

ФГБОУ ВО "Казанский государственный аграрный университет"

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе

Направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия

Магистерская программа: Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистерская диссертация)

**Тема: ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ КОМБИНИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ
ОРГАНАМИ**

Студент магистратуры _____ Юнусов Д.А.

Научный руководитель,
к.т.н., доцент _____ Халиуллин Д.Т.

Рецензент
д.т.н., профессор _____ Семушкин Н.И.

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите
(Протокол № 15 от 18 июня 2018 г.)

И.о. заведующего кафедрой машин и оборудования
в агробизнесе _____ Халиуллин Д.Т.

Казань - 2018 г.

АННОТАЦИЯ

К выпускной квалификационной работе (магистерской диссертации) Юнусова Динара Агъзамовича на тему: «Исследование технологического процесса обработки почвы комбинированными рабочими органами»

Диссертация состоит из пояснительной записки на 76 страницах машинописного текста. Записка состоит из введения, пяти разделов, выводов и включает 30 рисунков, 6 таблиц и 52 формулы. Список использованной литературы содержит 30 наименований.

В первой главе «СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ» проведен литературно-патентный анализ технологий и конструкций рабочих органов для основной и глубокой обработки почвы. Обозначены цель и задачи исследования.

Во второй главе выполнен анализ выполненных исследований рыхления почвенного пласта, обоснованы технологическая схема и параметры обработки почвы комбинированным рабочим органом. Разработана конструктивно-технологическая схема комбинированного рабочего органа.

В третьей главе приведены программа и методики исследований основных физико-механических характеристик обрабатываемой почвы. Представлена методика обработки результатов экспериментальных исследований и оценка погрешности измерений.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований.

В пятой главе представлен расчет экономической эффективности применения плуга с разработанными рабочими органами.

Записка завершается общими выводами по работе и списком использованных литературных источников.

ABSTRACT

To the final qualifying work (master's thesis) of Yunusov Dinar Agzamovich on the topic: "Study of the technological process of soil treatment by combined working bodies»

The thesis consists of an explanatory note on 76 pages of typewritten text. The note consists of an introduction, five sections, conclusions and includes 30 figures, 6 tables and 52 formulas. The list of references contains 30 titles.

In the first Chapter "STATE of the ART, PURPOSE and OBJECTIVES of the STUDY" a literary and patent analysis of technologies and structures of working bodies for the main and deep soil treatment. The purpose and objectives of the study are indicated.

In the second Chapter, the analysis of the performed studies of loosening of the soil layer is performed, the technological scheme and parameters of soil treatment by the combined working body are justified. The design and technological scheme of the combined working body is developed.

The third Chapter presents the program and methods of research of the main physical and mechanical characteristics of the treated soil. The method of processing the results of experimental studies and evaluation of measurement error is presented.

The fourth Chapter presents the results of experimental studies.

The fifth Chapter presents the calculation of the economic efficiency of the plow with the developed working bodies.

The note concludes with General conclusions on the work and a list of references.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
1.1 Технологическое обоснование выбора орудия и рабочих органов для основной глубокой обработки почвы.....	9
1.2 Анализ конструкций и классификация рабочих органов для основной глубокой обработки почвы.....	11
1.3 Выводы. Цель и задачи исследования.....	32
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОБОСНОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ КОМБИНИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ	36
2.1 Способы механического воздействия на почву	36
2.2 Обзор теорий рыхления почвенного пласта	35
2.3 Анализ возможных комбинаций отвальной и безотвальной технологий основной обработки почвы.....	
2.4 Обоснование технологической схемы и параметров обработки почвы комбинированным рабочим органом	
2.5 Разработка комбинированного рабочего органа	
2.6 Выводы по разделу.....	
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	45
3.1 Программа экспериментальных исследований	45
3.2 Методика проведения экспериментальных исследований	45
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	54
4.1 Результаты многофакторного эксперимента	54
4.2 Результаты экспериментальных исследований энергетических показателей.....	
4.3 Выводы по разделу	
5 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛУГА С РАЗРАБОТАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ.....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	73
ПРИЛОЖЕНИЯ	77

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Главной задачей обработки почвы в современном земледелии ставится применение ресурсосберегающих технологий для сохранения и повышения ее плодородия. Наиболее трудоемким считается процесс отвальной вспашки, поэтому его часто заменяют дискованием и культивацией, выбирая менее энергоемкую технологию обработки почвы. В результате этого, при работе орудий не по всей глубине пахотного горизонта, в нем происходит переуплотнение нижележащих (незатронутых) слоев. Впоследствии нарушается водновоздушный режим корнеобитаемого слоя, где произрастают культурные растения, осложняя условия для нормальной жизнеспособности почвообразующих микроорганизмов. Все это, в комплексе, приводит к снижению плодородия почвы, засоренности посевных площадей и сокращению урожайности сельскохозяйственных культур.

При выполнении операции отвальной вспашки несколько улучшается плодородие почвы, накапливаются и в последующем сохраняются запасы влаги. Благодаря обороту почвенного пласта осуществляется заделка пожнивных остатков и снижается засоренность полей. Но при глубокой обработке с оборотом раскрошенного пахотного слоя, происходит перемешивание слоев почвы, что является недостатком данной технологии.

Применение чизельной обработки, позволяет сохранить послойное расположение почвы, предотвращая эрозионные процессы и способствуя накоплению в ней гумуса. Но в этом случае происходит засорение полей и невозможно внесение органических удобрений.

В случае объединения чизелевания и отвальной вспашки в одну технологическую операцию, соблюдая агротехнические требования, появляется возможность повышения качества и эффективности глубокой обработки почвы.

Степень разработанности темы. Разработкой новых рабочих органов

для основной обработки почвы и исследованием существующих конструкций занимались многие ученые: Бойков В.М., Борисенко И.Б., Василенко П.М., Ветохин В.И., Виноградов В.И., Горячкин В.П., Гуреев И.И., Гячев Л.В., Желиговский В.А., Князев А.А., Кушнарев А.С., Листопад Г.Е., Мацепуро М.Е., Панов И.М., Путрин А.С., Пындак В.И., Рыков В.Б., Саакян Д.Н., Саун В.А., Синеоков Г.Н., Спирин А.П., Старцев С.В., Токушев Ж.Е., Труфанов В.В., и многие другие.

Многие из предлагаемых рабочих органов обладают рядом недостатков, связанных с большой конструкционной сложностью, металлоемкостью, ограниченностью климатических зон их применения, либо не имеют возможности работать по классической схеме.

Нами предлагается энергосберегающий технологический процесс глубокой обработки почвы и комбинированный рабочий орган для его выполнения.

Цель исследований: повышение эксплуатационно-технологических показателей почвообрабатывающего агрегата за счет совершенствования технологического процесса глубокой обработки почвы и разработки комбинированного рабочего органа.

Задачи:

1. Провести анализ возможных комбинаций объединения чизельной и отвальной технологий глубокой обработки почвы;
2. Усовершенствовать технологический процесс глубокой обработки почвы и разработать комбинированный рабочий орган;
3. Обосновать конструктивную схему комбинированного рабочего органа для глубокой обработки почвы.
4. Провести экспериментальные исследования усовершенствованного технологического процесса глубокой обработки почвы.
5. Исследовать эффективность использования плуга с комбинированными рабочими органами.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования

проводились на основе методов оптимизации, планирования факторного эксперимента, методик определения физико-механических характеристик почвы, силовых воздействий на рабочий орган. Обработка результатов экспериментальных исследований и оценка погрешностей проводились на ЭВМ с соответствующим программным обеспечением.

Положения, выносимые на защиту:

1. Усовершенствованный технологический процесс глубокой обработки почвы;
2. Конструктивно-технологическая схема комбинированного рабочего органа;
3. Результаты экспериментальных исследований.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно СТО АИСТ 001–2010 «Обработка почвы – Воздействие на почву рабочими органами машин и орудий с целью улучшения почвенных условий жизни сельскохозяйственных культур и уничтожения сорняков».

Основными задачами обработки почвы является обеспечение оптимальных условий роста и развития с.х. культур. Правильная и своевременная механическая обработка почвы, изменяя физическое состояние обрабатываемого слоя, соотношение между объемами капиллярных и некапиллярных промежутков, оказывает кардинальное воздействие на водный, воздушный, тепловой, питательный режимы почвы, на динамику физико-химических и биологических процессов как в пахотном, так и в значительной части подпахотного корнеобитаемого слоя. Разрых- ленная почва лучше пропускает воду и воздух атмосферы не только в пахотный, но и в более глубокие ее слои, способствуя мощному развитию корней, проникновению их в нижележащие горизонты. Выбор необходимой технологии благотворно влияет на режимы почвы, ее биохимическую активность, сказываясь на факторах роста и развитии растений, увеличивая и ускоряя биологический круговорот их элементов питания, повышая энергетику почвообразования [47].

Применяемые модели обработок почвы базовых технологий для Волгоградской области сведены в Технологический адаптер моделей «Обработка почвы» [78]. Условия применения, технологические требования, требуемые технические средства для выполняемого технологического процесса приведены в адаптере машинных технологических процессов "Обработка почвы".

1.1 Технологическое обоснование выбора орудия и рабочих органов для основной глубокой обработки почвы

В условиях, когда нет возможности применения высоких доз органических и минеральных удобрений, главная задача современного земледелия-интенсивно использовать, поддерживать и окультурировать существующий корнеобитаемый слой, существенно улучшая водный режим и, как следствие, физические свойства пахотного слоя.

Плодородие почвы определяется состоянием почвенных процессов, направленных на удовлетворение потребности растений элементами питания, водой и воздухом. Исходя из этого определения, плодородная почва должна содержать элементы питания в доступных растениям формах и количестве, полностью обеспечивающем их потребность: иметь достаточный запас доступной растениям влаги, содержать кислород в объеме, необходимом для нормальной деятельности микроорганизмов и корней растений.

Механическая обработка почвы, как важнейший элемент системы агротехнических мероприятий, формирует в ней наиболее благоприятные для произрастания условия: заделывая органические и минеральные удобрения в различные по глубине части пахотного слоя или изменяя интенсивность микробиологических процессов, варьируя способами обработки почвы, обеспечивает наиболее оптимальные условия минерального питания [7].

Нижнее Поволжье обладает резко континентальным, засушливым климатом. Зимние и летние периоды сопровождаются непостоянством тепла и осадков по месяцам и годам, резкими переходами от зимы к весне, а затем к лету. Осадки, выпавшие за период апрель-октябрь, меньше в 2,5-5 раз среднегодового количества испарившейся воды за этот период. По этой причине, основным фактором, ограничивающим стабильное получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур, является недостаток влаги. В свою очередь, накопление и сохранение влаги в почве, использование её растениями зависит во многом от обработки [18].

В масштабах региона выбор оптимальной системы обработки почвы лежит в широком диапазоне всевозможных решений. Этот выбор помимо экологического разнообразия условий в большей мере определяется уровнем интенсификации производства. На принятие решений, помимо научных рекомендаций, которые не всегда и не везде имеют ясное объяснение и исчерпывающий характер, большое влияние оказывает местный опыт, традиции.

Тем не менее, вопросу выбора технологии обработки уделяется сегодня огромное внимание. Идут широкие дискуссии о преимуществах и недостатках отвальной и безотвальной, глубокой, мелкой, поверхностной обработок почвы и новой энергосберегающей технологии «прямого посева» (no-till). Целью, которую преследуют различные технологии обработки почвы, является изменение её плотности, определяющей условия развития почвенной биоты, развития корневой системы выращиваемых на ней растений, накопление и сохранение почвенной влаги.

По глубине равновесной плотности пахотного горизонта все почвы делятся на 4 вида, имея возможность нахождения в одном из вариантов состояния. Определить способ и глубину обработки можно по сложению плотности почвы по горизонту [66].

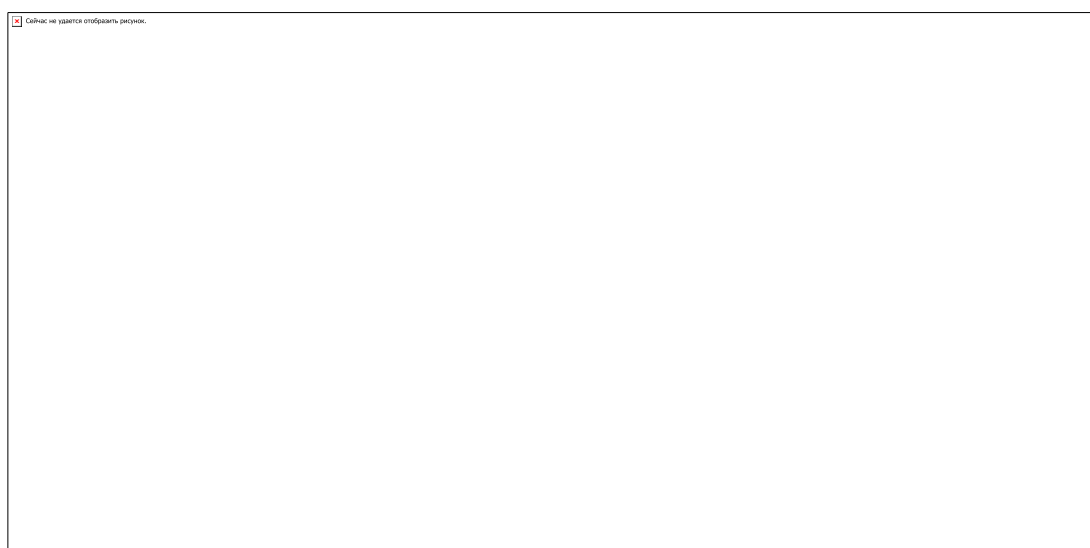


Рисунок 1.1 – Типичные распределения почв по глубине

По первому варианту, в обрабатываемом слое плотность почвы выше оптимальной (рисунок 1.1-1). На почвах с таким пахотным слоем необходимо применять отвальные или безотвальные орудия для сплошной обработки с рыхлением подпахотных горизонтов для того, чтобы уменьшить плотность и тем самым вовлекая их в производство урожая сельскохозяйственных культур.

В варианте 2 – плотность почвы находится в оптимальном состоянии как в обрабатываемом, так и в подпахотном слое (рисунок 1.1-2). Технологии обработки данных почв направлены не на механическое воздействие, а лишь на борьбу с болезнями, вредителями и сорняками. При таком распределении плотности должна использоваться технология no-till.

В варианте 3 – переуплотнен только верхний слой почвы, а нижележащий находится в состоянии оптимальной плотности (рисунок 1.1-3). Такое распределение плотности обычно является результатом техногенного воздействия на верхний слой (уплотнения ходовой системой обрабатывающей техники, большими нормами полива и распыления верхнего слоя почвообрабатывающими орудиями). Данные обстоятельства необходимо учитывать при подборе культур в севообороте.

На таких полях до оптимальной плотности доводится только верхний переуплотненный слой. Глубина обработки устанавливается в зависимости от величины уплотненного слоя, с применением поверхностной и минимальной обработок почвы.

По варианту 4 – в состоянии оптимальной плотности находится верхняя часть пахотного горизонта, а нижней его части требуется доведение уплотненного слоя почвы до состояния оптимальной плотности (рисунок 1.1-4). Основное механическое воздействие необходимо совершать не на весь пахотный, а на нижележащий уплотненный слой. Данная операция осуществляется с помощью чизельных рыхлителей. Данному распределению плотности по глубине предрасположены каштановые (темные и светлые) почвы.

Способ и глубина обработки в данной ситуации определяется сложением плотности почвы по ее горизонту и глубине. Наука рекомендует машинные технологии формировать с учетом критерия различия и последствия технологического процесса, как в севообороте, так и в учете сортовой технологии, т.е. во времени и пространстве.

Изучение влияния плотности почвы на ее плодородие показало, что оптимум для большинства сельскохозяйственных культур на различных почвах находится в пределах $1,1-1,3 \text{ г/см}^3$. Оптимальная плотность должна быть дифференцированной по глубине пахотного слоя: сверху рыхлой до 5-7 см для яровых и озимых колосовых зерновых культур, а для крупносемянных (кукурузы, гороха, подсолнечника) до 7-10 см с плотностью этих слоев $0,98-1,04 \text{ г/см}^3$, твердостью $0,8-1,3 \text{ кг/см}^2$ и общей пористостью 60-63%. Ниже разрыхленных слоев для кукурузы и гороха оптимальная плотность составляет $0,9-1,1 \text{ г/см}^3$; яровых колосовых (ячменя, яровой пшеницы) $1,0-1,2 \text{ г/см}^3$; озимых (пшеница, рожь) $1,1-1,3 \text{ г/см}^3$ при общей пористости этих слоев соответственно равной 58-62; 51-58; 54-61% [54].

При уплотнении почвы нарушается ее воздухообмен, в 1,2-1,6 раза снижается выделение двуокси углерода. С увеличением плотности почвы от $1,25$ до $1,40 \text{ г/см}^3$ уменьшается суточный прирост сухого вещества в 1,5-2 раза, а поступление в растение азота – в 1,5-1,7 раза. Фенологические и биометрические наблюдения фазы выхода в трубку показывают, что на участках с плотностью почвы выше $1,35 \text{ г/см}^3$, а при внесении азотных удобрений более 100 кг/га растения приобретают признаки недостатка азота, проявляющиеся в светло-зеленой окраске листьев.

Философия биосферного мышления выделяет ведущее значение биологической активности почв в формировании и деятельности биосферы. Поэтому сегодня для многих ученых-аграриев биологическая активность почвы является важнейшей ее характеристикой. Увеличение плотности до $1,35...1,40 \text{ г/см}^3$ ведет к снижению скорости разложения растительных остатков на 38...40% и, как следствие, к снижению биологической её

активности и вытекающими из этого последствиями развития биоагроценоза. Данные многих экспериментальных исследований показывают, что при увеличении плотности почвы от оптимальной на $0,1 \dots 0,3 \text{ г/см}^3$, приводит к потере урожая от 20 до 40%.

Оптимальные агрофизические параметры пахотного слоя можно придать и в дальнейшем регулировать с помощью систем зяблевой и предпосевной обработок. При полевых работах в весенний период, осуществлять поверхностную обработку комбинированными агрегатами с совмещением посева сельскохозяйственных культур, т.к. при глубокой обработке нарушается требуемое сложение пахотного слоя, что приводит к увеличению испаряющейся воды и ухудшению почвенных условий для растений.

Но наряду с агрофизическими свойствами почвы, также необходимо учитывать факторы воздействия различных обработок на пищевой, водный режим, и засоренность полей. Накопление осенне-зимних осадков основной обработки почвы в определенной степени можно регулировать способами и глубиной обработки [23, 78]. Глубина обработки способствует большему накоплению влаги на оструктуренных малоглинистых почвах. Влияние способа обработки на сохранение весенних осадков зависит от степени облесенности полей. При хорошей развитости лесополос, благодаря которым снег не сносится ветрами и располагается равномерно, весенних запасов воды остается больше на вспашке с предварительным лущением жнивья, чем после безотвальной и мелкой обработок. На полях с небольшим и неустойчивым снежным покровом при глубоком чизелевании почвы увеличивается снегонакопление, водные запасы в метровом слое больше на 12-20 мм по сравнению с отвальной вспашкой [7].

Сохранение и расположение в верхнем слое почвы пожнивных и корневищных остатков способствуют разложению их не во всем пахотном горизонте, а в поверхностном, где происходит активация потенциального плодородия почвы. Стерня и пожнивные остатки создают благоприятные

условия для накопления осенне-зимних осадков, исключают ветровую эрозию почвы, способствуют накоплению почвенной влаги. Однако, при плохом фитосанитарном состоянии полей с постоянной безотвальной либо «нулевой» обработкой, увеличивается засоренность полей, требуя повышенных затрат на средства химической защиты, что не наблюдается при отвальной вспашке [106]. При обороте почвенного пласта питательные элементы растений распределяются равномерно в пахотном слое, а при безотвальной технологии обработки почвы значительная их часть содержится в верхнем слое до 0,1 м, что в целом улучшает питание фтором и калием всходов растений.

К сожалению, в последнее время забыли о таком эффективном агроприеме как щелевание. Этот способ обработки способствует накоплению осенне-зимних осадков, снижает повреждение от притертой ледяной корки озимых культур и повышает аэрацию почвы под многолетними травами [112].

Обобщение результатов научных учреждений позволяет сделать определенные выводы и рекомендации по вопросам глубокой обработки почвы традиционными орудиями в регионе:

Выбор способов и глубины обработки почвы определяется агрофизическим состоянием пахотного слоя.

- Вспашка – эффективный прием для заделки органики и сорной растительности, учитывая послойное расположение микроаргонизмов и энергетические затраты на перемещение почвы, наиболее рациональная величина оборота пласта 10-15 см.
- Наилучшие условия для произрастания растений создаются без оборота почвенного пласта, либо при его обороте на глубину не более 15 см задолго до посева (более 2-3 месяца).
- Безотвальное рыхление почвы на полях с небольшим, неустойчивым снежным покровом и подверженные ветровым нагрузкам, способствует увеличению снегонакопления, активизации потенциального

плодородия в поверхностном слое.

- Выбор рациональной основной осенней обработки почвы определяется с учетом конкретных условий каждого поля.

Необходимо также отметить, что при неумелом использовании в необоснованных количествах гербицидов, минеральных удобрений, инсектицидов и фунгицидов, заменяя тем самым механическую обработку, создается угроза заражения сельскохозяйственной продукции и окружающей среды химическими веществами, с непредсказуемыми последствиями для жизни людей.

Отличительные особенности механики взаимодействия долота от лемеха с почвой в сторону большего использования различия прочности почвы на сжатие и растяжение, увеличивает долю деформации растяжения пласта почвы в общем балансе деформаций, что и определяет преимущество чизеля от классического лемешного рабочего органа по энергетическим и качественным показателям обработки.

Так какой же из технологий основной обработки почвы целесообразнее воспользоваться: отвальным или безотвальным? Над этим вопросом работают многие отечественные и зарубежные ученые, предлагая различные решения поставленной задачи.

Если на выбор технологий основной обработки почвы смотреть с позиции ресурсосбережения, целесообразнее совмещать отвальный и безотвальный способы, выполняемых рабочими органами с комбинированными рабочими органами. Ведь при увеличении глубины отвальной вспашки плугом на 1 см повышает энергоемкость на 5...7 [61].

Так же, рассматривая основную обработку почвы с точки зрения агрономического аспекта, ее рациональнее выполнять по послойной технологии [1, 16, 28, 29, 57, 102, 108, 111, 113]. При данной технологии верхний плодородный пахотный слой подвергается отвальной вспашке, а нижележащий подвергаться объемному рыхлению без выноса на дневную поверхность.

Данная обработка позволяет совместить преимущества отвальной вспашки (заделка пожнивных остатков и удобрений, уничтожение сорняков), и безотвального рыхления (борьбы с водной эрозией, улучшения структуры почвы), в целом обеспечивая лучшую газо-водопроницаемость почвы.

Ввиду большого разнообразия особенностей рельефа, физико-механической структуры почвы и различных требований под конкретные культуры качества обработки почвы, применяют орудия с различными конструкциями и разными экономическими и качественными показателями.

