587	0,354	0,027
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-1,864	-1,615	-0,934	-0,001	0,927	1,611	1,864	1,619	0,942	0,012	-0,92	-1,607
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	3,632	2,778	1,882	1,335	1,706	2,573	3,453	4,172	4,647	4,835	4,72	4,311

Таблица А11 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,09	1,630	0,489	0,046	0,392	1,435	2,896	4,385	5,504	5,954	5,614	4,576
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,513	0,705	0,708	0,522	0,197	-0,181	-0,511	-0,704	-0,709	-0,524	-0,2	0,178
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-2,954	-2,56	-1,481	-0,01	1,47	2,553	2,954	2,566	1,492	0,02	-1,458	-2,546
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	4,306	3,101	1,713	0,524	1,534	2,934	4,169	5,13	5,747	5,977	5,804	5,24

Таблица А12 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M , находящейся на расстоянии $1/3R$ от режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,057	2,119	1,416	1,136	1,355	2,013	2,935	3,874	4,58	4,864	4,649	3,994
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,324	0,445	0,447	0,329	0,124	-0,114	-0,322	-0,444	-0,447	-0,331	-0,126	0,112
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-1,864	-1,615	-0,934	-0,001	0,927	1,611	1,864	1,619	0,942	0,012	-0,92	-0,1607
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	3,595	2,701	1,754	1,183	1,646	2,58	3,491	4,222	4,697	4,875	4,741	4,307

Таблица А13 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 18^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,286	1,823	0,675	0,147	0,382	1,317	2,701	4,165	5,318	5,851	5,623	4,694
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,882	1,227	1,244	0,929	0,3666	-0,295	-0,878	-1,225	-1,245	-0,933	-0,371	0,29
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-2,853	-2,472	-1,43	-0,001	1,419	2,466	2,853	2,478	1,441	0,019	-1,408	-2,459
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	4,441	3,308	2,012	0,941	1,515	2,811	4,026	4,999	5,649	5,925	5,808	5,307

Таблица А14 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M , находящейся на расстоянии $1/3R$ от режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 3$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 18^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	3,181	2,258	1,593	1,2	1,349	1,938	2,811	3,735	4,462	4,799	4,655	4,068
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,556	0,774	0,785	0,586	0,231	-0,186	-0,554	-0,773	-0,786	-0,589	-0,234	0,183
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-1,8	-1,56	-0,902	-0,001	0,895	1,556	1,8	1,564	0,909	0,012	-0,888	-1,551
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	3,697	2,851	1,944	1,336	1,635	2,492	3,384	4,122	4,621	4,835	4,745	4,358

Таблица А15 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 4$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	4,215	2,286	0,816	0,196	0,593	1,9	3,768	5,699	7,175	7,803	7,415	6,114
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,661	1,19	1,401	1,238	0,744	0,051	-0,655	-1,186	-1,4	-1,24	-0,749	-0,057
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-3,939	-3,413	-1,975	-0,001	1,959	3,404	3,939	3,422	1,99	0,026	-1,944	-3,395
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	5,807	4,277	2,555	1,253	2,178	3,899	5,491	6,752	7,576	7,901	7,702	6,994

Таблица А16 – Расчетные данные для построения вектора абсолютной скорости произвольной точки M , находящейся на расстоянии $1/3R$ от режущей кромки дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны при $V_n = 4$ м/сек, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $R = 0,28$ м, $k = 0,223$ м, $\psi_4 = 12,127^\circ$

Наименование параметра	Угол поворота ωt , град											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Проекция скорости на ось OX V_x , м/с	4,135	2,919	1,991	1,6	1,851	2,675	3,854	5,072	6,003	6,399	6,154	5,334
Проекция скорости на ось OY V_y , м/с	0,417	0,75	0,884	0,781	0,469	0,032	-0,413	-0,748	-0,884	-0,783	-0,473	-0,036
Проекция скорости на ось OZ V_z , м/с	-2,485	-2,153	-1,246	-0,001	1,236	2,148	2,485	2,159	1,255	0,017	-1,227	-2,142
Абсолютное значение скорости V_a , м/с	4,843	3,704	2,51	1,781	2,274	3,431	4,604	5,562	6,196	6,447	6,293	5,748

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты исследования микрорельефа почвы на учетной деланки

Таблица Б1 – Результаты исследования микрорельефа почвы на учетной делянке

Точки измерений, см																																Сумма	Среднее значение	
Продольный профиль	Поперечный профиль																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
1	9,8	13,3	9,5	14,2	9,6	9,4	8,3	9,5	9	12,5	13,7	12,4	12,1	10,7	8,7	10,8	10,9	7,7	10,5	11,8	8,2	11,5	15,3	9,7	11,7	13,3	14,3	10,1	11,9	13,2	12,5	13,4	359,5	11,2
2	12,8	11,3	10,9	14,2	11,7	9,8	10,5	9,6	10,5	12,2	12,7	12,1	13,3	10,6	11,7	6,6	9,8	11,8	11,9	12,7	8,8	12,6	12,2	10,6	11,7	12,3	14,8	12,1	15,7	12,7	9,2	11,2	370,6	11,6
3	12,2	9,6	11,8	12,7	12,5	13,3	10,2	12	8	9,4	11,1	11,4	10,2	10,7	13,3	11	9,5	12,2	12,1	10,4	12,4	15	12,3	12,9	12,2	11,7	11,4	13,1	12,3	10,4	12,9	11,3	371,5	11,6
4	12,3	11,2	11	15	8	20,6	11,5	11,5	11,1	10,9	10,7	9,7	13,6	12,9	9,4	9,6	12,4	8,9	11,4	12,3	10,5	10,9	11,1	11,3	11,1	10,9	11,8	9,9	12	11,5	11,8	11	367,8	11,5
5	11,4	12,8	11,6	11,7	15,7	14,7	10,6	11,9	12,6	10,5	12,4	12,2	11,3	9,5	12,7	12,8	11,1	11,8	12,4	10,6	11,1	11,7	12,4	10,8	10,1	11,8	9,4	13,5	12,5	10,3	11,6	11,9	377,4	11,8
6	10,1	13,5	12	13,4	12,4	7,7	11,6	6,6	11,3	11,7	12,2	10,2	12,6	11,2	9,9	14,2	12,8	10,6	10,5	10,7	13,6	14	8,5	13,1	9,4	13,1	11,4	13,2	12	14,1	11,9	11,7	371,2	11,6
7	10,7	10,4	12,1	14	12,1	14,7	6,2	11	15,9	14,7	8,7	12,7	9,4	12,1	11,4	10,3	10,2	11,5	7,2	12,7	9,5	12,8	13,1	11,9	12,8	12,1	11,5	9,9	12,6	7,7	12,3	14,2	368,4	11,5
8	12,8	13,2	12,1	13,1	10,8	11,6	12,8	9,7	11,7	8,4	13,9	9,2	10,7	11,1	11,4	10,1	12,4	13,1	10,5	9,6	12,5	7,9	11,5	11,1	10,9	11,5	12,2	11	12,4	9,8	13,1	10,9	363	11,3
9	9,6	13,3	12,6	9,7	9,3	9,6	10,1	12,8	11,3	10,8	14,4	12,8	9,8	8,9	11,6	12	13,6	10,8	10,4	12,1	11,3	13,6	12,1	12,1	13,9	9	9,8	8,4	10,4	10,2	13,1	12	361,4	11,3
10	13,3	11	12,5	13,3	12,1	11,7	10,3	12,4	10,1	11,9	7,1	13,1	12,3	9,1	10,7	11,3	12,4	13,2	11,7	12,5	9,5	10	10,9	9,7	12,2	10,8	16,6	7,8	13,5	17,1	12,7	7	369,8	11,6
Сумма	115	119,6	116,1	131,3	114,2	123,1	102,1	107	111,5	113	116,9	115,8	115,3	106,8	110,8	108,7	115,1	111,6	108,6	115,4	107,4	120	119,4	113,2	116,6	116,5	123,2	109	125,3	117	121,1	114,6	3680,6	115
Среднее значение	11,5	12	11,6	13,1	11,4	12,3	10,2	10,7	11,2	11,3	11,7	11,6	11,5	10,7	11,1	10,9	11,5	11,2	10,9	11,5	10,7	12	11,9	11,3	11,6	11,7	12,3	10,9	12,5	11,7	12,1	11,5		

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Патенты

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **138 453**⁽¹³⁾ **U1**

(51) МПК
A01B 21/08 (2006.01)
A01B 7/00 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013138242/13, 15.08.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.08.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.08.2013

(45) Опубликовано: 20.03.2014 Бюл. № 8

Адрес для переписки:

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,
Кубанский ГАУ, отдел науки

(72) Автор(ы):

Трубилин Евгений Иванович (RU),
Сохт Казбек Аюбович (RU),
Коновалов Владимир Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Кубанский
государственный аграрный университет"
(RU)

(54) РАБОЧИЙ ОРГАН ДИСКОВОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ

(57) Формула полезной модели

Рабочий орган почвообрабатывающего орудия с подшипниковым узлом, стойкой и диском, снабженный с внутренней стороны его поверхности по центру кольцом, уменьшающимся по толщине от центра к периферии и плавно сопрягаемым с внутренней поверхностью диска, отличающийся тем, что диск и кольцо имеют прорезы, образующие сквозное пространство и совпадающие по форме и размерам.