Разрабатываемый комбинированный рабочий орган позволяет совместить предварительное рыхление с последующим поверхностным оборотом почвенного пласта, рассматривается с ресурсосберегающей и экологической позиции.

1.1.1 Технология отвальной обработки почвы

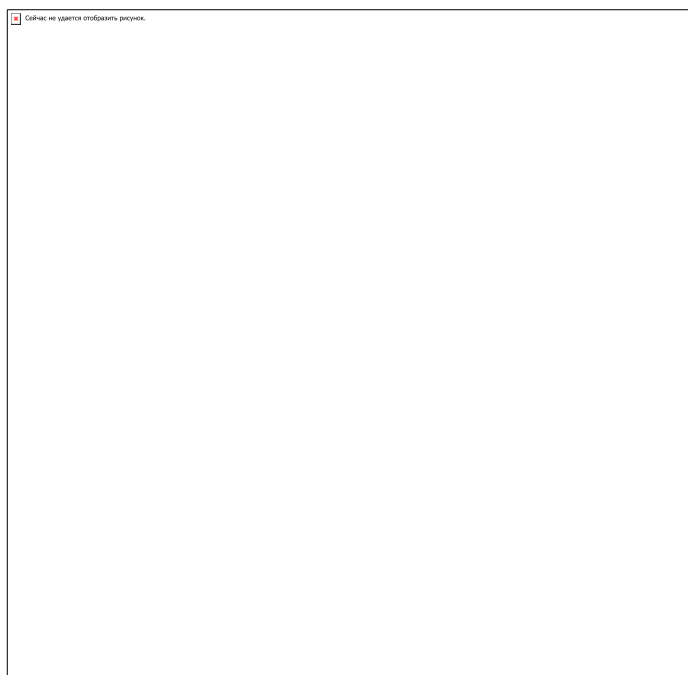
Для обработки почвы с оборотом, заделкой пожнивных остатков, заделкой на дно борозды органических и сидеральных удобрений и крошением пласта, используют технологию отвальной вспашки. Также, исключая биологическое и химическое воздействие, влияющее на экологию окружающей среды, оборот почвенного пласта способствует механическому уничтожению вредителей и сорняков культурных растений.

Благодаря использованию технологического процесса отвальной вспашки появляется возможность регулировать процессы жизнедеятельности микрофлоры и микрофауны, улучшить водно-воздушный и питательный режимы, поддержать и повысить плодородие с накоплением и сохранением запасов влаги. Но недостатком данной технологии обработки почвы является нарушение структуры почвы, обуславливаемое результатом оборота пахотного слоя[8, 24, 95, 99, 100, 107].

Обработку полей по технологии отвальной вспашки выполняют на

полях с уклоном не более 8° и высотой стерни не более 25 см. Отвальная вспашка применяется на различных по физико-механическому составу почвах. Твердость обрабатываемого слоя не должна превышать 4 МПа, влажность 15%-70% от полной полевой (до 28% абсолютной влажности), и удельным сопротивлением 0,04-0,1 МПа [24, 51, 61, 99]. Рекомендованные параметры площади обрабатываемого поля начинаются от 3 га с длиной гонов от 100 м, крошением с преобладанием фракций комков от 0,1 см до 5 см не менее 75%. Пожнивные остатки, удобрения и сорные растения должны быть заделаны на глубину не менее 12-15 см от поверхности пашни (с учетом вспушенности). Пожнивные и растительные остатки заделываются не менее чем на 97%, равномерность хода орудия по глубине не более ± 2 см, и ширине ± 10 %. Поверхность обработанного поля должна быть ровной, без огрехов, с высотой поверхностных гребней 3-5 см. Глубина обработки на почвах с малым гумусовым слоем составляет 12-20 см, а большим до 30 см [11].

На рисунке 1.2 показана схема выполнения технологического процесса отвальной обработки почвы.



а) вырезание пласта сечением $H \times B_n$, б) поворот вырезанного пласта сечением $H \times B_n$ на угол $\psi_1 = 90^\circ$; в) поворот этого пласта сечением $H \times B_n$ на угол $\psi_2 = 135-180^\circ$ вокруг точки O_2 ; H - глубина обработки почвы, B_n - ширина захвата отвального корпуса

Рисунок 1.2 – Схема технологического процесса основной отвальной обработки почвы

С целью снижения и сохранения водной и эрозионной устойчивости почвы, количество эрозионно-опасных частиц размером менее 0,1 см не должно увеличиваться, а вспашка выполняться поперек склонов с нарезкой на глубину до 15 см подпахотных борозд.

Освоение задернелых участков производят изменением взаимного расположения по вертикали верхних и нижних слоев на угол до 135°, называемый взметом. При культурной вспашке срезают и сбрасывают на дно борозды только верхнюю часть задеревенелого слоя. Применяя ярусную вспашку верхний перевернутый ярус укладывается на свое место, а последующие второй и третий меняются местами [4, 17, 92, 99, 115].

1.1.2 Технология безотвальной обработки почвы

В степных районах с недостаточным накоплением и сохранением влаги в почве, и на землях, где отчетливо проявляются эрозионные процессы, получила широкое применение технология безотвальной обработки почвы.

Применение безотвальной технологии обработки почвы защищает обрабатываемый слой от водной и ветровой эрозии за счет замены оборота почвенного пласта глубоким рыхлением с сохранением стерни.

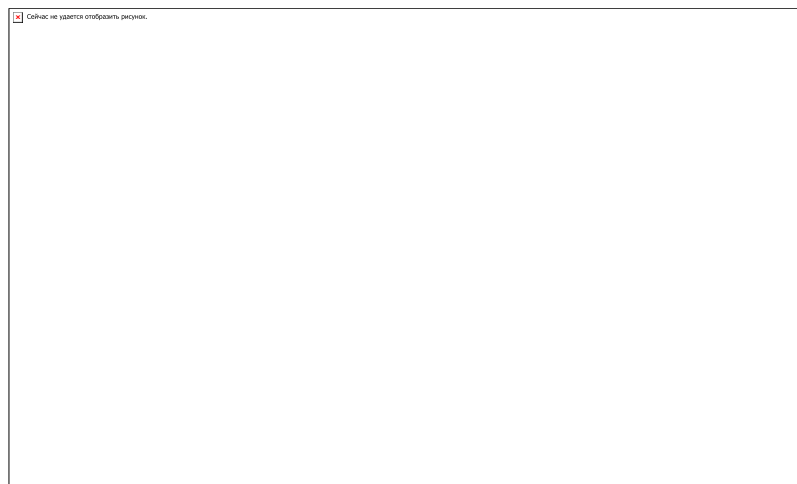
К преимуществам данной технологии относятся: сохранение структуры почвы, предотвращение эрозионных процессов, повышение накопления гумуса без нарушения естественного покрова поля при воздействии рабочих органов машин. Недостатками являются сложность борьбы с сорняками и проблема внесения органических удобрений.

Технология основной безотвальной обработки почвы производится по следующей схеме (рисунок 1.3).

Безотвальную обработку почвы выполняют с помощью плоскорезного рыхления с подрезанием корневищ сорняков, либо чизельным рыхлением,

при котором образуются неразрушенные гребни над дном борозды и разрыхленный слой над гребнями переуплотненной плоскости с недорезом пласта по ширине захвата [9, 12, 21, 22, 24, 27, 37, 67, 99, 100].

Стерня



Раскрошенная почва

а) вырезание основного пласта почвы сечением $n \times b_1$; б) крошение вырезанного пласта почвы сечением $n \times b_1$; n – глубина обработки; b_1 – ширина долотарыхлителя; $h_{ест}$ – величина вспушенности раскрошенного пласта; φ – угол обрушения почвы

Рисунок 1.3 – Схема технологического процесса основной безотвальной обработки почвы

Автором [81] выявлено различие агротехнических требований предъявляемых для конкретных почвообрабатывающих орудий. Тем самым становится непонятно, какие орудия для безотвальной обработки следует применять при выполнении базовых технологий в производстве сельскохозяйственных культур. Поэтому, рассматривая данный технологический процесс в агрономическом аспекте, становится ясно, что его необходимо совершенствовать применяя новые способы обработки почвы, повышая качество его выполнения.

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что показатели качества по агротехническим требованиям будут соответствовать при обрабатываемой влажности до 30% и твердости до 4 МПа. При выходе за пределы этих параметров работа отвальных и безотвальных

почвообрабатывающих орудий будет не соответствовать агротехническим требованиям.

1.2 Анализ конструкций и классификация рабочих органов для основной глубокой обработки почвы

Наиболее энергоемкой операцией в современной системе земледелия является основная обработка почвы. Но формирование будущего урожая определяется ее качественным и своевременным выполнением. Разнообразие современных способов обработки почвы варьирует от отвальной вспашки до прямого посева в необработанную почву. Некоторые способы представлены классификацией рабочих органов для основной обработки почвы в табличной форме на рисунке 1.4.

Обработка почв Среднего и Нижнего Поволжья, которые имеют свои особенности, подразумевает не только придание почве определенного физико-механического состава, борьбу с болезнями, вредителями и сорняками, но и предотвращение развития ветровой и водной эрозии почвы [89]. Но этим негативным воздействиям могут подвергаться в определенных условиях практически все почвы.

Создать рабочий орган и подойти к оптимальной схеме обработки почвы, обеспечивающей одновременно агротехнические требования и снижение энергетических затрат, возможно с помощью изучения взаимосвязей между рабочим органом и обрабатываемой почвой, анализа физической сущности происходящих в процессе основной обработки почвы явлений.

С каждым годом, рост разнообразия количества рабочих органов порождает путаницу в теоретическом и расчетном обосновании. В частности широкое внедрение приобретают орудия с модульными рабочими органами для послойной обработки почвы по различным технологиям.

Технологии основной обработки почвы (способы обработки)								
Отвальная обработка			Безотвальная		Фрезерование		Комбинированная	
Типы рабочих органов								
Общего назначения	Специальные	Для гладкой вспашки	Чизельные	Плоскорезные	Активные	Пассивные	Рабочие органы модульного типа	Многооперационные агрегаты
Корпус плуга: Культурный; Полувинтовой; Скоростной; Винтовой; Дисковый; Цилиндрический; С дисковым отвалом; Прутковый; Щелевой; С рыхлительными элементами; С дооборачивателем.	Корпуса плуга: Ярусного; Кустарниково-болотного; Плантажного; Виноградникового; Садового; Лесного; Мелиоративного; Для каменистых почв.	Корпус плуга: Линейного; Фронтального.	Рыхлитель чизельного плуга; Щелерез; Кротователь; Комбинированная рыхлительная лапа; Дисковая рыхлительная лапа; Лапа со шнекообразным рыхлителем; Щелекротователь; Рыхлитель с долотообразными рыхлительными элементами; Прутковая рыхлительная лапа.	Корпус для безотвальной вспашки; Плоскорезная лапа.	Рабочий орган ротационного плуга; Фрезерный рыхлитель; Фрезы для сплошной обработки почвы; Комбинированные фрезы.		Отвальный корпус с почвоуглубителем; Рабочий орган ПРУН; Рабочий орган ПБС; Рабочий орган РАНЧО; Предлагаемый рабочий орган.	Рядное расположение рабочих органов для выполнения различных операций.
Назначение операции								
1, 2, 3, 4, 6			1, 2, 3, 5		1, 3, 4		1,2,3,5	
1.	Уничтожение сорняков							
2.	Повышение плодородия							
3.	Придание почве определенных физико-механических свойств							
4.	Борьба с водной и ветровой эрозией							
5.	Измельчение растительных остатков, органических удобрений							
6.	Запашка растительных остатков и органических удобрений							

Таблица 1.4 – Классификация рабочих органов для основной обработки почвы

Представленная дополненная классификация по нашему мнению отражает последние изменения в конструировании рабочих органов для глубокой обработки почвы.

1.2.1 Орудия с модульными рабочими органами

Совершенствование отвальных орудий долгое время шло по пути совершенствования формы отвала. На долю отвала приходится 10-15% всех энергозатрат. Поэтому повышение требований к энергосбережению вызвало трансформацию лемешно-отвальных в менее энергоемкие долотоотвальные орудия.

Идея использовать преимущества долота и учесть форму стенки борозды отвала реализована в серийно выпускаемых орудиях в объединении «Кировский завод» (Санкт-Петербург) орудиях марки ПРУН - «Викинг», ПБС конструкции В.М. Бойкова (Саратов) и орудия серии ОЧО с рабочими органами РАНЧО (Волгоград, ООО «Энерготехмаш-Пром»).

Комплектация плугов ПРУН (рисунки 1.4-1.8).

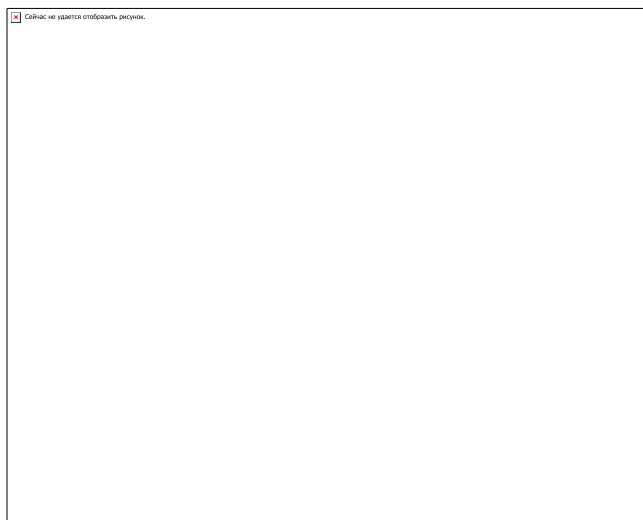


Рисунок 1.4 – ПРУН-8-45

Все варианты обработки почв способствуют разуплотнению подпахотного горизонта с разрушением «плужной подошвы», что способствует влагонакоплению в нижних слоях и водопроницаемости и

аэрации в верхних слоях почвы.

ВАРИАНТ 1. Рыхление или щелевание (рисунок 1.5).

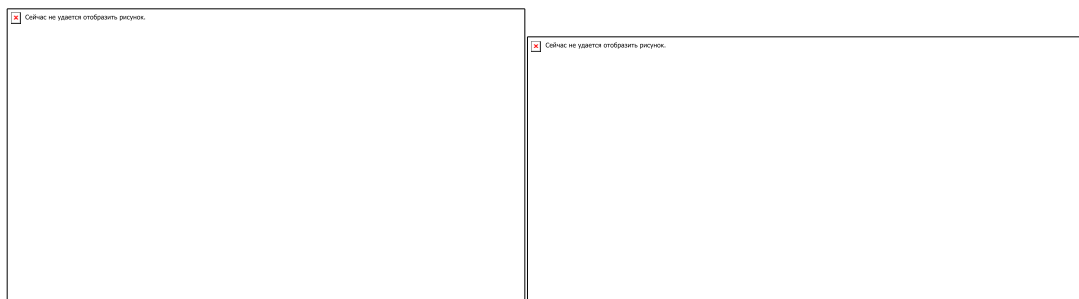


Рисунок 1.5 – Рыхление или щелевание

Безотвальное (чизельное) рыхление почвы углубляет пахотный горизонт на глубину 30...45 см. Вариант обеспечивает улучшение орошаемых, солонцовых и склоновых земель.

ВАРИАНТ 2. Мульчирование с рыхлением (рисунок 1.6).

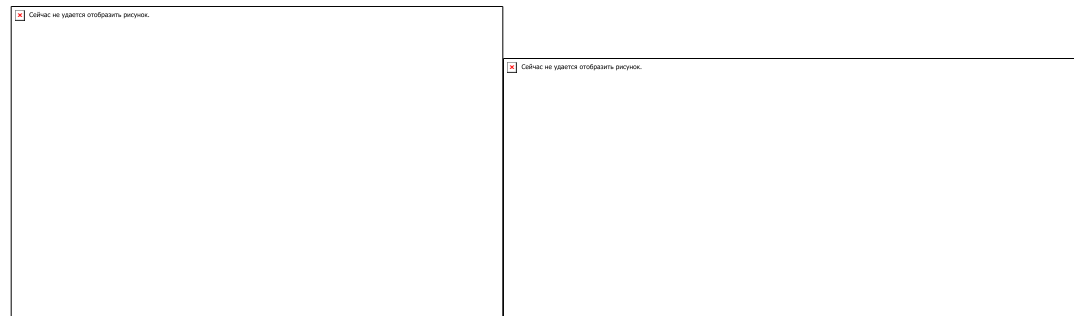


Рисунок 1.6 – Мульчирование с рыхлением

Комбинированная обработка незадернелых почв, с оборотом пласта на глубину 10...20 см и одновременным рыхлением на глубину 30...45 см.

Данный вариант наиболее предпочтителен при обработке почв под пропашные и овощные культуры, чистый пар.

ВАРИАНТ 3. Отвальная вспашка с рыхлением (рисунок 1.7).

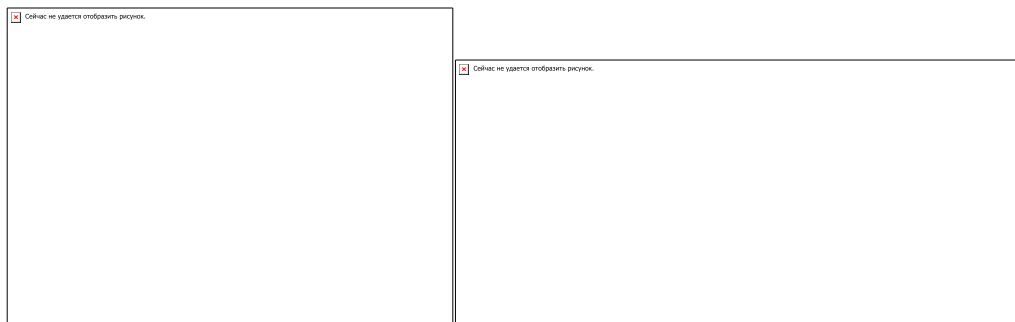


Рисунок 1.7 – Отвальная вспашка с рыхлением

Вспашка почв с оборотом пласта на глубину 25...45 см, в том числе залежных, с большим количеством растительных и пожнивных остатков, с возможностью работы по промерзающей до 10 см почве.

ВАРИАНТ 4. Двухъярусная отвальная вспашка с рыхлением (рисунок 1.8).

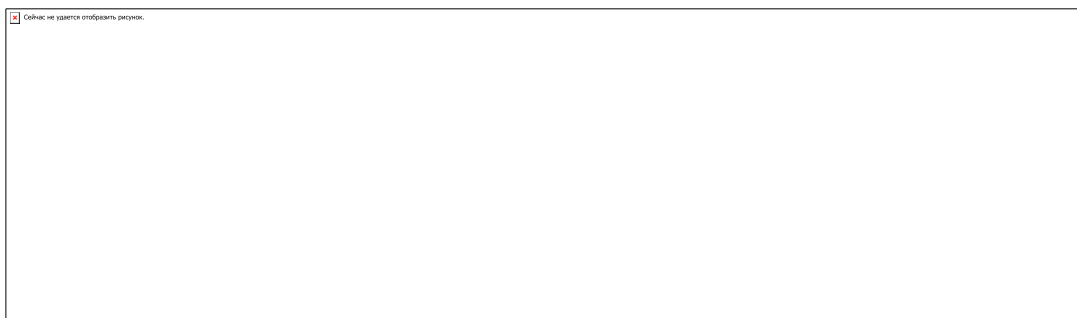


Рисунок 1.8 – Двухъярусная отвальная вспашка с рыхлением

Малый корпус «М» работает как предплужник, а большой корпус «Д», заделывает пожнивные остатки и рыхлит почву до 45 см без образования плужной подошвы.

Комплектация плугов ПБС.

По данным испытаний на МИС плуги конструкции В.М. Бойкова имеют меньшее тяговое сопротивление и большую производительность, чем традиционные плуги (рисунок 1.10; 1.11).

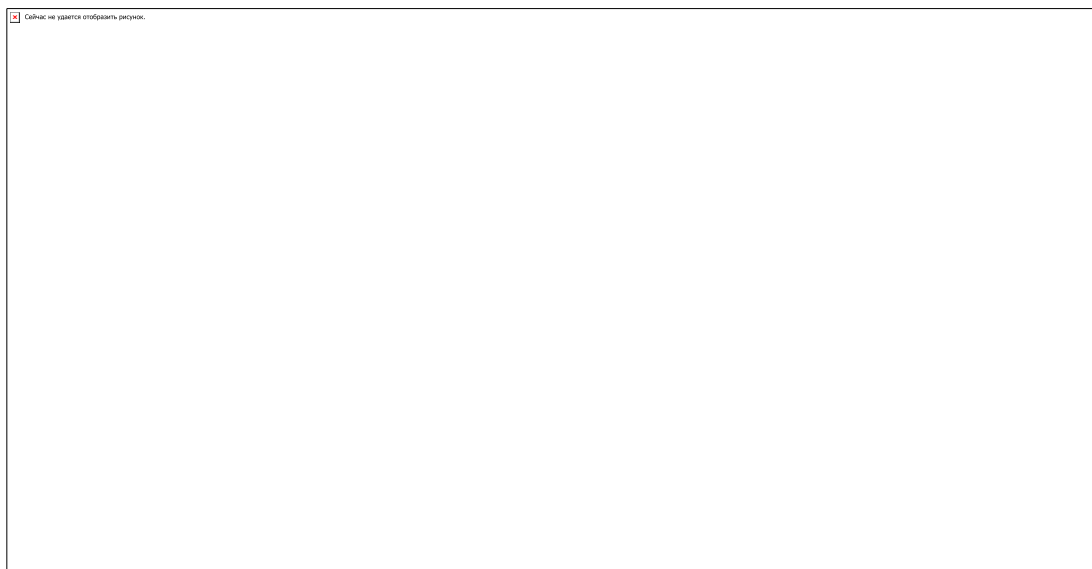


Рисунок 1.9 – Плуг серии ПБС

Плуги серии ПБС отличаются от традиционных прежде всего рамой, наклон главного бруса составляет 45°. Это вызвано необходимостью увеличения ширины захвата орудия для рационального состава МТА в связи малой энергетикой применяемых рабочих органов.

На плугах серии ПБС применяются различные виды рабочих органов:

Чизельно-отвальные РО с горизонтальными (левый и правый) и вертикальным ножами, причем вертикальный нож плавно образует долото;

Рыхлящий лемешно-отвальный РО;

Чизельные РО с внутрипочвенным изгибом по радиусу. Рабочие органы 2 и 3 типа могут работать по безотвальной технологии.

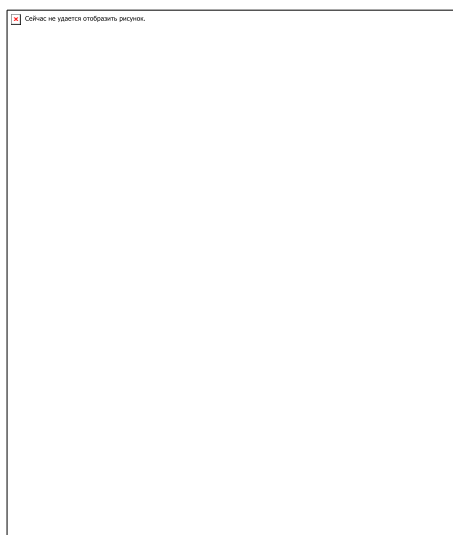
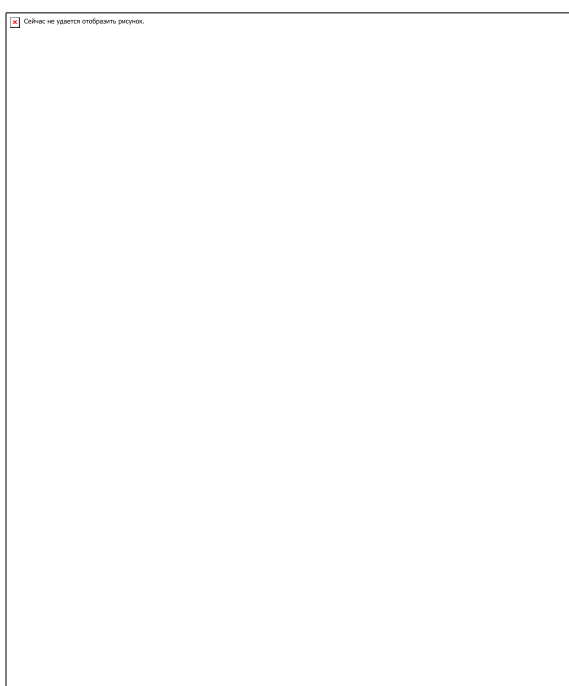


Рисунок 1.10 – Плуг ПСКу

Рабочие органы «РАНЧО».

В конструкции рабочих органов «РАНЧО» (рисунок 1.11) заложена техническая возможность перемещения отвала вдоль стойки позволяющая настраивать орудие на глубину рыхления до 45 см и обороту пласта на минимально необходимую величину (10-25 см). Возможна замена широкого долота (60 мм) для чизелевания на узкое (30 мм) при щелевании[38]. Предусматривается установка подрезающей лапы с возможностью изменения угла крошения и перемещения вдоль стойки (до 35 см).



1- стойка; 2- башмак; 3- отвал; 4- долото широкое; 5-кронштейны; 6- лапки подрезные; 6- эксцентрик

Рисунок 1.11 – Модернизированный рабочий орган «РАНЧО»

Рабочие органы «РАНЧО» выполняют все технологические варианты работы рабочих органов ПБС и ПРУН и даже значительно превосходят (рисунок 1.12). Кроме того, модульный тип РАНЧО позволяет настраивать его на различные технологии при наименьших издержках. Выбранный угол (51°) главного бруса орудия обеспечивает нормальную работу навесного устройства и управляемость используемых тракторов, качественные и эксплуатационные показатели работы орудия при оптимальном междуследии рабочих органов 40см.

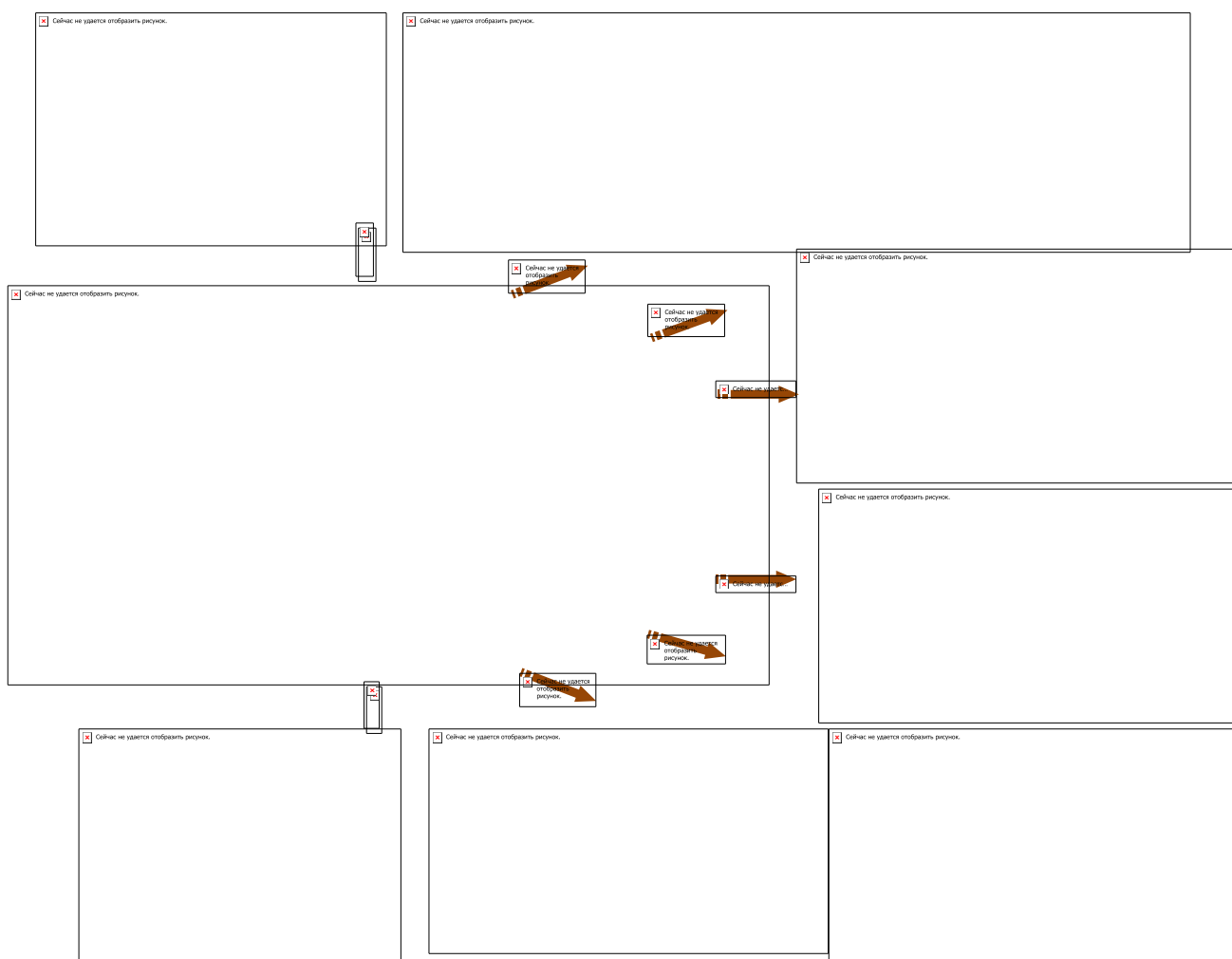


Рисунок 1.12 – Технологические варианты рабочих органов «РАНЧО»

Недостатки ПРУН относительно РАНЧО:

- Нельзя регулировать отдельно глубину рыхления и величину оборачиваемого пласта
- Не предусмотрена возможность регулирования гребнистости обрабатываемой поверхности за счет различной расстановки отвалов по высоте стоек, что ограничивает применение орудия на склонах.
- Нельзя устанавливать РО на серийные рамы.
- Отсутствие возможности регулирования сплошного подрезания почвы по высоте.

Недостатки ПБС относительно РАНЧО:

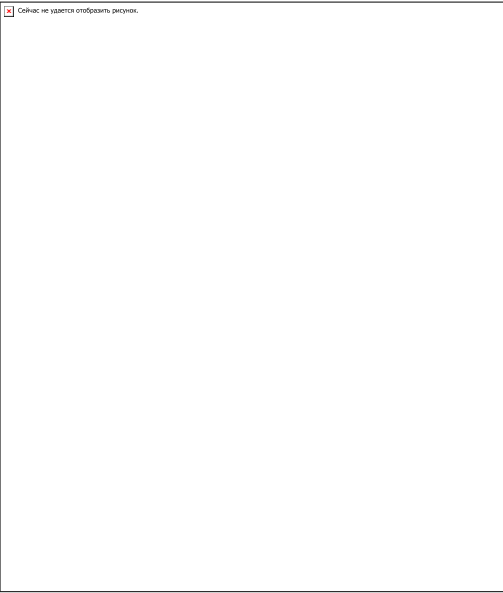
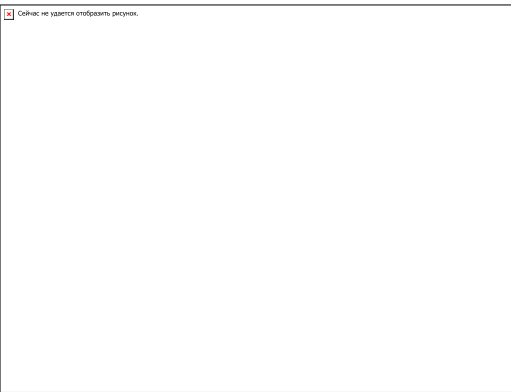
- Большой угол наклона рамы потребовало увеличению междуследия РО до 60 см влияющие на энергетику и агротехнологические

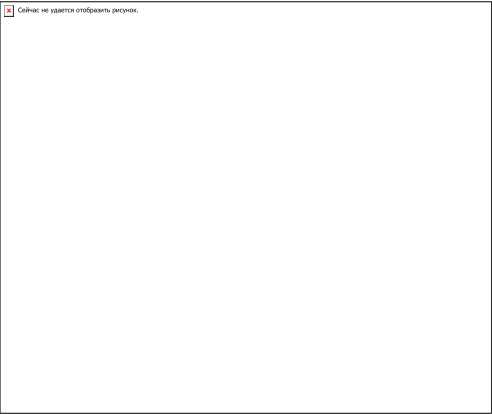
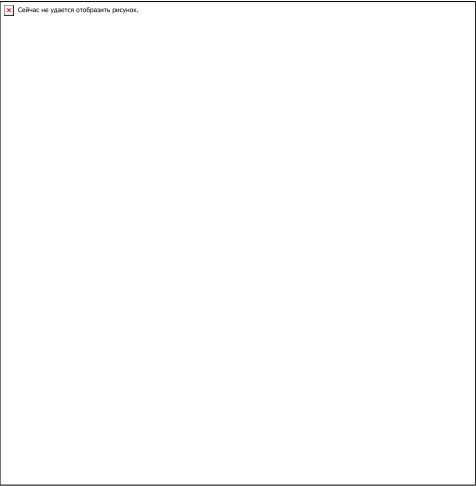
показатели обработки почвы

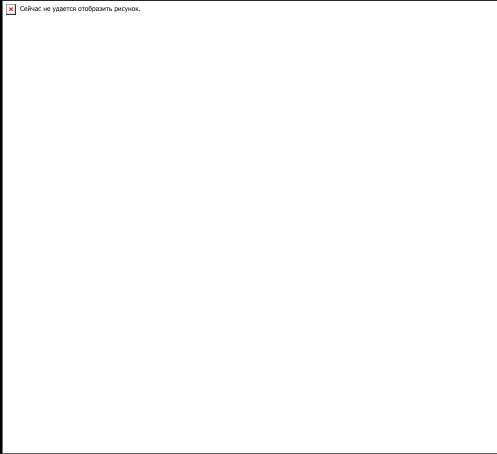
- Необходимость комплектов РО для выполнения различных технологий обработки почвы
- Ограничение глубины обработки при 2 и 3 видах РО, до 30 см.
- Наличие плужной подошвы при работе с 3-им видом РО
- Нельзя регулировать отдельно глубину рыхления и величину оборачиваемого пласта
- Горизонтальные ножи не перемещаются вдоль стойки, что не дает возможность регулирования глубины подрезания пожнивных остатков
- Не предусмотрена возможность регулирования гребнистости обрабатываемой поверхности за счет различной расстановки отвалов по высоте стоек, что ограничивает применение орудия на склонах.
- Нельзя устанавливать РО на серийные рамы.

1.2.2 Патентный анализ рабочих органов для послойной обработки почвы

С целью универсализации процесса послойной технологии обработки почвы, его желательно осуществлять едиными почвообрабатывающими орудиями. Приведенный нами анализ рабочих органов плугов для основной послойной обработки почвы показал преимущества и недостатки каждого из орудий [41]. Отсюда следует, что приоритетной задачей является их устранение. Некоторые анализируемые рабочие органы и их авторы представлены в табличной форме на рисунке 1.13.

Варианты	Название рабочего органа	Схема, рисунок	Авторы
1	2	3	4
1	Комбинированный почвообрабатывающий рабочий орган		Путрин А.С. [Патент № 2134933]
2	Комбинированный почвообрабатывающий рабочий орган		Богатов В.А., Курдюмов В.И. Фёдоров А.В., Павлушин А.В. [патент № 2273119]

3	Плуг рыхлитель- разуплотнитель	 Сейчас не удается отобразить рисунок.	Ковриков И.Т., Попов И.В., Митин А.А., [патент № 2131653]
4	Плуг для ступенчатой вспашки на склонах	 Сейчас не удается отобразить рисунок.	Мчелидзе К.М., Карцивадзе Г.К., Чебан Н.И., Данилевич Г.И., Сидоренко Г.А., Саришвили Э.Д., [патент №721018]

5	Плуг для ярусной вспашки		Белковский В.И., Полунин В.И., Шишкарев В.Д., Овешников В.П., Пекур В.Н., [патент №828992]
6	Комбинированный рабочий орган плуга общего назначения		Бойков В.М., Бойкова Е.В., Петров В.А. [патент № 93616].
7	Плуг-рыхлитель универсальный навесной ПРУН-8-45		Афонин А.Е., Дубровин В.А., Киров В.А., и др. [патент № 2074592]

8	Ресурсосберегающий "анти-нулевой" чизельный орган «РАНЧО»		Борисенко И.Б., Павленко В.И., Кондаков С.Ю., Галкина С.А. [патент №2354088 №2399177 №2426288]
---	---	--	--

Рисунок 1.14 – Рабочие органы для послойной обработки почвы

Перечисленные на рисунке 1.14 комбинированные рабочие органы отвальным способом обрабатывают верхний корнеобитаемый слой, а нижележащий рыхлят без оборота. Но у каждого из рабочих органов можно найти недостатки, такие как: большая металлоемкость, повышенная энергоемкость процесса послойной обработки почвы, нерациональная компоновка расположения элементов модульной конструкции, либо отсутствие работы по классической отвальной схеме когда это требуется.

В первом представляемом варианте на рабочий орган крепятся лемешно-отвальная поверхность и рыхлитель на разных стойках, при этом расположение доски позволяет за счет концентрации почвы на лобовой поверхности увеличить ее лобовое столкновение.

Во втором варианте орудие обладает более рациональной компоновочной схемой, но энергоемкость процесса работы данного рабочего органа возрастает за счет формы рыхлителя, не позволяющей осуществлять рыхление почвы на должном уровне.

В третьем варианте недостатки связаны с нерациональной компоновочной схемой и большей металлоемкостью.

У четвертого варианта установлен почвоуглубитель с наклоном в горизонтальной плоскости в сторону плужного корпуса, что позволяет повысить устойчивость хода рабочего органа и возможностью применения его на склонах.

Применение пятого варианта требует большей энергоемкости, но за счет упрощения конструкции уменьшаются габариты рабочего органа [81].

В последующих вариантах, наиболее рационален с технологической и энергетической позиций рабочий орган РАНЧО. Но данный рабочий орган не может обрабатывать почву по «чистой» отвальной технологической схеме.

Из проведенного анализа видно, что представленные рабочие органы модульной конструкции обладают недостатками, требующими их устранения.

В заключение проведенного обзора существующих орудий для основной послойной обработки почвы можно сделать вывод, что необходимо разработать новую конструкцию рабочего органа для плугов общего назначения, которые могли бы выполнять несколько технологических операций с наименьшими энергетическими затратами и отвечать агротехническим требованиям, обладая рациональной компоновочной схемой.

1.3 Выводы. Цель и задачи исследования

Сравнивая орудия и рабочие органы для глубокой обработки почвы с анализом их конструктивных и технологических особенностей, можно сделать выводы, что: работая по отвальной технологии обработки почвы, растительные и пожнивные остатки, органические и сидеральные удобрения заделываются на дно борозды, благодаря чему снижается засоренность поля. Но при этом, впоследствии образуется плужная подошва, ухудшаются послойные биологические процессы и нарушается структура почвы;

применение безотвальной технологии обработки почвы плоскорежущими рабочими органами, позволяет сохранить структуру почвы. Пожнивные остатки остаются на поверхности поля, снижая дефляционные процессы, но отсутствует возможность заделки вносимых удобрений. Повышается засоренность поля за счет подрезания сорной растительности (особенно корнеотпрысковых) на большой глубине. Образуется плужная подошва; выполнение безотвальной технологии обработки почвы чизельными рабочими органами позволяет избавиться от последствий связанных с образованием плужной подошвы и размножения корнеотпрысковых сорняков, но она имеет недостатки, связанные с отсутствием возможности оборота пласта; объединение технологических операций чизелевания и отвальной вспашки в одну, соблюдая агротехнические требования, дает возможность добиться нового результата качества обработки почвы и повысить ее эффективность.

Тогда общие выводы по главе:

1. В сегодняшнее время основную глубокую обработку почвы проводят по отвальной и безотвальной технологии, имеющие свои преимущества и недостатки;
2. Выполняются данные технологии с помощью применения лемешно-отвальных и чизельных плугов, плоскорезов-глубококорыхлителей, имеющих различные формы и конструкции. У отвальных орудий рабочие органы выполнены в виде корпусов плугов, а у безотвальных в основном в виде плоскорежущих лап с различной шириной захвата, либо чизельной стойки с долотом;
3. Добиться повышения качества основной обработки почвы можно за счет сохранения структуры почвы снижая ее эрозию, заделкой в обрабатываемый почвенный слой органических и минеральных удобрений, уничтожения сорных растений;
4. Достичь снижения энергоемкости при выполнении основной обработки почвы возможно с помощью создания нового комбинированного

рабочего органа, состоящего из отвального корпуса плуга и чизельного рабочего органа.

Цель исследований: повышение эксплуатационно-технологических показателей почвообрабатывающего агрегата за счет совершенствования технологического процесса глубокой обработки почвы и разработки комбинированного рабочего органа.

Задачи:

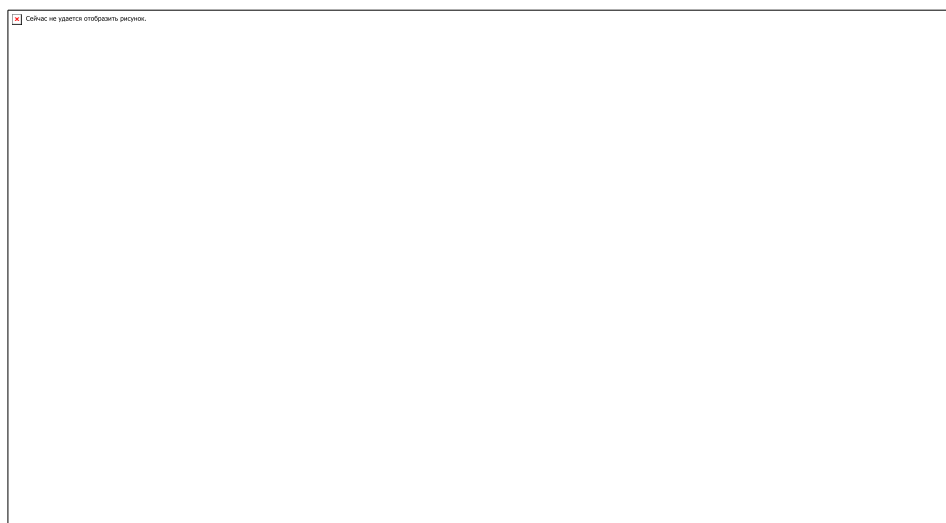
1. Провести анализ возможных комбинаций объединения чизельной и отвальной технологий глубокой обработки почвы;
2. Усовершенствовать технологический процесс глубокой обработки почвы и разработать комбинированный рабочий орган;
3. Теоретически обосновать конструктивную схему комбинированного рабочего органа для глубокой обработки почвы.
4. Провести экспериментальные исследования усовершенствованного технологического процесса глубокой обработки почвы.
5. Исследовать эффективность использования плуга с комбинированными рабочими органами.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОБОСНОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ КОМБИНИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

2.1 Способы механического воздействия на почву

В механической обработке почвы участвуют три элемента: источник энергии, рабочий орган машины и почва. Рабочий орган, получая энергию от источника, воздействует на почву, тем самым изменяя ее состояние: размеры и форму комков, расстояние между ними. В результате этого изменяется плотность почвы, уничтожаются сорняки, создаются оптимальные воздушный, водный, тепловой режимы, необходимые для роста и развития растений.

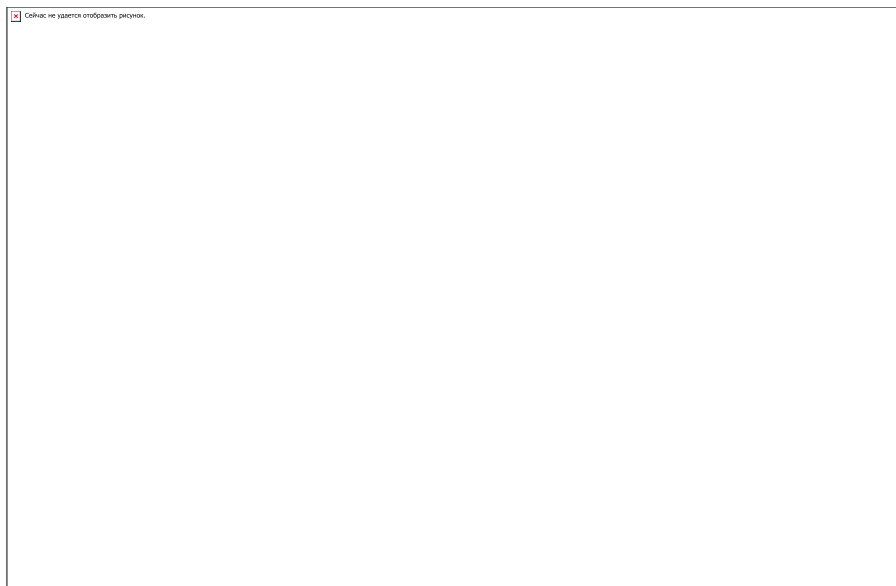
При сложении внешних сил происходит деформация или разрушение пласта. Под деформацией понимается изменение объема или формы тела. Деформация, крошение пласта почвы происходит в результате сжатия, резания, истирания и т.д. (рисунок 2.1) [68; 69].



1 – сжатие, раздавливание; 2 – смятие; 3 – раскалывание; 4 – разламывание; 5 – резание; 6 – разрыв, растяжение; 7 – распиливание; 8 – истирание (трение); 9 – перетирание; 10 – сдвиг; 11 – свободный удар: а – комок об элемент рабочего органа, б – элемент рабочего органа о комок; 12 – стесненный удар, сжатие.

Рисунок 2.1 – Способы механического воздействия на комок почвы.

Можно предположить, что агрегаты почвы а, б, в, г, д (рисунок 2.2) склеены между собой почвенным «клеем» в единый комок [69].



а, б, в, г, д – агрегаты; 1 – растяжение, 2 – резание; 3 – сжатие.