RU 138453 U1

RU 138453 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **152 563** (13) **U1**(51) МПК
A01B 21/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014146819/13, 20.11.2014	(72) Автор(ы): Трубилин Евгений Иванович (RU), Сохт Казбек Аюбович (RU), Коновалов Владимир Иванович (RU)
(24) Дата начала отчета срока действия патента: 20.11.2014	(73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (RU)
Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 20.11.2014	
(45) Опубликовано: 10.06.2015 Бюл. № 16	
Адрес для переписки: 350044, г. Краснодар, ул. Калинин, 13, Кубанский ГАУ, отдел науки	

(54) РАБОЧИЙ ОРГАН ДИСКОВОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ

(57) Формула полезной модели

1. Рабочий орган почвообрабатывающего орудия с подшипниковым узлом, стойкой и диском, имеющим прорези, отличающийся тем, что диск выполнен из листового материала, а его поверхность имеет переменную кривизну.
2. Рабочий орган по п.1, отличающийся тем, что диск в центральной части имеет плоское дно и отверстия для установки и крепления подшипникового узла.
3. Рабочий орган по п.1, отличающийся тем, что между диском и подшипниковым узлом установлен дополнительный элемент, который внешним контуром повторяет поверхность диска и имеет прорези, совпадающие по форме и размерам с прорезями диска и образующие эквизное пространство, а внутренний контур имеет посадочное место, например плоское дно, для крепления подшипникового узла при помощи установочных и крепежных отверстий.

RU 152563 U1

RU 152563 U1

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акты внедрения

УТВЕРЖДАЮ

Глава КФХ «Горбуново»

В. К. Горбунов

« 10 » июля 2019 г.



АКТ

производственной проверки в КФХ «Горбуново» Кавказского района Краснодарского края технологии обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны по теме кандидатской диссертации Коновалова Владимира Ивановича «Обоснование конструктивных параметров и режимов работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны»

В КФХ «Горбуново» Кавказского района Краснодарского края с 28 июля по 2 июля 2019 года была проведена производственная проверка эффективности дискования стерни озимой пшеницы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны.

Комиссия в составе главы КФХ Горбунова Виктора Кузьмича, механика Игумнова Евгения Александровича, механизатора Бирюкова Сергея Владимировича и соискателя Коновалова Владимира Ивановича провели производственные испытания на поле площадью 75 га, после посевов озимой пшеницы сорта Таня.

Дисковые рабочие органы с изменяющимся радиусом кривизны устанавливались вместо стандартных сферических на дисковую борону БДМ-4×4, агрегатированной с трактором МТЗ-3522. Опытный агрегат работал на скоростях в диапазоне 9-11 км/ч, углом атаки 18,1 град, углом установки дисков к вертикали 10 град, а диски имели интенсивность изменения кривизны 935 мм/об. По результатам работы отмечается следующее: при работе дисковых рабочих органов с изменяющимся радиусом кривизны технологический процесс протекал устойчиво и надежно, степень крошения почвы повышается, а расход топлива снижается. Поломок и забивание рабочих органов не установлено. Экономия совокупных затрат на обрабатываемом участке составила 9,5% по сравнению с работой стандартных сферических дисков.

Таким образом, предлагаемые дисковые рабочие органы с изменяющимся радиусом кривизны рекомендованы к использованию при проведении дискования стерни озимой пшеницы.

Подписи членов комиссии:

Механик
Механизатор
Соискатель

Е. А. Игумнов
С. В. Бирюков
В. И. Коновалов



УТВЕРЖДАЮ
Директор учхоза «КУБАНЬ»
ФГБОУ ВО Кубанского ГАУ
Т. В. Логойда
16 июля 2019 г.