Рисунок 2.2 – Схема комка почвы:

«Узкими» местами при разрушении комка являются зоны стыковки комочков. Здесь работает почвенный «клей» (органические и минеральные коллоиды, соли). Если этот «клей» разбавить водой, уменьшить его концентрацию, то усилие, potřebное на разделение агрегатов, на разрушение комка, существенно уменьшится. Это подтверждается практикой обработки почвы в состоянии ее физической спелости, которая определяется влажностью почвы. Физически спелой считается почва, когда ее абсолютная влажность составляет 16...20% или 55...60% от наименьшей влагоемкости.

Менее энергоемким является процесс растяжения (1), так как сцепление между агрегатами а, б, в меньше, нежели внутри агрегатов. При резании (2) сколы так же могут проходить по стыкам агрегатов. При сжатии

(3) разрушение комков идет как за счет разделения агрегатов, так и путем их крошения. Такой способ воздействия наиболее эффективен [59; 61]. Это может обеспечить комбинация стрелчатой лапы и катка.

На основе анализа конструктивных схем применяемых в настоящее

время культиваторов сплошной обработки и их рабочих органов, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективными являются стрельчатая лапа и каток [36; 55; 59]. Именно эти органы следует совершенствовать, чтобы

выполнять обработку почвы в полном соответствии с агротехническими требованиями.

2.2 Обзор теорий рыхления почвенного пласта

Любой технологический процесс, осуществляющий механическую обработку почвы, происходит в виде взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым материалом. Поэтому, свойства обрабатываемого материала и форма рабочего органа имеют свое влияние на характер этого процесса[60].

Изучая почву как объект, взаимодействующий с находящимися в ней рабочими органами, представляем ее в виде упругой, сыпучей, сплошной и твердой деформированными средами, определяющими в дальнейшем процесс ее обработки. В данном исследовании используются теории пластичности, упругости и подобия, методы механики сплошных сред и грунтов, твердого тела.

При воздействии рабочего органа на почву, определяющуюся как «сыпучая среда», образуется поверхность скольжения [65]. Условия разрушения при этом определяются по закону Кулона-мора, с рассмотрением сколотого «блока почвы» как абсолютно твердого тела (рисунок 2.3) [47, 81].

В связи с этим для определения прикладываемого (осевого) напряжения σ_1 было получено следующее выражение

$$\sigma_1 = 3tg^2 45^\circ + 12 + 2ctg 45^\circ + 12, \quad (2.1)$$

где σ_3 – радиальное напряжение, МПа;

ν – угол обрушения почвы, град.

Задача, определяющая поверхность разрушения, решается по теории предельного равновесия, не раскрывая вопросы перемещения внутри сколотого блока частиц деформации почвы. В решении задач, применяя упругую модель и основываясь на теории упругости при механической обработке, допускаем, что почва является сплошной средой с упругими и обратимыми свойствами [9, 34, 35, 59, 69, 81, 85].

В виде упругой среды модель обрабатываемого пласта рассматривали многие ученые [34, 35, 46, 60].

Огромное значение движению пласта по поверхности корпуса плуга придавал академик В.П. Горячкин, основоположник земледельческой механики [17]. Он считал, теория прочности О.Мора в большей степени приемлема для расчетов предельного напряжения состояния почвы [77]. Но с помощью экспериментальных исследований было установлено, что уравнение О.Мора усилия на сдвиг пласта, определяет только часть напряжения сопротивления резанию [81].

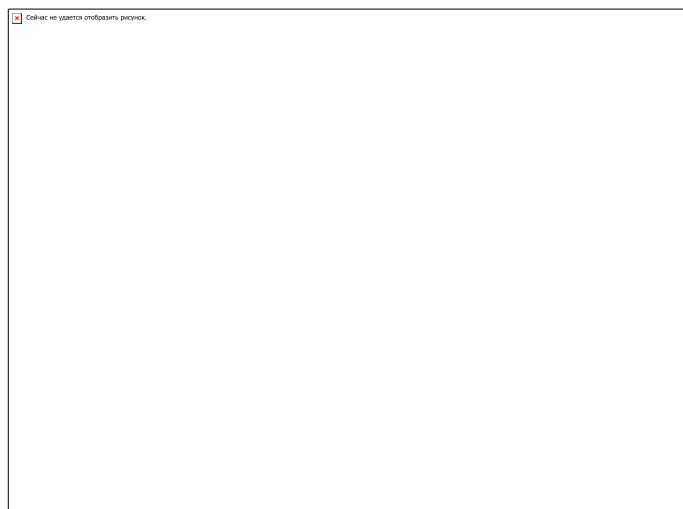


Рисунок 2.3 – Модель Кулона-Мора к определению разрушения при сдвиге

Шарль Кулон в 1776 г определил модель, впоследствии широко применяемую для описания разрушения сдвига при физическом ее описании. Для возникновения данного процесса ученым были установлены

следующие требования:

1. Усилие сдвига должно преодолевать в плоскости разрушения сцепление почвенных частиц;
2. Усилие сдвига должно преодолевать силу трения при перемещении поверхностей относительно друг друга.

Для расчетов напряжения сдвига почвы предлагалась следующая формула

$$\tau_f = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.2)$$

где τ_f – требуемое напряжение сдвига почвы, МПа;

c – сила сцепления, приходящаяся на единицу площади, МПа;

σ_n – нормальное напряжение на плоскости разрыва, МПа;

φ – угол обрушения почвы, град.

Зависимость изменения сопротивления разрушению почвенного пласта от геометрии рабочего органа, размеров отрезаемой стружки и скорости обработки почвы, установил Синеоков Г.Н. [82, 101].

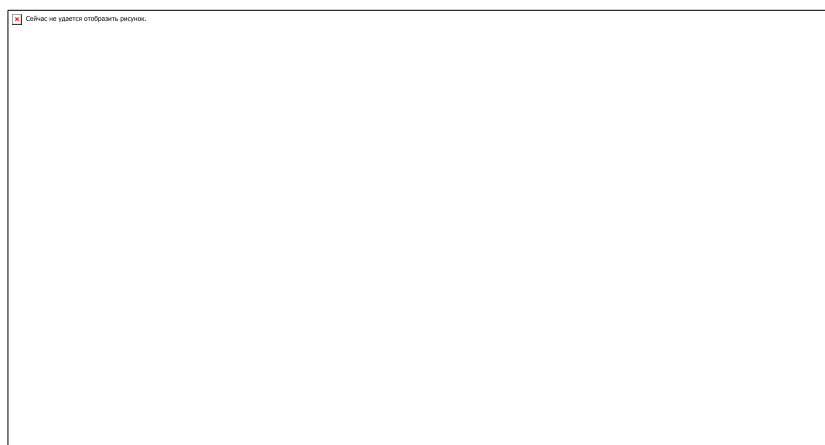
Предположения, что процесс разрушения пласта происходит в две стадии, рассматривая почву как упругую среду, излагали Милюткин В.А., Виноградов В.И., Подскрепко М.Д. [31, 48, 77, 86]. В первой стадии в результате продольного сжатия почвенного пласта образуется горизонтальная трещина отрыва в плоскости дна борозды, а во второй она возникает от действия изгибающих моментов. Из мнения авторов следует, что в процессе разрушения почвенного пласта основную роль выполняет образование опережающей трещины, а пластические деформации, у которых скорость распространения является важным показателем, предшествуют ее появлению.

За сплошную и упругую среду, почву также принимает Мацепуро М.Е. [72], предполагая что характер ее разрушения ударный. Им были выделены упругие деформации пласта, с учетом возникновения остаточных деформаций.

Анализом физических процессов, происходящих при вспашке почвы, в своих работах [46, 47] занимался академик Желиговский В.А., установив зависимость от направления сил, приложенных к крошащемуся почвенному пласту со стороны лемешно-отвальной поверхности. Теория крошения при этом основывается на преобразовании в работу растяжения (крошения) пласта упругой потенциальной энергии сжатия почвенного воздуха.

Но наряду с этим, представление почвенной модели в виде сплошной упругой среды в полном объеме не позволяет объяснить и раскрыть многие моменты, происходящие в процессе ее обработки. Нет объяснения возникающему при этом крошению и снижению плотности почвы. Зачастую затруднено и невозможно по имеющимся дифференциальным уравнениям построение траекторий движения почвенных частиц [81].

Соотношением между тензорами деформаций, напряжений и временем, характеризуют свойства почвы сплошной деформируемой средой [17, 24]. Данная закономерность хорошо прослеживается по моделям напряжение – деформация на рисунке 2.4.



а, б, в – механические модели(упрощенные); г – модель тело Бингена; д – модель Ситкея

Рисунок 2.4 – Модели напряжение-деформация

М. Д. Подскребко и В. И. Виноградов [14, 31, 86] установили, что при увеличении скорости деформации, идет повышение сопротивления разрушению почвы:

$$\sigma_B = \sigma_{B0} + K \ln v/v_0, \quad (2.3)$$

где σ_{B0} – временное сопротивление при скорости деформации v_0 , МПа; v – максимальная скорость деформации, м/с;

K – коэффициент пропорциональности; v_0 – начальная скорость деформации, м/с.

Некоторые исследователи объясняют это явление как сопротивление перемещающихся по капиллярам и промежуткам жидкой и газообразной фаз, но множество ученых определяют это увеличением затрат на внутреннее изменение межагрегатных состояний и сообщение почвенным частицам кинетической энергии, что в действительности можно выявить с помощью реологической модели почвогрунтов.

На основе уравнения Максвелла составляются все реологические модели:

$$\sigma = \dot{\epsilon} E T + (\sigma_0 - \dot{\epsilon} E T e_T^1) \quad (2.4)$$

где T – время релаксации, с;

$\dot{\epsilon}$ – скорость деформации, м/с;

σ_0 – начальное напряжение, показывающее зависимость напряжения от скорости нагружения и времени релаксации, МПа.

Но при всем разнообразии реологических моделей, они все же не могут отражать реальных свойств почв. Большинство уравнений реологических моделей сводятся к экспоненциальным кривым ползучести, значительно ограничивая диапазон их применения, создавая определенные сложности для расчетов [48, 65, 70, 81].

Положения теории размерностей широко используются при изучении процессов деформации почвы, основанных на условиях, соблюдаемых при физическом, аналоговом и математическом моделировании технологических процессов [48].

Академиком Горячкиным В.П. рассматривались элементы теории подобия с моделированием технологических процессов сельскохозяйственных машин [17, 35]. К процессам взаимодействия клина с

почвой применял метод гидромеханического подобия потока почвенных частиц и жидкости Казаков В.С. Метод был основан на формуле В.П. Горячкина для определения тягового сопротивления плугов, и формальной аналогии уравнения Бернулли для потока [53].

Операции крошения (разрушения), резания, уплотнения, сепарации комковой почвы и оборота пласта с использованием законов гидроаэродинамики для твердых тел предложил А.П. Иофинов. Но данное сопоставление потока жидкости и почвы допускается лишь при соблюдении соответствующих критериев подобия, с необходимостью учета статистической природы почвенных характеристик, рассматриваемых как твердое деформированное тело с постоянной плотностью [51, 81].

Принимая твердое, способное к сопротивлению деформируемое тело, в качестве модели почвенного пласта в своих основополагающих трудах о теории движения частиц почвы представил Л.В. Гячев. Так же, автором рассматривается относительное движение несжимаемого и сжимаемого пластов почвы, в зависимости от способности пласта сопротивляться сжатию. Причем, в реальных условиях, в зависимости от формы поверхности и свойств почвы, движение приближается к тому или другому предельному случаю. Поэтому, решая задачи взаимодействия почвы и рабочего органа и рассматривая ее пласт как твердое деформируемое тело, нет возможности в полном объеме учитывать механический состав, твердость, влажность и плотность обрабатываемой поверхности [37, 81].

Частично устранил недостатки и немного расширил взгляды на составляющие сил реакции почвы в своей работе А.С. Путрин. За счет формирования наблюдаемых при внедрении рабочего органа уплотненных почвенных ядер, усадки пласта и учета абсолютного движения частиц почвы [88].

В работе И.Б.Борисенко [18] отмечено, что основой чизельного рыхления почвы является ее обрушение, определяя главной составляющей тягового сопротивления орудия разрушение долотом канавки шириной B и

высотой $H-h_{кр}$, где B – ширина долота; H – полная глубина обработки.

Наиболее близко к вопросу обрушения почвы подошел Токушев Ж.Е., пояснив, что основной причиной существования критической глубины рыхления $h_{кр}$ является свойство сжимаемости почв под нагрузкой. При этом основные затраты энергии уходят на выжимание водно-воздушной массы из пор и разрушения связей частиц структуры почвы на глубине $> h_{кр}$, где происходит деформация сжатия [103].

Борисенко И.Б.[18] уточнил и снял противоречия с этих предпосылок, объяснив, что сама по себе деформация сжатия к разуплотнению почвы привести не может. Разуплотнение почвы происходит не в узкой канавке ниже $h_{кр}$, а по бокам и впереди стойки. Проанализировав процесс резания почвы долотом, автор выдвинул гипотезу, куда уходят отрезанные «ломти», если путь им перекрыт со всех сторон, т.к. резание происходит на глубине под слоями почвы (блокированное резание). На верхней плоскости долота не хватает места выросшему комку сжатой почвы, а полностью сползти в сторону стойки с долота он не может даже при наличии водяной «смазки» от сжатой почвы. Ему мешает «материнская» почва, сжимаемая под действием образовавшегося кома. Поэтому происходит поочередный сброс в форме «выстрела» мелких кусочков почвы и фрагменты кома срываются с долота. При каждом из таких «выстрелов» скачкообразно снижается давление p , тем самым вызывая колебательные процессы в почве, способствующие разуплотнению ее естественных связей. Данные предпосылки в последствие подтверждены в работах Ветохина В.И. [30].

2.3 Анализ возможных комбинаций отвальной и безотвальной технологий основной обработки почвы

С целью осуществления анализа возможных комбинаций технологического процесса безотвальной (чизельной) обработки почвы, выполняемой долотом рыхлителя и технологического процесса отвальной

обработки почвы, выполняемой корпусом лемешно-отвального плуга, каждую из технологий представим в виде блока, а схемы изобразим на рисунках 2.5 и 2.6 [11, 90, 100].

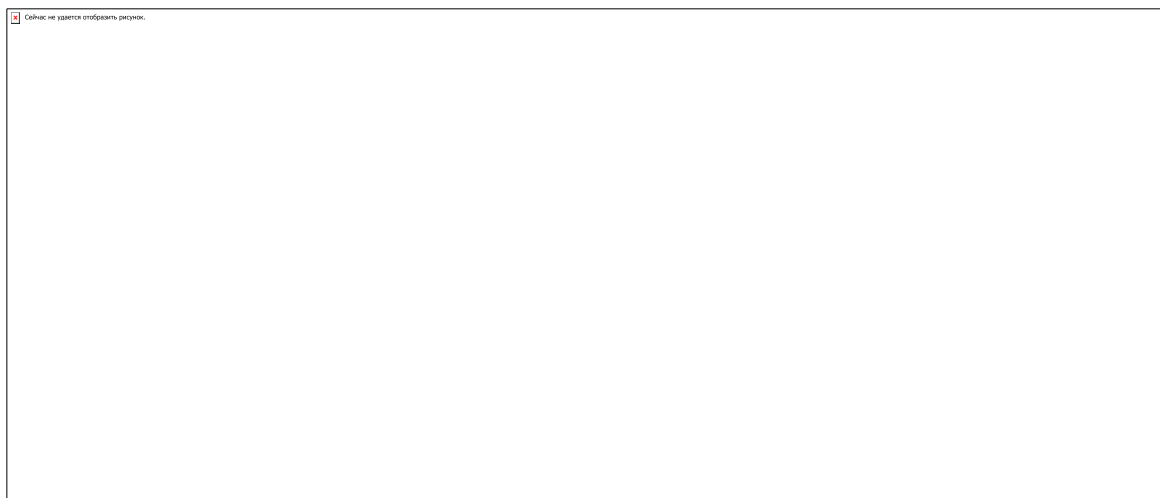


Рисунок 2.5 – Схема отвальной технологии обработки почвы

Соблюдая агротехнические требования и задавая одинаковую глубину обработки почвы, можно добиться снижения энергоемкости процесса технологии основной обработки почвы за счет комбинации отвальной (рисунок 2.3) и безотвальной обработок почвы (рисунок 2.4), при этом сохраняя ее структуру с заделкой растительных и пожнивных остатков в пахотный слой.

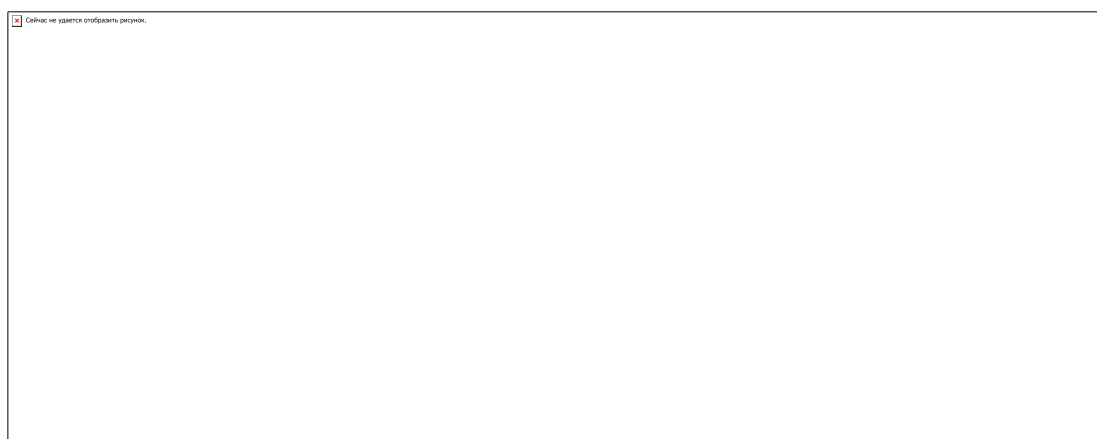
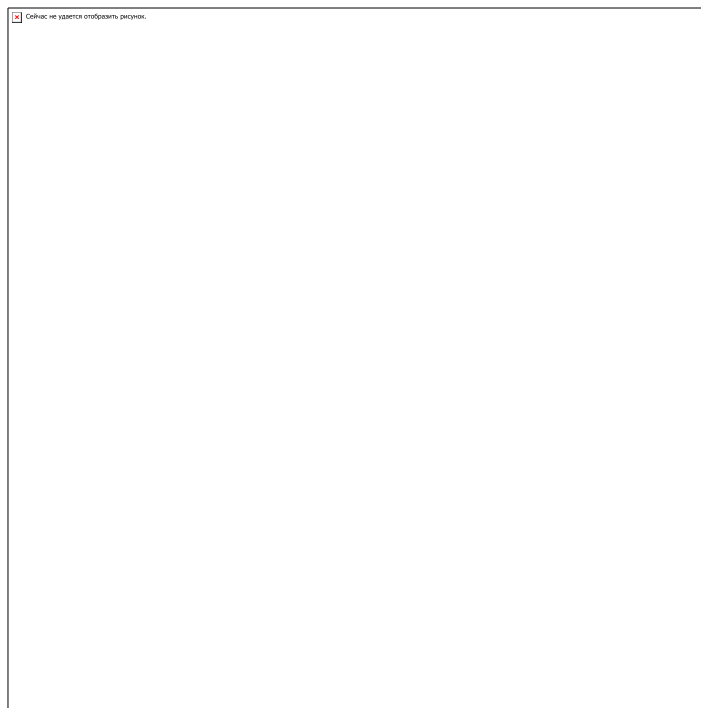


Рисунок 2.6 – Схема безотвальной (чизельной) технологии почвы

Рассмотрим их комбинацию расположения, используя принятые

условные обозначения технологических процессов (рисунок 2.3).



1 – условное обозначение технологического процесса отвальной обработки; 2 – условное обозначение технологического процесса чизельной обработки; А), Б) – варианты выполнения технологических процессов

Рисунок 2.7 – Схема комбинаций технологических процессов глубокой комбинированной обработки почвы

Для этого слой почвы глубиной H следует в вертикальной плоскости разделить на две части. Верхнюю часть обрабатываемого слоя необходимо крошить и оборачивать, а нижнюю только рыхлить.

Проведем анализ возможных комбинаций безотвальной и отвальной обработки почвы, выполняя их технологические процессы последовательно.

Согласно варианту А) производятся отвальная с последующей безотвальной чизельной обработки почвы. Данный технологический процесс осуществляется отвальным корпусом с почвоуглубителем, но при работе отвального корпуса в необработанной почве и несимметричному рыхлению чизелем дна борозды вскрытой отвалом, произойдет повышение неуравновешенности плуга в горизонтальной плоскости, удельного тягового сопротивления и энергоемкости.

По варианту *Б*) перед отвальной изначально проводится безотвальная чизельная обработка. При данной расстановке рабочих органов энергетика объемного рыхления от долота значительно меньше плоскостного резания лемехом, корпус будет перемещать и оборачивать уже раскрошенную почву.

Анализ схем на рисунке 2.7 выявил, что для реализации технологического процесса следуя схеме рисунка 2.7.б. с наименьшими энергетическими затратами на обработку почвы, необходимо центр деформации почвы от долота совместить с центром ширины захвата отвального корпуса.

Используя схему комбинаций на рисунке 2.7, с учетом рисунков 2.1 и 2.2, рассмотрены две схемы: с классическим почвоуглубителем (рисунки 2.4 А) и с разработанным рабочим органом (рисунки 2.4 Б).

При обработке почвы по классической схеме (рисунки 2.4 А1) первоначально производится вырезание пласта почвы сечением $h_d \times b$ отвальным корпусом с образованием открытой борозды (позиция 1), который крошится и перемещается по отвалу из положения 1 в положение 2. Далее производится рыхление пласта почвы почвоуглубителем (рисунки 2.4 А2) на глубину h_2 (положение 3). При последующем проходе происходит вырезание пласта 4 отвальным корпусом (рисунки 2.4 А3) и его перемещение с оборотом в открытую разрыхленную предшествующую борозду 3, принимая положение 5. После чего почвоуглубителем рыхлится пласт почвы 6 (рисунки 2.4 А4). В последствии технологический процесс повторяется аналогично предыдущим операциям (рисунки 2.4 А3-А4).

При работе орудия по схеме разработанного энергосберегающего технологического процесса (рисунки 2.4 Б1) первоначально производится воздействие на пласт почвы чизелем, образуя разрыхленную почву треугольной формы 1 с основанием B на поверхности и глубиной H , который потом частично перемещается отвальным корпусом в положение 2, образуя открытую борозду 3 в виде лунки из-за осыпания взрыхленного слоя (рисунки 2.4 Б2). При последующем проходе, чизелем производится

рыхление пласта 4, способствующее дополнительному обрушению пласта почвы 5 (рисунок 2.4 Б3). Далее отвальным корпусом часть разрыхленного пласта 4 перемещается с оборотом в открытую борозду 3, накрывая собой ранее перемещенный пласт 5 (рисунок 2.4 Б4), образуя открытую борозду в виде лунки 6. В последствии технологический процесс повторяется аналогично предыдущим операциям (рисунок 2.4 Б3-Б4).

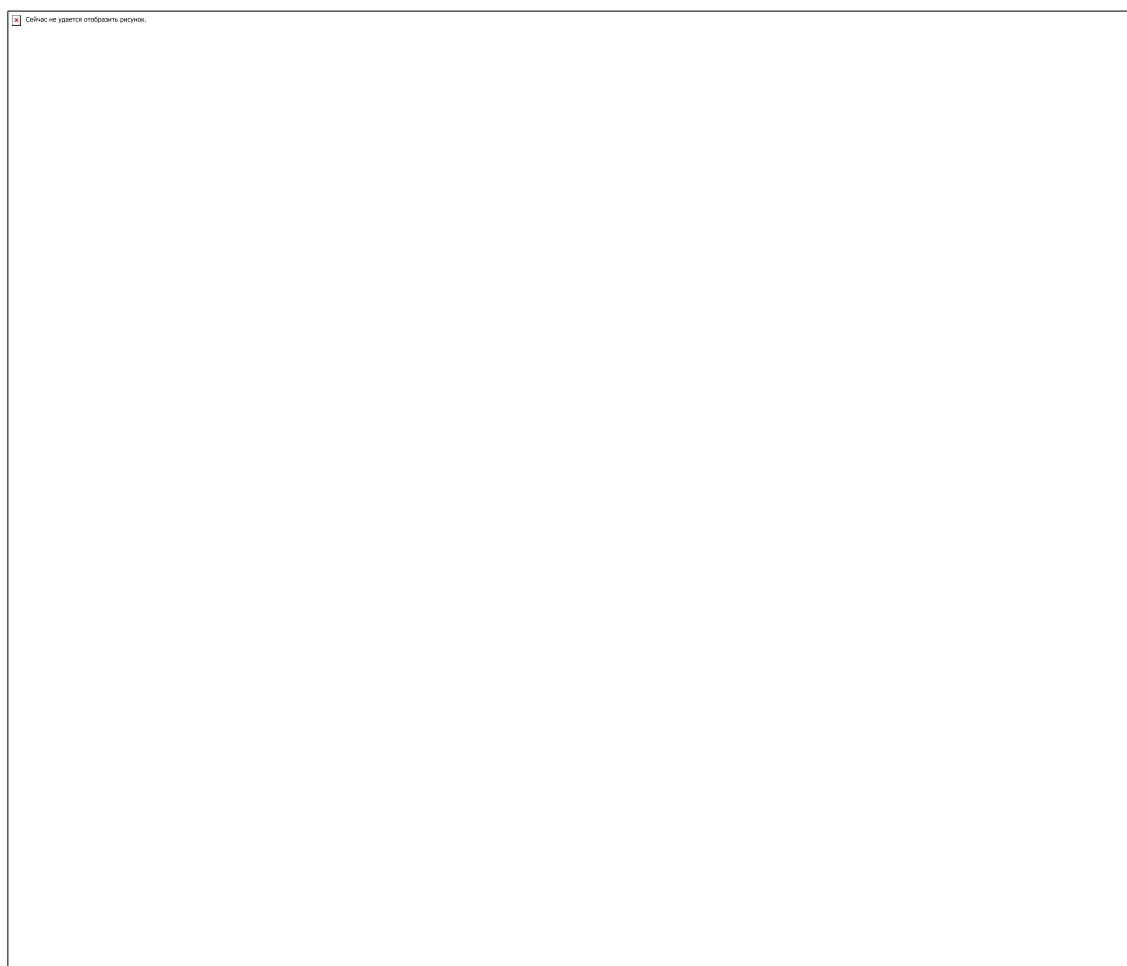


Рисунок 2.8 – Схема разработанного энергосберегающего технологического процесса основной обработки почвы и с классическим углублением

Анализ схем (рисунок 2.7 Б) технологического процесса включающего безотвальную и отвальную обработки почвы, можно считать ресурсосберегающим, так как в первом разделе было установлено, что энергоемкость обработки почвы лемешно-отвальными плугами на 30-50% выше энергоемкости безотвальной обработки почвы чизельными орудиями

работающими на этой же глубине [40]. Применение данных схем процессов позволяет не только снизить затраты, но и улучшить агротехнологические и экологические показатели обработки почвы (рисунок 2.5).

С помощью метода, состоящего из представленного условного символа блок-схемы, объединяющего в единый технологический процесс отдельные технологические процессы отвальной и безотвальной обработки почвы, изображения в виде последовательного соединения между собой рабочих органов осуществляющих данную технологию, выявлена наиболее рациональная комбинация, связывающая отдельные технологические процессы в единый, способствующий обеспечению снижения энергоемкости основной обработки почвы [11].

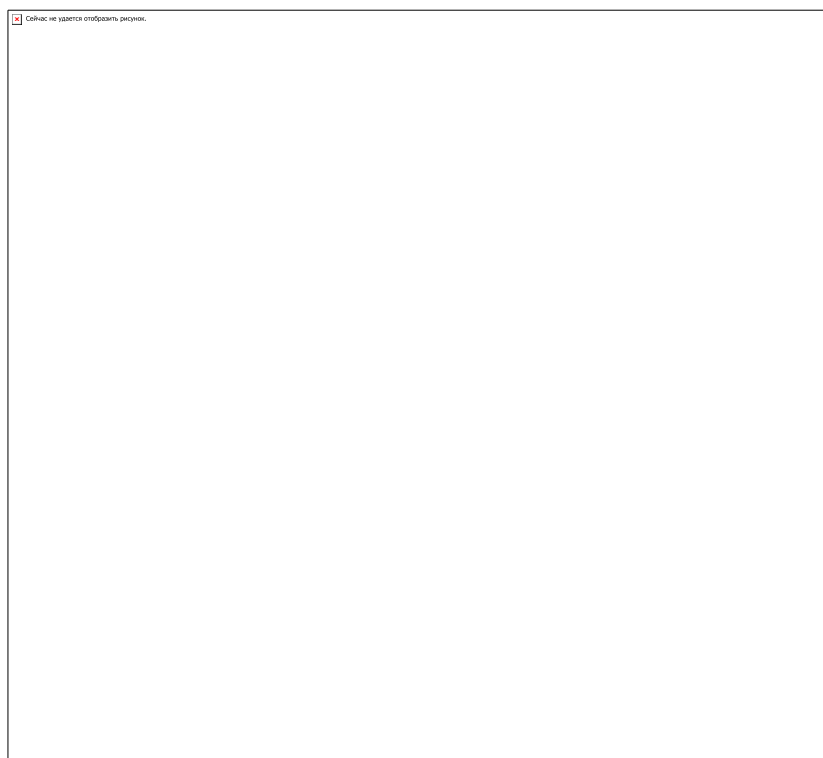


Рисунок 2.9 – Технологический процесс обработки почвы

Используя схему комбинаций отвальной и чизельной обработок, [13, 46] с учетом расстановки рабочих органов на раме орудия, нами предлагаются различные сочетания энергосберегающих технологических процессов основной обработки почвы (рисунок 2.6):

1. отвальная обработка почвы;

2. деформация почвы от широкого долота почвоуглубителя (объемное рыхление) с последующим оборотом пласта на регулируемой глубине работы отвала;

3. полосная деформация почвы от широкого долота (почвоуглубитель устанавливается не на все отвальные корпуса) с последующим «сплошным» оборотом пласта на регулируемой глубине работы отвала;

4. деформация почвы от узкого долота почвоуглубителя (щелевание) с последующим оборотом пласта на регулируемой глубине работы отвала.

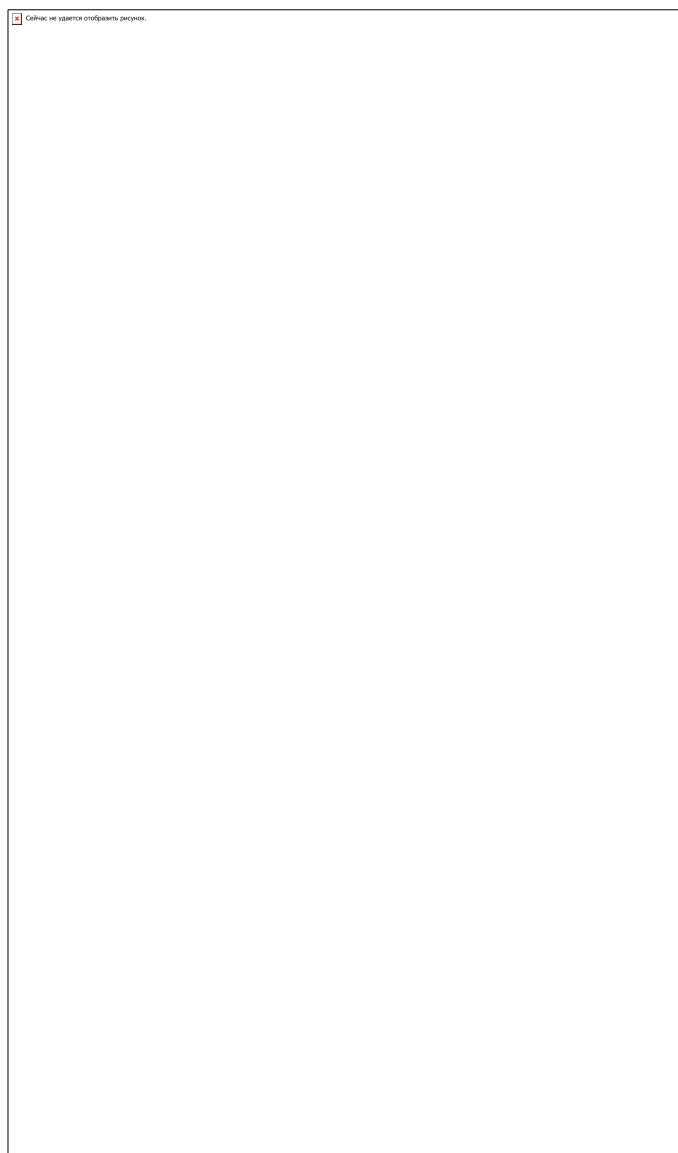


Рисунок 2.10 – Технологические параметры исследуемого рабочего органа

2.4 Обоснование технологической схемы и параметров обработки почвы комбинированным рабочим органом

В сельском хозяйстве в настоящее время в основном используются отвальный (вспашка) и безотвальный способы обработки почвы[58].

Преимущество отвальной обработки заключается в качественной заделке органических удобрений, пожнивных растительных остатков, экологически чистой борьбы с вредителями, сорняками и болезнями. Не менее эффективно применение отвала обработки очень твердых или быстро уплотняющихся почв [81, 82]. В то же время, отвальная вспашка имеет свои недостатки, связанные в основном с большими энергозатратами и образованием плужной подошвы.

В связи с чем, целесообразнее использование технологии комбинированной обработки почвы (рисунок 2.7) [43].

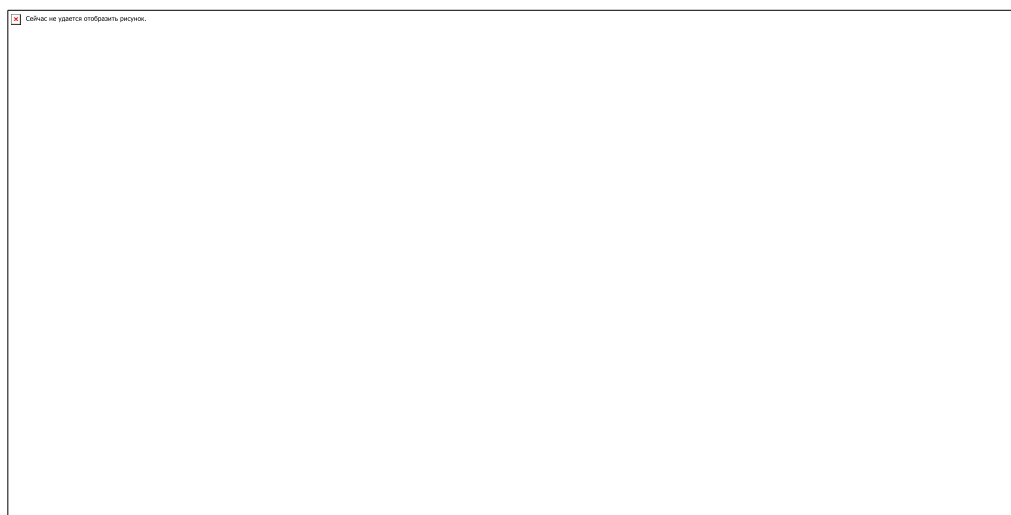


Рисунок 2.11 – Технологическая схема обработки почвы комбинированным ресурсосберегающим рабочим органом

При использовании данной технологии корнеобитаемый верхний слой пахотного горизонта ($h_{\text{л}}=0,10... 0,15$ м) должен хорошо обрабатываться и

крошиться, подвергаясь отвальной обработке, а нижележащий ($h_2 = 0,15...0,25$ м) объемному рыхлению от долота чизеля.

Комбинированная обработка почвы (выполняемая на ту же глубину, что и отвальная), обеспечивает лучшую водопроницаемость почвы и является менее энергоемкой, создавая для произрастания культурных растений наиболее благоприятные условия, способствуя накоплению гумуса, повышая эрозийную устойчивость поверхности поля.

Из рисунка 2.8 видно, что осадки из пахотного горизонта (1) собираются в разрыхленном слое (2), в дальнейшем распределяясь внутри почвы (3). Все это повышает общие запасы влаги в почве, снижая её внутрипочвенное размывание [59, 81].

Таким образом, в совершенствовании технологии основной обработки почвы одним из перспективных направлений является отвальная вспашка с одновременным рыхлением подпахотного горизонта [57, 81].

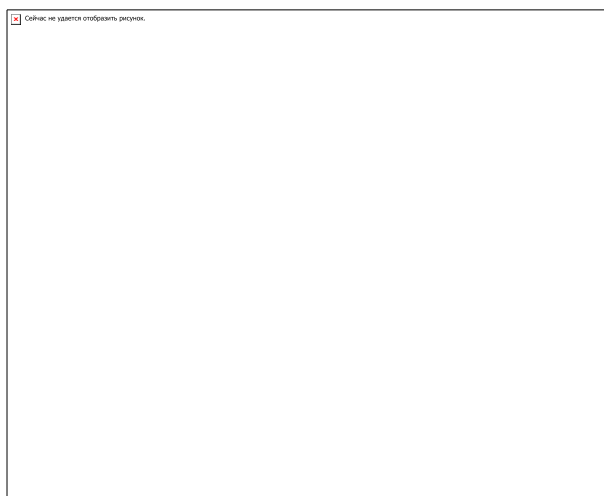


Рисунок 2.12 – Схема распределения влаги при послойной обработке почвы

Опираясь на вышеозначенное, примем предложенные параметры для дальнейших расчетов борозды подпахотного горизонта при комбинированной обработке почвы.

2.5 Разработка комбинированного рабочего органа

Изучая и анализируя вышеизложенный материал, становится ясно, что наиболее эффективными способами основной обработки почвы являются те, которые отвечают почвозащитным технологиям и учитывающие почвенно-климатические условия.

Проблема сохранения плодородия с одновременным накоплением и распределением осадков по почвенным горизонтам до сих пор остается нерешенной, что подтверждается огромным разнообразием конструкций рабочих органов, осуществляющих основную обработку почвы. Все это говорит о том, что их оптимальной формы не найдено. Поэтому становится необходимой разработка рабочих органов, способных обеспечивать более качественную послойную обработку почвы с наименьшими энергетическими затратами, отличающихся простотой конструкции и легкостью перестроения для конкретных условий хозяйствования.

Качество вспашки определяется конструкцией рабочего органа, возможностью его технологических регулировок и режимами работы. Представленные выше рабочие органы были исследованы и с учетом их рациональных параметров использовались при разработке новой конструкции комбинированного почвообрабатывающего рабочего органа [44].

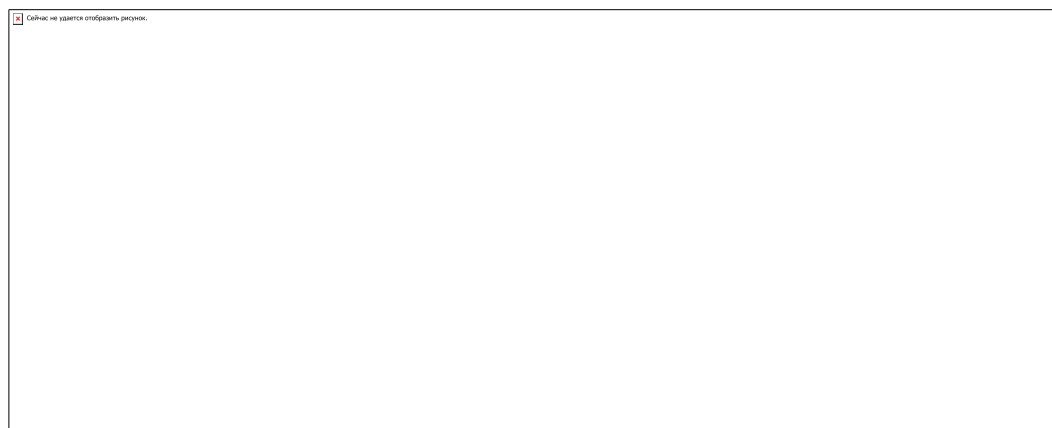
Конструктивно-технологическая схема комбинированного рабочего органа представлена на рисунке 2.9.

Комбинированный рабочий орган состоит из стойки 1 на которой закреплен отвальный корпус (лемех 4 с отвалом 2). Стойка рыхлителя 5 с долотом 6 прикреплена к стойке 1 через проставку 3.

Комбинированный рабочий орган работает следующим образом.

Технологический процесс работы комбинированного рабочего органа сводится к рыхлению почвы долотом 6 с последующим оборотом пласта отвалом 2. Величина обрабатываемого пласта регулируется опорными

колесами плуга. Глубина обработки почвы и соответственно величина подпахотного рыхления регулируется за счет перестановки рыхлителя 5 через проставку 3 (возможна дополнительная регулировка $\pm 0,02\text{м}$ за счет положения крепления проставки 3 к стойке 1) вдоль стойки 1.



1 – стойка; 2 – отвал; 3 – проставка; 4 – лемех ; 5 – стойка рыхлителя; 6 – долото

Рисунок 2.12 – Конструктивно-технологическая схема
комбинированного рабочего органа

Энергетика объемного рыхления от долота значительно меньше плоскостного резания лемехом. Поэтому, с учетом минимальной размерности орудия, исключения забиваемости и подпора почвой между долотом и лемехом почвой определены размеры между ними по ширине и высоте, а именно долото находится от края носка лемеха в поперечно-горизонтальной плоскости на расстоянии не более $(0,3...0,5) B_{\text{л}}$, где $B_{\text{л}}$ – ширина захвата отвального корпуса, а именно долото находится от края носка лемеха в поперечно-горизонтальной плоскости на расстоянии не более $(0,3...0,5) B_{\text{л}}$, где $B_{\text{л}}$ – ширина захвата отвального корпуса, а в продольно-горизонтальной плоскости не более $h_{\text{ч}2} - (0,1...0,2) B_{\text{л}2}$, где $h_{\text{ч}}$ – разница между глубинами рыхления и оборота пласта.

Такое конструктивное выполнение рабочего органа позволяет кардинально снизить тяговое сопротивление, металлоемкость и

энергозатраты, повысить эксплуатационно-технологические показатели и функциональные возможности адаптации к конкретным почвенно-климатическим условиям [42].

2.6 Выводы по разделу

1. Путем анализа возможных комбинаций объединения безотвальной и отвальной технологий обработки почвы, разработан энергосберегающий технологический процесс, совмещающий работу долота чизельного орудия и отвального корпуса плуга. Согласно данному процессу почва сперва рыхлится долотом рыхлителя, и затем верхняя часть обрабатываемого слоя оборачивается отвальным корпусом плуга.
2. Предложены различные сочетания энергосберегающих технологических процессов основной обработки почвы для осуществления данного процесса (с учетом расстановки рабочих органов на раме почвообрабатывающего орудия). С учетом исключения подпора почвы под лемехом долотом рыхлителя обоснована технологическая схема и основные параметры работы нового комбинированного рабочего органа.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработана программа и методика экспериментальных исследований.

3.1 Программа экспериментальных исследований

В программу экспериментальных исследований входит:

- Планирование факторного эксперимента.
- Определение твердости обрабатываемой почвы.
- Определение влажности обрабатываемой почвы
- Определение крошения обрабатываемой почвы
- Обработка результатов экспериментальных исследований и оценка погрешности измерений

3.2 Методика проведения экспериментальных исследований

3.2.1 Планирование факторного эксперимента

Изучая сложные процессы и явления, в которых на изменение условий работы будет влиять множество факторов, ставится задача оптимизации данных процессов. Изменение факторов меняет результат их воздействия на объект, а значит, и на оптимизируемую величину. Таким образом, оптимизируемая величина (параметр оптимизации) соответствует какой-то одной из выходных переменных управляемой системы или их комплексу, а факторы – входным переменным [62]. Решаются подобные задачи при недостаточном знании системы рассматриваемых явлений, которые невозможно исследовать аналитическими методами.

Первоначально, планируя эксперимент, главной задачей обычно

ставится получение статической математической модели уравнения регрессии первой или второй степени. Построение математической модели в общем виде сводится к следующему:

- предварительно изучается исследуемый объект;
- проходит выбор параметра оптимизации, подбираются факторы, совокупность которых определяет число опытов и по их результатам строится модель;
- Модель оценивается на адекватность, производится ее интерпретация (распознавание геометрического облика модели);
- производится оптимизация исследуемого процесса с помощью созданной модели, далее обосновываются его технологические режимы работы и конструктивные параметры.

Вариационный, регрессионный и дисперсионный анализы имеют большое значение при постановке факторных экспериментов. Уровни одного фактора сочетаются с уровнями всех остальных факторов в сложном факторном эксперименте. Под уровнями факторов понимают значения их величин, которые принимают при варьировании в эксперименте, а факторы влияют на значение отклика результата опыта, зависящего от них.

В зависимости от применяемых приборов (их системы, класса и т.д) и повторности измерений одних и тех же величин характеризуется понятие точности (ошибки). Исходя из надежности, уровень количества опытов которых принимают обычно в пределах от 0,5 до 0,999.

Чтобы получить более точные результаты надежность опытов H примем равной 0,95. Повторность определяется, используя предельную ошибку опытов равную 5%. В нашей работе повторность колеблется в пределах от 3 до 5 [28]. Определим по следующей формуле количество опытов при качественной изменчивости двух признаков:

$$n = \frac{pqt^2}{S_p^2} \quad (3.1)$$

где t – критерий Стьюдента для принятого уровня вероятности ($t_{0,5}=2$);

p и q – доля признака, численно равные отношению благоприятных и неблагоприятных случаев;

S_p – предельная ошибка при определении доли признака (по приведенным данным 2%).

Поверхность отклика в факторном пространстве аппроксимируют полиномом вида и строится полное квадратическое уравнение регрессии:

$$y = B_0 + \sum B_i x_i + \sum B_{ij} x_i x_j + \sum B_{ii} x_i^2 \quad (3.2)$$

где x_i – независимые факторы, влияющие на параметр оптимизации;
 $\sum B_i, \sum B_{ij}, \sum B_{ii}$ – коэффициенты регрессии.