АКТ

производственной проверки в учхозе «КУБАНЬ» Кубанского ГАУ технологии обработки почвы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны по теме кандидатской диссертации Коновалова Владимира Ивановича «Конструктивные параметры и режимы работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны»

Комиссия в составе, главного инженера учхоза «КУБАНЬ» Кубанского ГАУ Кравченко Виктора Валерьевича, главного агронома Матирного Алексея Николаевича, механизатора Хомутова Павла Васильевича, д.т.н., профессора Трубилина Евгения Ивановича и соискателя Коновалова Владимира Ивановича составили акт на предмет производственной проверки эффективности дискования стерни озимой пшеницы дисковыми рабочими органами с изменяющимся радиусом кривизны.

Производственные испытания проведены 01 июля 2019 года на поле №4.1 после уборки озимой пшеницы.

Состав агрегата Г-150К+БДМ-4×4П. При работе использовались следующие технологические и конструктивные параметры: угол атаки 18 град., угол установки к вертикали 10 град, скорость движения 9-10 км/ч, интенсивность изменения кривизны 935 мм/об. Технологический процесс протекал устойчиво, дисковые рабочие органы с изменяющимся радиусом кривизны показали надежность и безопасность в работе, наблюдалось более интенсивное крошение почвы и снижение расхода топлива около 6,5 %. Отмечается, что приведенные затраты на данном участке снизились на 7% по сравнению с работой стандартных сферических дисков.

Таким образом, предлагаемые дисковые рабочие органы с изменяющимся радиусом кривизны можно рекомендовать к использованию при проведении дисковании стерни озимых колосовых культур.

Подписи членов комиссии:

Главный инженер
Главный агроном
Механизатор
д-р., тех. наук, профессор
Соискатель

В. В. Кравченко
А. Н. Матирный
П. В. Хомутов
Е. И. Трубилин
В. И. Коновалов

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

ФГБОУ ВО Кубанского ГАУ

канд. т. наук, доцент

 А. В. Петух

« 01 » _____ 2020 г.



АКТ

об использовании в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» результатов научно-исследовательской работы Коновалова Владимира Ивановича

Комиссия в составе: председателя заместителя декана факультета механизации по учебной части, к.т.н., доцента Самурганова Евгения Ерманекосовича, заместителя заведующего кафедрой «Процессы и машины в агробизнесе», к.т.н., доцента Папуша Сергея Константиновича и профессора кафедры «Процессы и машины в агробизнесе», д.т.н., старшего научного сотрудника Сохт Казбека Аюбовича, рассмотрела результаты научно-исследовательской работы Коновалова В. И., выполненной на тему «Конструктивные параметры и режимы работы дискового рабочего органа с изменяющимся радиусом кривизны» и возможность их использования в учебном процессе.

Комиссия установила, что результаты научно-исследовательской работы Коновалова В. И. могут быть использованы на факультетах механизации, агрономии и экологии, агрохимии и защиты растений, плодоовощеводства и виноградарства при проведении практических и лабораторных занятий, прохождении учебной практики и выполнении выпускных квалификационных работ обучающимися университета. Разработки автора представлены в следующих литературных источниках с долей участия автора 28 процентов:

1. Сохт К.А. Дисковые бороны и луцильники. Проектирование технологических параметров: учеб. пособие / К.А. Сохт, Е.И. Трубилин, В.И. Коновалов. – Краснодар: КубГАУ, 2014 – 164 стр. Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по агроинженерному образованию в качестве учебного пособия для студентов

высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия».

2. Сохт К. А. Статистические методы исследований процессов и машин в агробизнесе : учеб. пособие / К. А. Сохт, Е. И. Трубилин, В. И. Коновалов. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 217 с. ISBN 978-5-94672-998-7.

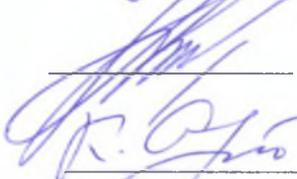
3. Сохт К. А. Структура почвы. Технологии и техника. Проблемы и решения : учеб. пособие / К. А. Сохт, Е. И. Трубилин, В. И. Коновалов. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 116 с. ISBN 978-5-00097-658-6.

Подписи членов комиссии:

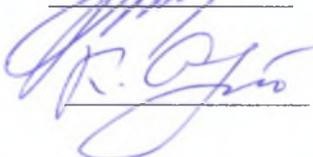
Председатель комиссии, зам. декана
факультета механизации, к.т.н., доцент


_____ Е. Е. Самурганов

Зам. зав. кафедрой ПриМА, к.т.н., доцент


_____ С. К. Папуша

Д-р. техн. наук, профессор


_____ К. А. Сохт