Средняя арифметическая будет рассчитываться по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3.3)$$

где $\sum x$ – сумма всех вариантов; n – число вариантов.

Взвешенная средняя арифметическая вычисляется если все измерения сгруппировать в m классы с различными количествами измерений $n_1, n_2, n_3 \dots n_m$, в каждом классе:

$$\bar{x} = \frac{x_1 n_1 + x_2 n_2 + x_3 n_3 + \dots + x_m n_m}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_m} \quad (3.4)$$

где $x_1, x_2, x_3 \dots x_m$ – среднее значение величины по классу.

С помощью полученной математической модели с факторами в кодированных значениях можно оценить их степень влияния на параметр оптимизации (при существенности коэффициентов уравнения регрессии).

Далее проводится статистическая обработка и установление значимости коэффициентов регрессии с целью выяснения степени достоверности отличия коэффициентов от нуля, проверяется, указывает ли данный фактор на переменную. Незначительное отличие значения коэффициента регрессии от нуля будет в том случае, если этого влияния нет.

Находится дисперсия воспроизводимости результатов опыта с целью проведения статистического анализа. В точках плана дисперсии параллельных опытов должны быть сравнимы между собой.

Так как число повторностей в каждом опыте одинаково, то проведем по следующей схеме полный статистический анализ, и подсчитаем подстрочные дисперсии по следующей формуле:

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3.5)$$

где j - порядковый номер параллельного опыта в данной точке плана матрицы;

$(n - 1)$ – число параллельных наблюдений в точках плана матрицы.

Тогда, найдем по формуле среднее квадратическое отклонение s (стандарт):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.6)$$

Определим коэффициент вариации v , представляющий собой отношение стандарта к средней арифметической с помощью выражения:

$$v = \frac{s}{\bar{x}}. \quad (3.7)$$

Ошибка выборки s_x равна:

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (3.8)$$

Тогда найдем относительную ошибку средней дисперсии по формуле:

$$s_{x\%} = \frac{s_x}{\bar{x}} 100\% \quad (3.9)$$

Значение критерия зависит от принятого уровня значимости и от числа проведенных опытов. Его находят по специальным таблицам

3.2.2 Методика определения основных физико-механических характеристик обрабатываемой почвы

Твердость, влажность, крошение почвы, равномерность глубины обработки, выравненность поверхности поля, полнота заделки растительных остатков и коэффициент трения скольжения сталь-почва были взяты за основные параметры, способные охарактеризовать состояние обрабатываемой почвы.

Твердомером Ревякина в трехкратной повторности определялась твердость почвы (рисунок 3.1).

По известным методикам проводилась обработка твердограмм [60, 81, 97].

Согласно ОСТ 70.4.1-80, средняя твердость определялась как:

$$p = \frac{h_m k}{S_{\text{плунжер}}} \quad (3.10)$$

где h_m – средняя ордината диаграммы твердомера, см;

k – калибр (жесткость) пружины, Н/см;

$S_{\text{плунжера}}$ – площадь поперечного сечения плунжера, см².



Рисунок 3.1 – Определение твердости почвы твердомером Ревякина

Используя бюксы (20 шт), каждая из которых предварительно взвешивалась и пронумеровывалась в их незаполненном состоянии, определялась влажность почвы. Вес каждого бюкса при определении исходной влажности почвы определялся на контрольных весах и записывался под своим номером.

В сушильном шкафу (рисунок 3.2) до постоянной массы сушили пробу при 100...105°C. Первая сушка длилась 3ч., затем в течение 30 минут проба охлаждалась, а через 1 час проводилась контрольная сушка. Далее 30 минут пробы охлаждались, и производилось их взвешивание. После повторной сушки расхождение в массе допускаются не больше: 0,05 г. при высокой влажности, 0,03 г. при средней и низкой влажности, 0,003 г. При взвешивании на аналитических весах. Взвешивание на следующий день не допускается.

По следующему выражению определялось содержание влаги (абсолютная влажность) в почве $W\%$:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_1} 100\% \quad (3.11)$$

где m_1 - масса бюкса с влажной пробой почвы, г;

m_1 – масса пустого бьюкса с крышкой, г;

m_2 – масса бьюкса с сухой пробой почвы, г.

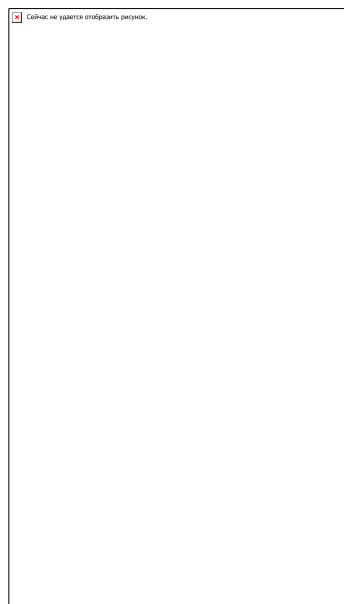


Рисунок 3.2 – Сушильный шкаф

Вычислив для каждого бьюкса процентное содержание влажности почвы определялось среднее значение исходной влажности ($W_{\text{ср}}$).

Для проведения лабораторных исследований оптимальное значеное влажности почвы должно находиться в диапазоне 20...22% [27, 81].

С помощью линейки и щупа с интервалом 1м по ходу движения рабочего органа не менее чем в 25 точках определялась, а в последующем корректировалась в процессе проведения опыта равномерность полной глубины обработки. Рекомендуемое отклонение от средней глубины пахоты составляет $\pm 0,02\text{м}$ (см. приложение 3).

По данной формуле определялось численное значение полноты заделки растительных остатков:

$$Z_{\text{po}} = \frac{M - M_i}{M} \quad (3.12)$$

где M – масса растительных остатков на опытном участке поля до прохода агрегата, кг;

M_i – масса растительных остатков на опытном участке поля после прохода агрегата.

Важной характеристикой основной обработки почвы является крошение. При плохом крошении почвы происходит увеличение непродуктивного расхода влаги, снижается качество посевных работ, полевая всхожесть семян и как следствие, урожайность. Фракции размером 0,25...10 мм считаются агротехнически ценными. Так же, при механической обработке, во избежание разрушения почвенных структурных агрегатов, нельзя допускать распыление частиц более 30%, имеющих размер не менее 0,25мм.

Определение крошения осуществляется по пробам, которые отбираются в четырех точках участка (по ходу и в обратном направлении движения агрегата) с площадок 0,5м на глубину обработки. С помощью лабораторного сита отобранные пробы разделяли на фракции и подвергали взвешиванию. В процентах по формуле вычислялась массовая доля каждой взвешенной фракции комков:

$$N_i = 10^2 m_i / m \quad (3.13)$$

где m_i — масса i -ой фракции в пробе, кг;

m — общая масса пробы, кг.

После прохода машины высотой поверхностных гребней чаще всего оценивают выравненность поля. Параллельно движению машины на поверхность гребней кладется рейка и измеряется расстояние от нижней точки борозды до рейки. Высота гребней не должна превышать 4 см. С помощью известной методики при помощи наложения поперек движения агрегата гибкого шнура измерялась выравненность поверхности поля [81, 92]. Коэффициент выравненности ε равен:

$$\varepsilon = \frac{L_{ш0} - L_{ш}}{L_{ш0}} 100\% \quad (3.14)$$

где $L_{ш0}$ — первоначальная длина шнура, 10 м;

$L_{ш}$ — расстояние между концами шнура после наложения, м.

Замеры проводятся не менее 20 раз, затем считается их среднее

значение, с помощью которого и определяется данный коэффициент. Удовлетворительной выравненность вспаханного поля считается при $\varepsilon < 7\%$

3.2.3 Методика обработки результатов экспериментальных исследований и оценка погрешности измерений

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались с использованием общепринятых методик [6, 29, 39, 56, 72, 76, 94, 96], методов математической статистики и компьютерной программы AgCStat надстройки Microsoft Excel для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов.

При помощи методик [2, 15, 29, 38, 39, 62, 63, 64, 194] многофакторного эксперимента были получены критерии оптимизации влияния нагрузки на рабочие органы при различной их компоновочной схеме.

Погрешности влияния «неизмеряемых» сил и моментов [109], при измерении энергетических показателей работы экспериментальных рабочих органов, были устранены путем тарирования наклеенных тензодатчиков, и составляют 1,5-2,5%.

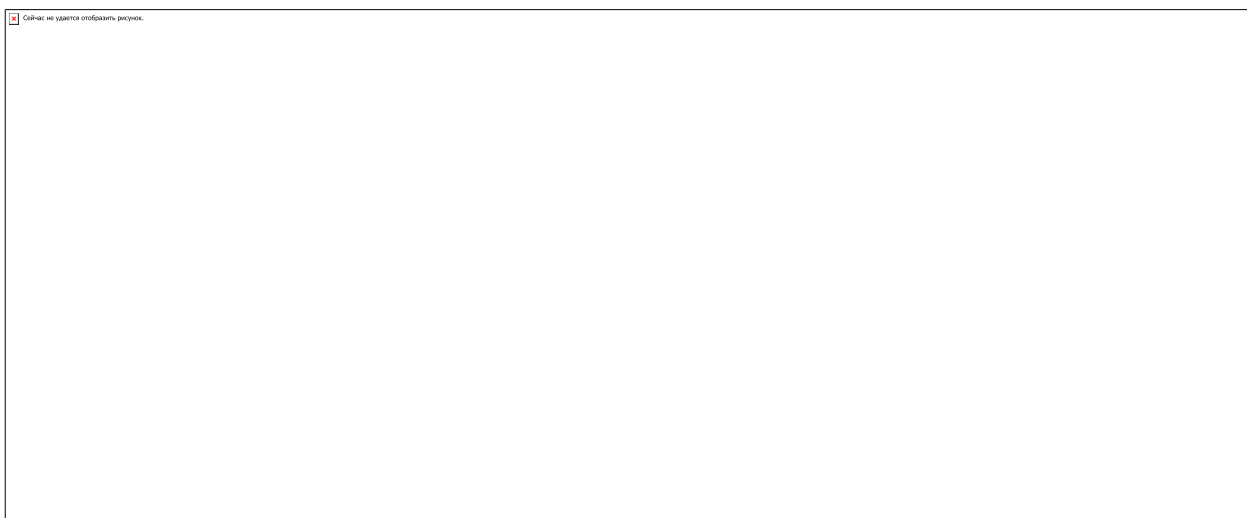
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты многофакторного эксперимента

Проведенные исследования влияния ширины долота, вертикального и горизонтального смещения стойки относительно носка лемеха на сопротивление рабочего органа [84] позволили получить уравнения регрессии.

Для исследования области оптимума, в соответствии с принятой методикой, нами был реализован план Рехтшафнера [2] для 3-х факторного эксперимента (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Факторы, их уровни и интервалы варьирования



По предложенной программе [34] опираясь на экспериментальные данные рассчитаны коэффициенты B_0 , B_i , B_{ij} и B_{ii} уравнения регрессии:

$$y = B_0 + \sum B_i x_i + \sum B_{ij} x_i x_j + \sum B_{ii} x_i^2 \quad (4.1)$$

По критерию Стьюдента оценивалась значимость коэффициентов уравнения (4.1). Удаляли незначимые коэффициенты и за счет коэффициентов регрессионной модели выполнялся повторный расчет [73]. В результате расчетов в кодированном виде получено уравнение регрессии:

$$H = 4997 + 13\hat{\sigma}_1 + 270\hat{\sigma}_2 + 208\hat{\sigma}_3 + 73\hat{\sigma}_1\hat{\sigma}_2 + 120\hat{\sigma}_1\hat{\sigma}_3 + 303\hat{\sigma}_2\hat{\sigma}_3 + 410\hat{\sigma}_1^2 + 1282\hat{\sigma}_2^2 + 1095\hat{\sigma}_3^2 \quad (4.2)$$

По критерию Фишера проверялась адекватность математической модели

$$F = \frac{S_{a^1 a^2}^2}{S^2(y)} \quad (4.3)$$

где $S^2(y) = \left(\frac{\sum_1^N \sum_1^n [y_{iq} - y_i]^2}{N(n+1)} \right)$ – дисперсия ошибки опыта:

$$S_{ад}^2 = \tau \sum_1^N (y_i - y_j) / (N - [k + 1])$$
 дисперсия неадекватности модели:

где y_i – случайная величина, рассчитанная по математической зависимости; k – число факторов;

y_i – среднеарифметическое значение случайной величины; y_{iq} – значение i -той величины в q -том опыте;

N – число строк матрицы плана; n – число повторностей опыта.

Результаты расчетов $S_{ад}^2$ и $S^2(y)$ показали, что при исследовании усилия резания $F = 0,82$, то есть $F_{0,05} > F$ (здесь $F_{0,05} = 2.1646$ – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5% [63,79]. Таким образом, математические модели адекватны результатам эксперимента.

Оптимальные значения факторов были определены с помощью предложённой программы [37], и представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные значения факторов

Фактор	Оптимальные значения факторов
x_1 – ширина долота, мм	$\frac{0}{50}$
x_2 – вертикальное смещение стойки, мм	$\frac{-0,1}{176}$
x_3 – относительное горизонтальное смещение стойки, мм	$\frac{-0,08}{-12}$

Примечание: в знаменателе – в раскодированном, в числителе – в кодированном виде оптимальные значения факторов.

Для систематизации и анализа полученную математическую модель второго порядка привели к типовой канонической форме.

В результате проведенных на ЭВМ расчетов в канонической форме B_{11} , B_{22} , B_{33} были получены коэффициенты регрессии и значения критерия оптимизации в оптимальной точке Y_s .

Уравнение регрессии (2), представленное в канонической форме, имеет вид:

$$Y_D - 4996 = 404X_1^2 + 1370X_2^2 + 1013X_3^2, \quad (4.4)$$

Поскольку все коэффициенты при квадратных членах имеют положительные знаки, то поверхности откликов, описанные уравнением (4.2), представляют не что иное, как трехмерные параболоиды с координатами центров поверхностей в оптимальных значениях факторов.

При рассмотрении двумерного сечения поверхностей отклика по уравнению регрессии (4.2), относительно ширина долота (x_1) и вертикального смещения стойки (x_2), фактор относительное горизонтальное смещение стойки находился на оптимальном значении $x_3 = -0,08$.

Результаты расчетов приведены графически на рисунке 4.1.

Могут быть рекомендованы следующие оптимальные значения факторов: $x_1 = -0,1 \dots 0,1$ и $x_2 = -0,2 \dots 0$.

При рассмотрении двумерного сечения поверхностей отклика по уравнению регрессии (4.2), ширина долота (x_1) и горизонтальное смещение стойки (x_3), фактор вертикальное смещение стойки фиксировался на оптимальном значении $x_2 = -0,1$.

Результаты расчетов графически представлены на рисунке 4.2.

Могут быть рекомендованы следующие оптимальные значения факторов: $x_1 = -0,1 \dots 0,1$ и $x_3 = -0,2 \dots 0$.

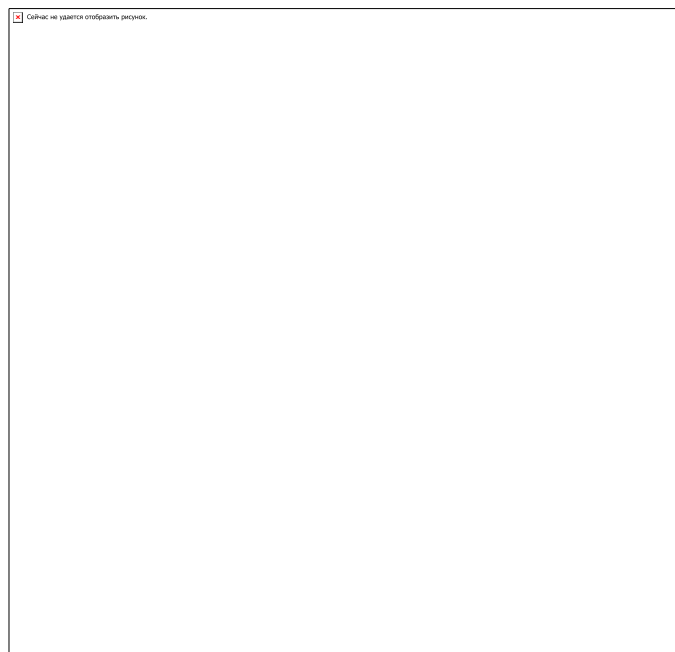


Рисунок 4.1 – Зависимость тягового сопротивления от x_1 и x_2 при $x_3 = -0,8$

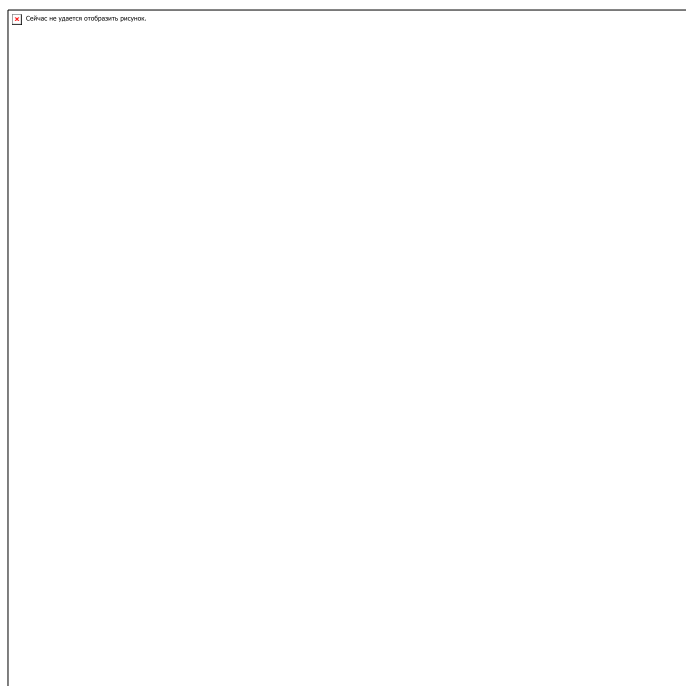


Рисунок 4.2 – Зависимость тягового сопротивления от x_1 и x_3 при $x_2 = -0,1$

При рассмотрении двумерного сечения поверхностей отклика по уравнению регрессии (4.2), вертикального смещения стойки (x_2) и горизонтального смещения стойки (x_3), фактор ширина долота фиксировался на оптимальном значении $x_1 = 0$. Могут быть рекомендованы следующие оптимальные значения факторов: $x_2 = -0,2 \dots 0$ и $x_3 = -0,2 \dots 0$.

Графические результаты расчетов представлены на рис. 4.3.

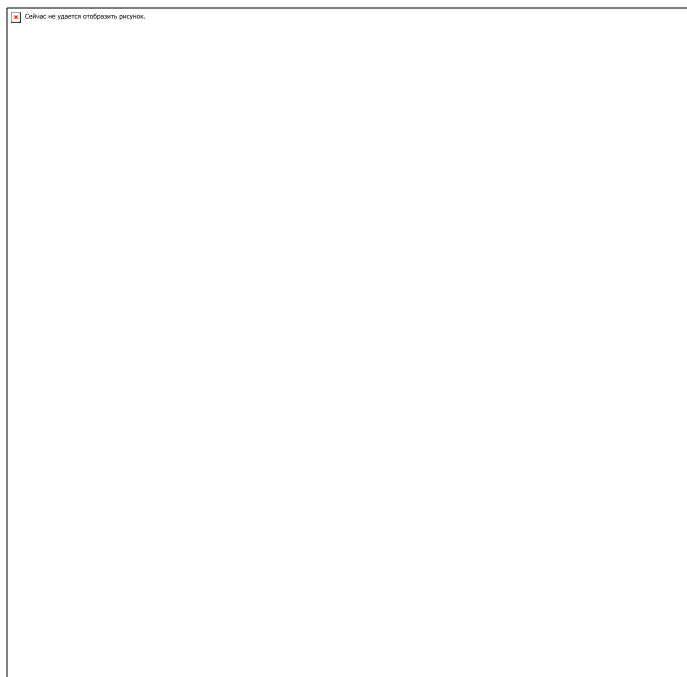


Рисунок 4.3 – Зависимость тягового сопротивления от x_2 и x_3 при $x_1=0$

Исходя из рисунков приведенного двумерного анализа можно сказать, что для обеспечения минимального тягового сопротивления отвально-чизельного рабочего органа, могут быть рекомендованы следующие оптимальные значения факторов: $x_1 = -0,1 \dots 0,1$ (0,49...0,51 мм), $x_2 = -0,2 \dots 0$ (172...180 мм), $x_3 = -0,2 \dots 0$ (-30...0 мм) [15]. Результаты расчета прилагаемой нагрузки и двумерных сечений для изучения влияния факторов представлены в таблицах приложения Д1- Д8.

4.2 Результаты экспериментальных исследований энергетических показателей

Обработка данных результатов экспериментов проводилась в соответствии с методикой, изложенной в разделах 3.2-3.4 и требованиями, изложенными в ТКП 079 – 2007 (02150) СТО АИСТ 10 4.6-2003.

В зависимости от выбора технологической операции, глубины обработки и расстояния между долотом рыхлителя и лемехом, характер воздействия на почву меняется, меняется нагрузка на рабочие органы (рисунок 4.4).

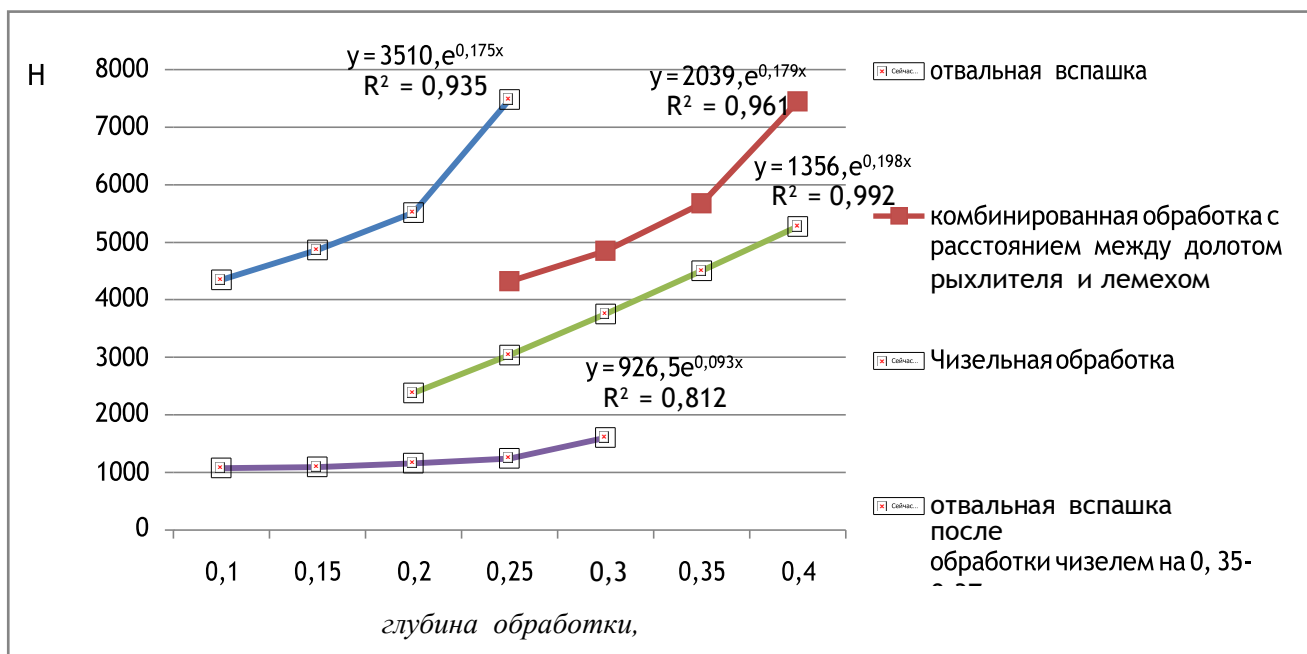


Рисунок 4.4 – Зависимость тягового сопротивления на рабочие органы от глубины обработки

Из графиков экспериментальных данных рисунка 4.4 видно, что процесс чизелевания является менее энергоемким, чем отвальная вспашка, имея возможность обработки почвы на большую глубину [45]. Проведенный опыт при работе отвального корпуса на поле, предварительно обработанном чизелем на глубину 0,35-0,38 м, выявил значительное снижение тягового сопротивления отвального рабочего органа. Так при отвальной обработке почвы на 0,2м, по предварительно обработанной чизелем почве, снижение составляет в пределах 4200Н.

Полученные результаты исследований показали высокую сходимость теоретических исследований. На рисунке 4.5 показана зависимость нагрузки при работе экспериментального рабочего органа от изменения глубины отвала и рыхления.

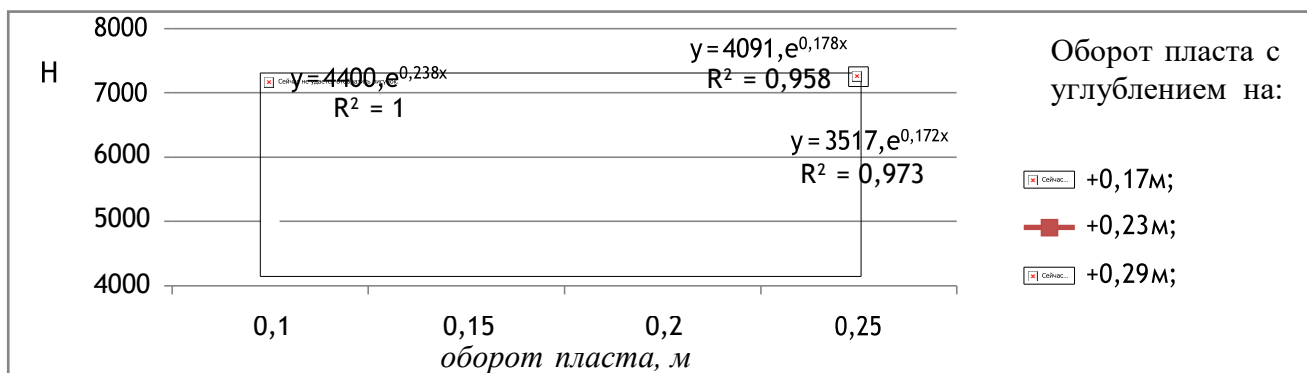


Рисунок 4.5 – Зависимость тягового сопротивления экспериментального рабочего органа от глубины работы отвала при различном заглублении чизеля

Опираясь на данные графиков рисунка 4.5, появляется возможность сделать выбор конструктивных параметров, настраивая рабочий орган на работу в различных климатических зонах и почвах, изменяя глубину оборота и рыхления почвенного пласта.

Так же, не менее важным критерием влияния нагрузки на рабочие органы является скорость движения машинно-тракторного агрегата. На рисунках 4.6, 4.7 и 4.8 представлены графики зависимости нагрузки на экспериментальные комбинированные рабочие органы от скорости движения при различной глубине обработки и расстоянии между долотом и лемехом.

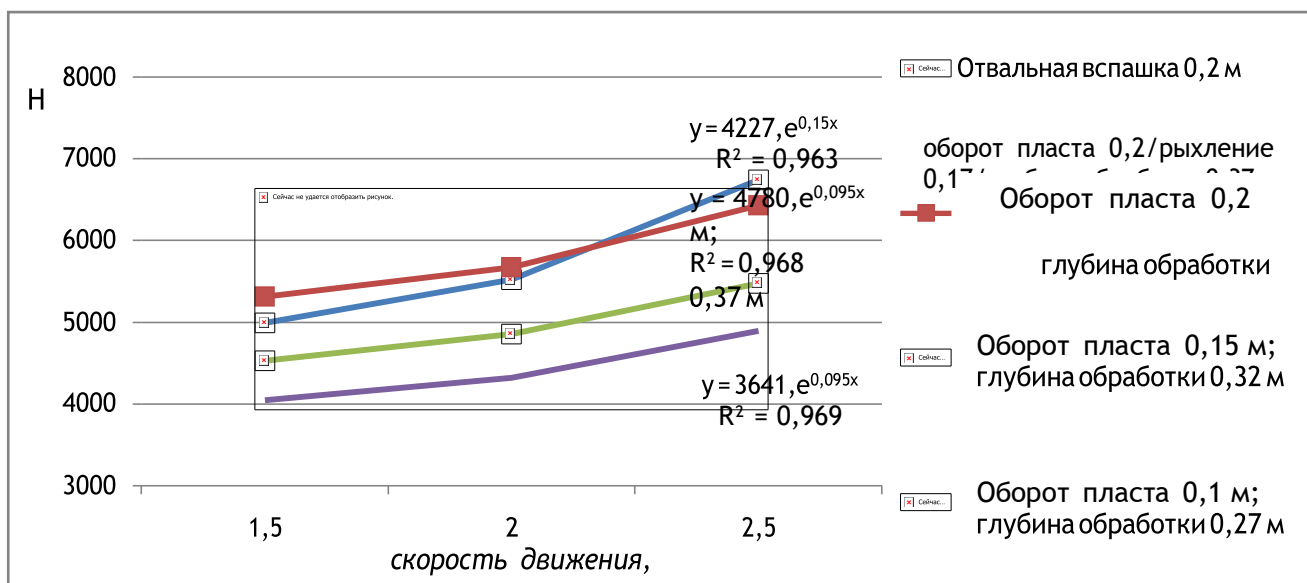


Рисунок 4.6 – Зависимость тягового сопротивления экспериментального рабочего органа от скорости движения для различных глубин обработки при расстоянии между долотом рыхлителя и лемехом 0,17 м

Из графика рисунка 4.6 видно, что с увеличением скорости движения орудия увеличивается нагрузка на рабочий орган, причем, при отвальной вспашке ее возрастание происходит более интенсивно, чем у комбинированного рабочего органа. Данный процесс связан с меньшими энергозатратами на оборот пласта отвалом разрыхленной относительно необработанной почвы. Тяговое сопротивление отвального корпуса и экспериментального, при работе отвалов на одинаковую глубины, идентичны, но экспериментальный рабочий орган дополнительно рыхлит почву чизелем на 0,17 м. Данная зависимость прослеживается при дальнейшем увеличении глубины рыхления (+0,23 м) и представлена рисунке 4.7.

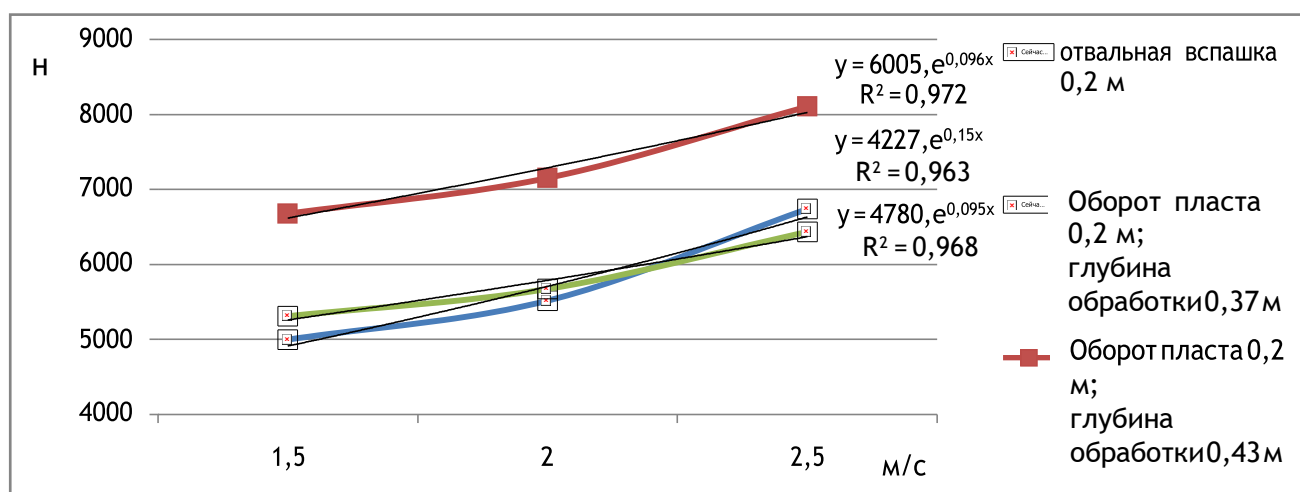


Рисунок 4.7 – Зависимость тягового сопротивления отвального корпуса и экспериментального рабочего органа от скорости движения при расстоянии между долотом рыхлителя и лемехом 0,23 м

Изменяя скорость движения комбинированного рабочего органа (рисунок 4.8), при различных глубинах обработки и постоянной разницей между рыхлением и оборотом пласта (0,23 м), наблюдается повышение нагрузки на рабочий орган. Это связано с достижением рыхлителем зоны

критической глубины и приходящейся на лемех отвального корпуса большей части необработанной поверхности почвы.

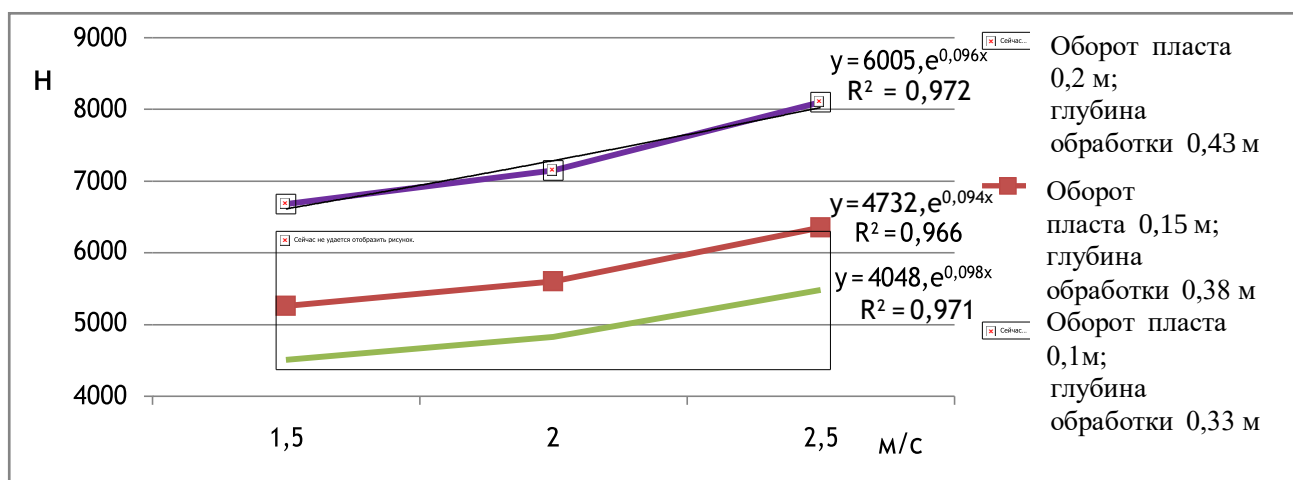


Рисунок 4.8 – Зависимость тягового сопротивления экспериментального рабочего органа от скорости движения при различных глубинах обработки с расстоянием между долотом рыхлителя и лемехом 0,23 м

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что объединение технологии чизелевания с отвальной обработкой почвы в единый, позволяет повысить агротехническую и энергетическую эффективности основной обработки почвы за счет уничтожения сорных растений, заделки в обрабатываемый слой органических и минеральных удобрений, снижением эрозионных процессов. При этом, для крошения используется процесс растяжения почвы от долота, а отвалом оборачивается уже взрыхленная её часть, чем и объясняется снижение энергетических затрат обрабатываемого слоя предлагаемым рабочим органом.

Необходимо указать, что применение комбинированного рабочего органа с двумя источниками напряжений, в силу конструктивной особенности, волны напряжений которых не накладываются, а воздействуют на почву последовательно и самостоятельно [19]. Применение первоначального рыхления от чизеля (при оптимальном расположении долота рыхлителя относительно носка лемеха) обеспечивает снижение

энергозатрат (в сравнении с серийными рабочими органами ПЛН, ЛПН), так как в предложенном нами варианте лемех работает уже во взрыхленной почве. При интерференции напряжений внутренние связи в почве разрушаются или ослабевают настолько, что сопротивление отвала снижалось бы только на 14-18% [83, 105]. Кроме того, для дополнительного снижения энергозатрат, предусматривается оборот почвы отвалом не на всю глубину, а только верхнего, основного корнеобитаемого.

Двухступенчатый характер обработки, основанный на преодолении вначале сопротивления разрыву, а затем сопротивления сдвигу, наиболее приемлемый для обработки консолидированных от природы солонцеватых или орошаемых, либо искусственно уплотненных почв.

4.3 Выводы по разделу

1. При помощи уравнения регрессии и реализованного плана Рехтшафнера для 3-х факторного эксперимента, рисунков приведенного двумерного анализа, можно сказать, что для обеспечения минимального тягового сопротивления отвально-чизельного рабочего органа, могут быть рекомендованы следующие оптимальные значения факторов: ширина долота 0,049...0,051 м, вертикальное смещение стойки 0,172...0,18 м, относительное горизонтальное смещение стойки – 0,030...0 м.
2. Проведенные исследования показали, что обработка почвы чизелем снижает твердость почвы, в слое 0,15-0,20 м, с 45-50 кгс/см² до 4-7 кгс/см². Изменение твердости почвы снижает нагрузку на отвальный корпус с 3560 +/-220Н до 1370+/-60Н. При увеличении скорости движения орудия возрастает нагрузка на рабочие органы, причем у отвального корпуса данный процесс происходит более интенсивно, чем у комбинированного рабочего органа. Работая отвальным корпусом и комбинированным рабочим органом на одинаковую

глубину оборота пласта почвы(0,2 м), при скорости движения агрегата 1,5 км/ч, разница в нагрузке составляет 1,06%, 2 км/ч – 1,02%, и с дальнейшим ее увеличением сначала становится равной нагрузке при комбинированной обработке, а затем превышает ее на 1,05%. Причем, общая глубина обработки комбинированным рабочим органом за счет установки рыхлителя (+0,17 м) составляет 0, 37 м, в то время как отвальная, только 0,2м, т.е. на 46% меньше. Данная зависимость прослеживается при дальнейшем увеличении глубины рыхления (+0,23 м).

3. С помощью полученных данных опыта определено, что при достижении глубины $\geq 0,38$ м, площадь рыхления изменяется менее интенсивно. Это обуславливается нахождением рабочего органа на глубине больше критической с последующим рыхлением пласта лишь на ширину захвата долота. Крошение отвального корпуса без рыхлителя значительно меньше, чем у комбинированного рабочего органа. Но с увеличением скорости движения рабочих органов у отвального корпуса относительно комбинированного, оно возрастает более интенсивно. Увеличивая скорость движения и разницу между глубинами рыхления и оборота пласта комбинированного рабочего органа, отмечается снижение интенсивности крошения, так-так на отвальный корпус большей доли неразрушенных долотом рыхлителя фракций.

5 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛУГА С РАЗРАБОТАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Для оценки эффективности применения экспериментальных комбинированных рабочих органов, выполним сравнительный расчет экономической эффективности относительно пахотного агрегата К-701+ПНЛ-8-40 с серийными рабочими органами. Расчет был произведен на персональном компьютере в программе Microsoft Office Excel, результаты расчетов и исходные данные которого приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные для определения экономической эффективности применения плуга ПЛН с экспериментальными рабочими органами

Показатели	Единицы измерения	К-701 + ПНЛ-8-40	К-701 + Экспериментальные Р.О.
Скорость движения агрегата	км/ч	7,8	9,8
Глубина пахоты	см	25-27	Рыхление 25-27
			Оборот пласта 10-12
Ширина захвата	м	3,2	3,2
Коэффициент использования мощности двигателя		0,8	0,8
Коэффициент использования времени смены		0,77	0,76

По следующей зависимости была рассчитана часовая эксплуатационная производительность пахотных агрегатов $W_{\text{ч}}$, га/ч:

$$W_{\text{ч}} = B_p K_n, \quad (5.1)$$

где $0,1$ – коэффициент перевода квадратных метров в гектары;

K_n – коэффициент перехода от технической производительности МТА к эксплуатационной ($0,7 \dots 0,9$);

B_p – ширина захвата МТА, м;

$W_{чб}$ – производительность базовой машины;

$W_{чэ}$ – производительность экспериментальной машины;

V_p – скорость движения МТА, км/ч.

По формуле определялись затраты труда на единицу работы:

$$T_p = Ч / W_{ч}, \quad (5.2)$$

где T_p – трудоемкость работы, чел.-ч/га;

$W_{ч}$ – часовая производительность МТА, га/ч;

$Ч$ – количество рабочих, обслуживающих МТА, чел.

Так же был рассчитан удельный расход энергоресурсов (дизельного топлива):

$$\mathcal{E} = N q_{y\partial} K_{\partial} / W_{ч}, \quad (5.3)$$

где $\mathcal{E}_e$ – расход топлива на га, кг;

K_{∂} – коэффициент, учитывающий степень использования двигателя по мощности и времени;

N – мощность двигателя, кВт;

$q_{y\partial}$ – удельный расход топлива, кг/кВт*ч.

Рассчитывалась себестоимость единицы работы:

$$C = C_3 + C_a + C_p + C_2 + C_n, \quad (5.4)$$

где C_a – амортизационные отчисления, руб/га;

C_p – затраты на ремонт;

C_3 – заработная плата обслуживающего персонала, руб/га;

C_2 – затраты на ГСМ, кг/га;

C_6 – себестоимость работы базовой;

C_n – накладные расходы, руб/га;

C_3 – себестоимость работы экспериментальной машины.

Как сумма всех составляющих определялись амортизационные отчисления:

$$C_a = B a / (100 T / W \text{ ч}), \quad (5.5)$$

где B – капитальные вложения, руб;

T – годовая загрузка машины, ч;

a_2 – норма амортизационных отчислений трактора (12,5%), %;

a_n – норма амортизационных отчислений плуга (10%), %.

Заработная плата C_3 руб/га обслуживающего персонала составляет:

$$C_3 = C \text{ ч } K_3 / W \text{ ч}, \quad (5.6)$$

где C – часовая тарифная ставка, руб;

W – часовая производительность МТА, га/ч;

K_3 – коэффициент, учитывающий различные виды доплат и начислений;

$Ч$ – количество рабочих, обслуживающих МТА, чел.

Затраты на смазочные материалы и горючее C_7 кг/га, будут:

$$C_7 = \mathcal{E}_e \text{ ц } K_a, \quad (5.7)$$

где $\mathcal{E}_e$ – удельный расход энергоресурсов, кг/га;

K_a – коэффициент, учитывающий затраты на смазочные материалы;

ц – цена за 1 кг топлива, 31,5 руб.

Затраты за один час работы на ремонт C_p будут равны:

$$C_p = B a_1 / (100 T \text{ ч}), \quad (5.8)$$

где B – капитальные вложения, руб;

a_1 – норма отчислений на трактор (16,3 %) и с.х машину (20 %), %;

W – часовая производительность МТА, га/ч;

T – годовая загрузка машины (500 ч), ч. Накладные расходы составляют C_n , руб/га:

$$C_n = 0,05(C + C_a + C_p + C_z), \quad (5.9)$$

где C_a - амортизационные отчисления, руб/га;

C_p - затраты на ремонт и ТО, руб/га;

C_r - затраты на горючее и смазочные материалы, руб/га; C_z - заработная плата обслуживающего персонала, руб/га.

Годовая экономия эксплуатационных затрат $\mathcal{E}_r$:

$$\mathcal{E}_r = (C_x C_n) T_o \text{ ч.} \quad (5.10)$$

где C_x, C_n – себестоимость работы соответственно для менее и более экономичного МТА, руб/га;

$W_{\text{ч}}$ - часовая производительность МТА, га/ч;

T_o -загрузка МТА на данной операции в течение года, ч.

Определяем из следующей зависимости срок окупаемости L_c и год допол- нительных капиталовложений:

$$L = (B_l B_x) / \mathcal{E}_r \quad (5.11)$$

где B_l -балансовая стоимость более экономичного агрегата, руб;

B_x -балансовая стоимость менее экономичного агрегата, руб.

Взяв за основу вышеизложенное и данные таблицы 5.1, нами были рассчитаны показатели экономической эффективности применения плуга с разработанными комбинированными рабочими органами. Данные расчета представлены в таблице 5.2.

Расчет экономической эффективности применения новых РО выполнен в ценах 2015г.

Себестоимость обработки почвы экспериментальными комбинированными рабочими органами на 29,5% ниже, чем серийным. Получению приведенного годового экономического эффекта

способствовала разнице в полных затратах средств.

Степень снижения затрат труда, плугом с экспериментальными комбинированными рабочими органами составляет 17,3% , что достигается за счет наиболее высокой эксплуатационной производительности трактора 5 тягового класса в пахотном агрегате, в результате снижения энергоемкости при основной обработке почвы.

Таблица 5.2 – Показатели экономической эффективности применения пахотных агрегатов разработанных рабочих органов в сравнении с серийными

Наименование показателя	К-701- ПНЛ-8-40	
	Серийные РО	Экспериментальные РО
Затраты труда, чел.ч/га	0,52	0,43
Снижение затрат труда, %		17,3
Себестоимость работ, руб/га	1036,6	730,4
Снижение себестоимости технологии; %		29,5
Годовая экономия затрат, руб		337693
Срок окупаемости, лет		0,4

Анализ показателей экономической эффективности применения плуга с комбинированными рабочими органами в сравнении с отвальными рабочими органами показал снижение затрат труда на 17,3%, что достигается за счет наиболее высокой эксплуатационной производительности трактора 5 тягового класса. Себестоимость обработки почвы экспериментальными комбинированными рабочими органами на 29,5% ниже, чем серийным ПНЛ-8-40.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ патентной и технической литературы позволяет судить об эффективности объединения чизельной и отвальной обработок почвы за счет энергосбережения, улучшения влагоемкости, уничтожения сорных растений, заделки органических и минеральных удобрений.

2. Усовершенствован технологический процесс глубокой обработки почвы за счет объединения процессов работы чизельного и отвального рабочих органов.

Разработана и обоснована конструкция комбинированного рабочего органа для глубокой обработки почвы, состоящая из чизельного рыхлителя и отвального корпуса.

3. Проведенные исследования установили, что минимальное тяговое сопротивление комбинированного рабочего органа достигается при следующих оптимальных значениях: ширина долота 0,049...0,051 м; вертикальное смещение носка долота чизеля относительно горизонтальной плоскости носка лемеха 0,172...0,18 м; продольное смещение 0,0...0,03 м назад. Для исключения заклинивания почвы между долотом рыхлителя и лемехом, расстояние между ними в вертикальной плоскости должно составлять не менее 0,145 м.

4. Результаты проведенных исследований подтвердили целесообразность применения плугов с комбинированными рабочими органами, соответствующие нормативам по агротехническим и энергетическим показателям. Проведенные исследования показали, что обработка почвы чизелем на глубину 0,35-0,38 снижает её твердость в слое 0,15-0,20 м, с 45-50 кгс/см² до 4-7 кгс/см², соответственно снижается нагрузка на отвальный корпус с 4560 ± 220 Н до 1370 ± 60 Н.

5. Анализ показателей эффективности применения плуга с комбинированными рабочими органами в сравнении с отвальными показал снижение затрат труда до 17,3% и себестоимости технологии до 29,5%. Годовая экономия затрат составила 337693 руб. Расчет экономической эффективности применения новых рабочих органов выполнен в ценах

2017г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянов, Г.Д. Обработка почвы в занятом пару / Г.Д. Аверьянов, М.С. Матюшин – Земледелие. - 1983. - №6. – 24 с.
2. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский – М. Наука, – Изд-е второе, перераб. и доп., 1976. – 279с.
3. Акимов А.П., Влияние свойств почвы и глубины хода дискового ножа на его сопротивление/ А.П. Акимов, Ю.В. Константинов, И.Н. Аквильянова – тракторы и сельхозмашины. - 2011.- №11.- С. 38 - 41.
4. Алифанова, Т. И. Внутрипочвенный сток на полях Заволжья, защищенных лесными полосами / Т. И. Алифанова. – Почвоведение.-1965.- №9.-С.63-71.
5. Бабкин, А.В. Прикладная механика сплошных сред Том 1. Основы механики сплошных сред: учебник для ВТУЗов / А.В. Бабкин, В.В. Селиванов. - М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана. - 2006. - 376 с.
6. Базаров, М.К. Матрикс информации при минимизации сложности методов количественного анализа (пособие начинающему исследователю). - Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН / М.К. Базаров, П.И. Огородников. 2008.-357 с.
7. Бараев, А.И. Основная и предпосевная обработка почвы. Почвозащитное земледелие / Бараев А.И., Зинченко И.Г. -М., 1975.- 126-167 с.
8. Бахтин, П.У. Исследования физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР / П. У. Бахтин; И: У. -М : Колос, 1969. - 270 с.
9. Бойков, В.М. Качество обработки почвы низкой влажности плугами общего назначения / В.М. Бойков, С.В. Старцев, О.В. Саяпин. – Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2013. Т. 1. № 6. С. 54-55.

10. Бойкова, Е.В. Совершенствование энергосберегающего технологического процесса основной обработки почвы и плуга общего назначения: дис. канд. тех. наук / Е.В. Бойкова. – Саратов 2010. 165 с.
11. Бледных, В.В. Технологические основы определения параметров рабочих органов почвообрабатывающих машин / В.В. Бледных. – Машины почвообрабатывающие, посевные, и для внесения удобрений. -Вып. 2.-М., 1978.-С. 3-4.
12. Борисенко, И.Б. Агротехнические подходы при проектировании рабочего органа минимальной обработки почвы с полосным углублением / И.Б. Борисенко, М.Н. Шапоров, П.И. Борисенко. – Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 4 (32). 193-197 с.
13. Борисенко, И.Б. Агротехнологические подходы при проектировании рабочих органов для основной глубокой обработки почвы / И. Б. Борисенко, А. Е. Доценко. – Поиск инновационных путей [Текст, 14 мая 2014 г. — Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2014. 123-130 с.
14. Борисенко, И.Б. Анализ и оценка рабочих органов для послойной обработки почвы / И.Б. Борисенко, А.Е. Доценко, П.И. Борисенко.– М., Вестник РАСХН, 2013. 188-194 с.
15. Борисенко, И.Б. Оптимизация конструктивных параметров отвально-чизельного рабочего органа / И.Б. Борисенко, А.Е. Доценко, С.В. Тронеv. – Вестник ВолГАУ 2015 г. 142-146 с.
16. Борисенко, И.Б. Орудие минимальной полостной обработки с рабочими органами РОПА. / И.Б. Борисенко, М.Н. Шапоров, П.И. Борисенко, А.Е. Доценко. – М., Вестник РАСХН, 2013. 197-199 с.
17. Борисенко, И.Б. Роль механической обработки и деградация почв Нижнего Поволжья: Модели и технологии оптимизации земледелия: Сборник докладов / И.Б. Борисенко и др. – Курск 2003 г.
18. Борисенко, И.Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы в

острозасушливых условиях Нижнего Поволжья. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. / И.Б. Борисенко. – Волгоград 2006 г.

19. Борисенко, И.Б. Технические и технологические особенности комбинированного рабочего органа / И.Б. Борисенко, А.Е. Доценко. – Нива Поволжья Пензенская ГСХА. 2015 г. № 3. 89-96 с.

20. Борисенко, И.Б. Технология основной обработки почвы и оборудование при производстве пропашных культур / И.Б. Борисенко, М.Н. Шапоров, А.Е. Доценко, П.И. Борисенко. Известия Оренбургского ГАУ. 2015 г. 76-79 с.

21. Борисенко, И.Б. Технология минимальной обработки почвы с полосным углублением и рабочий орган для ее осуществления. Материалы Международной научно-технической конференции «Интеграция науки и производства – стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО» Том 5, /И.Б. Борисенко, А.Е. Доценко, П.И. Борисенко, М.Н. Шапоров// Волгоград 2013г. С.79-84.

22. Борисенко, И.Б. Чизелевание почвы: перспективные орудия и способы возделывания широкорядных пропашных культур / И.Б. Борисенко, А.Е. Новиков, А.Е. Доценко, П.И. Борисенко // Аграрный научный журнал. – 2015. - №7 – С. 41-45.

23. Босой, Е.С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения/ Е.С. Босой, О.В. Верняев и др. 2-е изд., перераб. и доп. —М.: Машиностроение, 1977 - 568с.

24. Бурченко, П.Н. Состояние и перспективы машинной обработки почвы. Механизация и электрификация сельского хозяйства / П.Н. Бурченко. – 1999. - № 12- С. 78 с.

25. Бэтчелор, Дж. Введение в динамику жидкости / Дж. Бэтчелор. – М.: Мир. - 1973.— 760 с.

26. Вагин; А. Т. Механизация защиты почв от водной эрозии в нечерноземной полосе./ А.Т. Вагин. – Л.: Колос, 1977. -270с.

27. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Агропром – издат. – 1986 - 416 с.
28. Вернадский, В.И. Избранные сочинения / В.И. Вернадский. – Издательство академии наук СССР. - М.: - 1960. - Т.5. - 482 с.
29. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. - 199с.
30. Ветохин, В.И. Модель крошения почвы под действием клина. / В.И. Ветохин. –Тракторы и сельскохозяйственные машины. - №10. - 1994. 25 – 27 с.
31. Виноградов, В.И. Автореф. дис. д.т.н. Сопротивление рабочих органов плуга и методы снижения энергоемкости пахоты / В.И. Виноградов. –М.: 1969.-45 с.
32. Воронин, А.Д. Основы физики почв. / А.Д. Воронин. М.: МГУ. - 1986. - 214 с.
33. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. - М.: Высш. школа, 1978.-447 с.
34. Горячкин, В. П. Собрание сочинений. Том 1. / В.П. Горячкин. –М.: Колос, 1968.-455 с.
35. Горячкин, В. П. Собрание сочинений. Том 2. / В.П. Горячкин. –М.: Колос, 1968.-720 с.
36. Грибановский, А.П. Комплекс противозерозионных машин (теория, проектирование)/ А.П. Грибановский, Р.В. Бидлингмайер. – Алма-Ата: Кайнар, 1990.- 256с.
37. Гячев, Л.В. Теория лемешно-отвальной поверхности / Л.В. Гячев. – Тр. Азово- Черномор. ИМСХ. - Зерноград. - 1961. Вып. 13. - 317 с.
38. Дегтярев, Ю.П. Регрессионный анализ на ПЭВМ [Текст] / Ю.П. Дегтярев, А.И.Филатов. – Труды Волгоградского СХИ, 1992. – с.128-131.
39. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп и перераб / Б.А. Доспехов. - М.: Агро-промиздат, 1985. -351 с.

40. Доценко, А.Е. Агротехническое обоснование рабочего органа для глубокой послойной обработки почвы. Сб. статей. Том 5 / А.Е. Доценко, И.Б. Борисенко, П.И. Борисенко. – Волгоград 2013г. 97-101 с.
41. Доценко, А.Е. Анализ конструкций рабочих органов для основной (послойной) обработки почвы. Материалы Международной научно-технической конференции «Интеграция науки и производства – стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО». Том 5 / А.Е. Доценко, И.Б. Борисенко. – Волгоград 2013. 184-188 с.
42. Доценко, А.Е. Модернизация рабочего органа плуга. Материалы VII Международной научно-практической конференции молодых исследователей посвященной 70-летию Победы в Сталинградской битве «Наука и молодежь: новые идеи и решения» / А.Е. Доценко, И.Б. Борисенко. – Наука и молодежь: «Новые идеи и решения» Часть 1 Волгоград 2012.-76 с.
43. Доценко, А.Е. Оптимизация конструктивных и технологических параметров отвально-чизельного рабочего органа. 9 международная конференция «Развитие науки в 21 веке» 1 часть / А.Е. Доценко, И.Б. Борисенко. – НИЦ «Знание». Харьков 2015. 82-88 с.
44. Доценко, А.Е. Ресурсосберегающий комбинированный рабочий орган / А.Е. Доценко. – «Научное обозрение: теория и практика» №2, 2013. 67-70 с.
45. Доценко, А.Е. Экспериментальное обоснование основных параметров рабочего органа с почвоуглубителем. Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию образования ВолГАУ «Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО». Том 2 / И.Б. Борисенко, А.Е. Доценко. – Волгоград 2014. 125-130 с.
46. Желиговский, В.А. Теоретические основы технологического процесса вспашки / В.А. Желиговский. – Тр. ВИСХОМ. Вып. 5. 1969 г. 23-30 с.
47. Желиговский, В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов / В.А. Желиговский. – Тбилиси: Изд-во Груз. СХИ. – 1960 г. - 146 с.
48. Зеленин, А.Н. Машины для земляных работ. Учебное пособие для

вузов / А.Н. Зеленин и др. - М.: Машиностроение. – 1975 г. - 424 с.

49. Зозуля, В.В. Механика сплошной среды. / В.В. Зозуля, А.В. Мартыненко, А.Н. Лукин. – Харьков 2003 г. - 600 с.

50. Ильюшин, А.А. Механика сплошной среды: издание третье, переработанное и дополненное. / А.А. Ильюшин. - М.: МГУ. – 1990 г. - 310 с.

51. Иофинов, С. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка./ С. А. Иофинов, Г. П. Лышко. – М.: Колос, 1984. -351 с.

52. Исаев, Ю.М. Влияние формы рыхлителя подпахотного горизонта на тяговое сопротивление / Ю.М. Исаев, В.А. Богатов, А.В. Павлушин. – Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008 г. - № 5. с 16. 39

53. Казаков, В.С. Гидромеханическое подобие потоков жидкости / В.С. Казаков. – Техника в сельском хозяйстве. 1989 г. - № 3. - 22-25 с.

54. Казаков, Г.И. Совершенствование обработки почвы в Среднем Поволжье. / Г.И. Казаков. – Известия СГСХА Выпуск 4. -2008 г.

55. Калинин, А.Б. Критерии и методы оценки выполнения агротехнических требований к параметрам почвенного состояния в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур [Текст] / А.Б. Калинин. – Спб. Пушкин. – 2000 г. 360 с.

56. Калинина, В.Н., Панкин В.Ф. Математическая статистика: Учеб. для техникумов / В.Н. Калинина. – М.: Высш. шк. – 1994 г. - 336 с.

57. Картамышев, И.Т. Развивать теорию, совершенствовать практику обработки почвы / И.Т. Картамышев, И.Т. Бардунова, В.М. Володин. – Земледелие. -1986 г. -№2. 26-29 с.

58. Каштанов, А.Н. Научные основы современных систем земледелия / А.Н. Каштанов и др. - М.: Агропромиздат. – 1988 г. - 255 с.

59. Киндзов, В.А. Механика воздействия двухгранного клина со связным пластом почвы / В.А. Киндзов. – Тракторы и с.-х. машины. - № 3 -1991 г. 184с.

60. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В.А. Сакун. – М.: Колос. - 1994 г. - 751 с.

61. Кочетов, И.С. Энергосберегающие технологии обработки почвы / И.С.

- Кочетов, А.М. Гордеев, СМ. Вьюгин. – М.: Моск. Рабочий. – 1990 г. - 165 с
62. Кузнецов Н.Г. Введение в курс математических моделей: учебное пособие / Н.Г. Кузнецов – Волгоградский с.-х ин-т. 1992 г. 73 с.
63. Кузнецов Н.Г. Вводные лекции по математическому моделированию и математической теории эксперимента [текст]: учебное пособие / Н.Г. Кузнецов, С.И. Богданов. – Волгоград: Волгоградская ГСХА, 2008 г. - 182 с.
64. Кузнецов Н.Г. Вводные лекции по математическому моделированию и математической теории эксперимента [текст] / Н.Г. Кузнецов, С.И. Богданов. – Волгоград, 2007. – 182 с.
65. Кулен, А. Современная земледельческая механика. / А. Кулен, Х. Куйперс Перевод с англ. А.Э. Габриэлян. Под ред. с предисл. Ю.А. Смирнова. – М.: Агро-промиздат. – 1986 г. - 349 с.
66. Кусков, П.В. Отчёт о деятельности Земского опытно-показательного поля в 1908 г. / П.В. Кусков. – Камышин, тип. Фадеева Г.И. - 1908 г.-84 с.
67. Кушнарев, А С. Выбор способа основной обработки почвы / А. С. Кушнарев, В. Д. Алба. – Теория шрасчет почвообрабатывающих машин. Том 120 – М.: 1989 г.-164 с.
68. Кушнарев, А.С. Методологические предпосылки выбора способа обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.В.Погорелый. – Техника АПК, №1, 2008. 17-21 с.
69. Кушнарев, А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.И. Кочев - Киев.: Урожай. - 1989. - 144 с.
70. Кушнарев, А.С. Реологическая модель почв при воздействии на них почвообрабатывающих органов. / А. С. Кушнарев. – Вопросы механизации сельского хозяйства. Т. 17. -Мелитополь 1971 г.
71. Листопад, Г.Е. Расчет тягового сопротивления почвоуглубителя с наклонной стойкой / Г.Е. Листопад, Ф.М. Маматов, И.Т. Иргашев. – Техника в сельском хозяйстве. - № 6. 1991 г. 7-36 с
72. Листопад, И.А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства / И.А. Листопад. – М.:

Агропромиздат 1964 г. 77 с.

73. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука. – 1987 г. 840 с.

74. Мацепуро, М.Е. Вопросы земледельческой механики / М.Е. Мацепуро. – Минск: Государственное изд-во БССР. – 1959 г. - 388 с.

75. Медведев, В.В. Структура почвы / В.В. Медведев. – Харьков 2008 г. - 406 с.

76. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях с.-х. процессов [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – М.: Колос, 1972. – 200 с.

77. Милюткин, В.А. Влияние параметров и скорости движения рабочего органа на процесс разрушения почвенного пласта / В.А. Милюткин. – Сборник научных трудов ВИМ. Т. 82. - М.: ВИМ. 76-92 с.

78. Михайлин А.А. Глубокое рыхление мелиорируемых земель как способ повышения продуктивности сельскохозяйственных культур / А.А. Михайлин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 4. 20-31 с.

79. Николаев В.А., Юрков М.М. Влияние пор, камней и органических частиц на распространение напряжений в зоне сжатия почвы при резании / В.А. Николаев, М.М. Юрков. – Техника в сельском хозяйстве. - 2009. - № 6. 23 – 27 с.

80. Овчинников, А.С. Федеральный регистр технологий производства зерновых, зернобобовых, крупяных и масличных культур в Волгоградской области / А.С. Овчинников, Ю.Н. Плескачев, И.Б. Борисенко, А.Н. Цепляев. – Волгоград 2012. 192 с.

81. Павлушин, А.В. Снижение энергозатрат основной обработки почвы использованием комбинированного рабочего органа плуга: дис. к.т.н. / А.В. Павлушин. – Пенза, 2010 г. 171 с.

82. Панов, И.М. Вопросы развития теории разрушения почв / И.М. Панов. – Тракторы и с.-х. машины. – 1988 г. - №11. 18-20 с.

83. Панов, И.М. Физические основы механики почв / И.М. Панов, В.И. Ветохин. – К.: «Феникс», 2008 г. 266 с.
84. Патент РФ № 2 502 250 С2 Российская Федерация: МПК А01В 13/14, А01В 15/00, А01В 49/02 / Плуг-рыхлитель / Борисенко И.Б., Овчинников А.С., Плескачев Ю.Н., Доценко А.Е., Кияев В.Н., Махнов Ю.В.; заявл. 07.02.12; опубл. 27.12.13 бюл. № 36 – 5 с.
85. Пигулевский, М.Х. Основы и методы экспериментального изучения почвенных деформаций / М.Х. Пигулевский. – Теория, конструкция и производство с.-х. машин. -М.: Сельхозгиз. - 1936. - Т.П. 421-528 с.
86. Подскребко, М.Д. Изменение составляющих сопротивления корпуса плуга от скорости движения и углов постановки лемеха к дну борозды / М.Д. Подскребко, В.И. Виноградов. – Тр. ЧИМЭСХ. -Вып. 14. 1964. 161-168 с.
87. Почвы Поволжья / Пушино-на-Оке. – 1974 г. - 67 с.
88. Путрин, А.С. Основы проектирования рабочих органов для рыхления почв, находящихся за пределами физически спелого состояния: Автореф. дисс. д-ра техн. наук / А.С. Путрин. – Оренбург, 2003 г. - 44с.
89. Пындак, В.И. Чизельные и комбинированные рабочие органы и орудия для основной обработки почвы / В.И. Пындак, И.Б. Борисенко. – Достижения науки и техники АПК. 2005 г. № 11. 43-44 с
90. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела: учеб. пособие для вузов / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука. - 1988 г. - 712 с.
91. Рахимов, З.С. Критерии оценки технологического процесса для реологических моделей почвы (Влияние конструктивных параметров культиваторов на процесс уплотнения и деформации почвы). Материалы XLIX международной научно-технической конференции Ч. 2/ З.С. Рахимов, С.Г. Мударисов, М.М. Ямалетдинов, И.М. Фархутдинов. – Челябинск: Челяб. гос. агроинженер. акад. – 2010 г. 123 -127 с.
92. Ревут, И.Б. Физика почв / И.Б. Ревут. – М.: Колос. - 1972. - 366 с.
93. Рула, Д.М. Взаимодействие комбинированного сошника с почвой при посеве мелкосеменных культур / Д.М. Рула, В.С. Андрощук. – Механизация

и электрификация сельского хозяйства. 2008 г. - № 11. 10-11 с.

94. Румшанский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство [Текст] / Л.З. Румшанский. – М., 1971 г. – 192с.

95. Румянцев, В.И. Земледелие с основами почвоведения / Под ред. В.И. Румянцева. / В.И. Румянцев, З.Ф. Коптева, Н.Н. Сурков. - М.: Колос, 1979 г. - 367с.

96. Саакян, Д.Н. Контроль качества механизированных работ в полеводстве / Д.Н. Саакян. – М.: Колос. – 1973 г. - 271 с.

97. Сабликов, М.В. Сельскохозяйственные машины. Основы теории и технологического расчета - Ч. 2. / М.В. Сабликов. – М.: Колос. -1968 г. - 296 с.

98. Седов, Л.И. Механика сплошной среды Т.1. / Л.И. Седов. – М.: Наука. – 1973 г. 536 с.

99. Сельскохозяйственная техника / Справочник. - М., 1962. - С.26 - 35.

100. Сельскохозяйственная техника / Каталог. Под. ред. В.И. Черноиванова.-М., 1991 г.-Т.1.-364 с.

101. Синееков, Г. Н. Проектирование почвообрабатывающих машин. / Г. Н. Синееков. – М.: Машиностроение 1965 г. 311 с.

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

103. Тергубов, П.С. Борьба с эрозией внечерноземье / П.С. Тергубов, Н.В. Зверхановский. – Л.: Колос, 1981 г.- 160 с.

104. Труфанов, В.В. Глубокое чизелевание почвы / В.В. Труфанов. – М.: Агро-промиздат, 1989 г, – 140 с

105. Уфиркин, Н.А. О возможности снижения тягового сопротивления плуга при ударном воздействии на почву / Н.А. Уфиркин. – Научн. - техн. бюллетень ВИМ, вып. 7-8, 1970 г.

106. Хабибрахманов, Х.Х. Роль лущения стерни при плоскорезной осенней обработке серой лесной почвы Предкамской зоны ТАССР. / Х.Х.

Хабибрахманов, М.М. Ильясов. – Казань 1989 г. 163-165 с.

107. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М.: Колосс. 2003 г. 623 с.

108. Хлопяников, А.М. Какая обработка лучше? / А.М. Хлопяников. – Земледелие. 1995 г. - №6. - 18 с.

109. Хмура, А.Н. Совершенствование конструкции рабочего органа плоскореза-глубококорытчика: дис. ... канд. тех. наук / А.Н. Хмура. – Оренбург 2012. 147 с.

110. Цытович, Н.А. Механика грунтов. Краткий курс: учебник для строительных вузов. Изд. 4-е перераб. и доп. / Н.А. Цытович. – М.: Высш. шк. – 1983 г. 288с.

111. Что считать правильной обработкой /под ред. Борзакорвского И.В. – Мин-сельхоз РСФСР. - М.: - 1960. - 112 с.

112. Шабаев, А.И. Адаптивно-экологические системы земледелия в агроландшафтах Поволжья / А.И. Шабаев. – Саратов, 2003 г. 320 с.

113. Шеин, Е.В. Курс физики почв: учебник. / Е.В. Шеин. – М.: МГУ. 2005 г. 432 с.

114. Шишлянников, И.Д. Предпосевная обработка: Севообороты и приемы обработки почвы в системе сухого земледелия. Вып.8 / И.Д. Шишлянников, Л.В. Садименкова. – Волгоград 1988 г.

115. Щучкин, Н. В. Лемешные плуги и луцильники. / Н.В. Щучкин. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. - 1952. - 290 с.