

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»

На правах рукописи



Окас Кожаберген

РАЗРАБОТКА НАВЕСНОГО ФРОНТАЛЬНОГО ПЛУГА-РЫХЛИТЕЛЯ  
ДЛЯ АГРЕГАТИРОВАНИЯ С ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАССА 5

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского  
хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор Бойков В.М.

Саратов – 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1. Агротехнические требования, предъявляемые к основной безотвальной обработке почвы.....	11
1.2. Тракторы российского и зарубежного производства мощностью 200-400 кВт .....	13
1.2.1 Тракторы серии К-700 и К-744 российского производства.....	13
1.2.2 Современные тракторы российского и зарубежного производства.....	16
1.3. Почвообрабатывающие орудия для основной безотвальной обработки почвы, разработанные во второй половине 20 века.....	24
1.3.1 Культиваторы-плоскорезы-глубокорыхлители.....	24
1.3.2 Результаты исследований работы культиваторов-плоскорезов- глубокорыхлителей.....	26
1.3.3 Чизельные плуги.....	29
1.3.4 Результаты исследований работы чизельных плугов.....	32
1.3.5 Плуги-рыхлители с наклонными стойками (типа «Параплау»).....	34
1.3.6 Результаты исследований работы плугов-рыхлителей с наклонными стойками (типа «Параплау»).....	36
1.3.7. Плуги-рыхлители с корпусами СибИМЭ.....	39
1.3.8 Результаты исследований работы плугов-рыхлителей с корпусами СибИМЭ.....	41
1.4 Почвообрабатывающие орудия для основной безотвальной обработки почвы, разработанные в 21 веке.....	43
1.4.1 Почвообрабатывающее орудие ПБК-5,4.....	44
1.4.2 Почвообрабатывающее орудие ПБК-4,8(Ч).....	46
1.4.3 Комбинированное почвообрабатывающее орудие КОМБИ-6.....	49
Выводы .....	54

Цель и задачи исследований.....	56
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ НАВЕСНОГО ФРОНТАЛЬНОГО ПЛУГА-РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ АГРЕГАТИРОВАНИЯ С ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАССА 5.....	57
2.1. Анализ тракторов мощностью 200-400 кВт.....	57
2.2. Анализ почвообрабатывающих орудий, применяемых для основной безотвальной обработки почвы.....	60
2.3. Рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы .....	66
2.4. Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа.....	71
2.5. Принципиальные схемы плугов-рыхлителей для агрегатирования с тракторами тягового класса 5.....	78
2.6. Агрегатирование плугов-рыхлителей с тракторами тягового класса 5.....	81
2.7. Конструктивно-технологическая схема навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5....	83
2.8 Эксплуатационно-технологические показатели навесного фронтального-плуга рыхлителя .....	84
Выводы.....	87
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	89
3.1. Программа проведения экспериментальных исследований.....	89
3.2. Объект исследования.....	89
3.3. Оборудование и технические средства, используемые в процессе проведения экспериментальных исследований.....	89
3.4. Методика лабораторно-полевых исследований рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем....	94

3.4.1. Определение качественных показателей рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем....	96
3.4.2. Определение энергетических показателей рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы....	103
3.4.3. Эксплуатационно-технологическая оценка работы экспериментального фронтального плуга-рыхлителя.....	108
3.5. Методика обработки результатов исследований.....	110
<b>4. РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАВЕСНОГО ФРОНТАЛЬНОГО ПЛУГА-РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ АГРЕГАТИРОВАНИЯ С ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАССА 5.....</b>	<b>112</b>
4.1. Условия проведения исследований.....	112
4.2. Экспериментальные исследования рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы пахотным агрегатом К-701+КОМБИ-5.....	113
4.2.1. Результаты и анализ агротехнических показателей при лабораторно-полевых исследованиях.....	114
4.2.2. Результаты и анализ энергетических показателей при лабораторно-полевых исследованиях.....	116
4.3. Оценка достоверности результатов теоретических и экспериментальных исследований .....	120
Выводы.....	122
<b>5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАВЕСНОГО ФРОНТАЛЬНОГО ПЛУГА-РЫХЛИТЕЛЯ ПБФР-5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПБФР-5 АГРЕГАТИРУЕМОГО С ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАССА 5.....</b>	<b>124</b>
5.1. Исследование эффективности применения навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 в хозяйствах Самарской области.....	124



5.2 Применение навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 на основной обработке почвы в хозяйствах Саратовской области.....	125
5.3 Экономическая оценка применения навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 для агрегатирования с тракторами тягового класса 5.....	128
5.3.1 Результаты экономической оценки применения плуга-рыхлителя ПБФР-5.....	128
Выводы.....	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	131
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	134
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	145

## ВВЕДЕНИЕ

Значительная часть зернового клина России и республики Казахстан расположена в засушливых зонах, которые характеризуются резко континентальным климатом, усиленной ветровой деятельностью и недостаточным количеством атмосферных осадков. Возделывание зерновых культур в этих условиях вызывает ветровую и водную эрозию, уносящую рыхлый верхний наиболее плодородный слой почвы.

Необходимость интенсификации земледелия в засушливых регионах привела к разработке новых противоэрозионных машин для основной безотвальной обработки почвы. Недостаточное рыхление обрабатываемого слоя почвы и переуплотнение нижних ее горизонтов активизировало создание более новых рабочих органов безотвального действия. На смену плоскорезам-глубокорыхлителям появились чизельные рыхлители и глубокорыхлители, способные производить обработку почвы на глубину до 40 см. Применение чизельных орудий обеспечило решение части проблем, связанных с защитой почвы от всех видов эрозии и ее разуплотнения. Вместе с этим, существующие чизельные плуги-рыхлители являются энергоемкими и имеют низкую производительность, а при обработке уплотненных почв с пониженной влажностью не всегда достигается требуемое качество ее обработки.

Следует отметить, что в России и республике Казахстан широко применяются тракторы мощностью 200-400 кВт как российского, так и зарубежного производства, которые значительно отличаются по величине массы, мощности и крюкового усилия. В связи с этим, при разработке новых почвообрабатывающих орудий, нужно разрабатывать почвообрабатывающие орудия не под конкретный трактор, а под конкретный тяговый класс тракторов. В бывшем СССР, а в настоящее время в России основной объем пахотных работ выполняется тракторами тягового класса 5.

Поэтому совершенствование технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, а также решение вопроса агрегатирования

тракторов тягового класса 5 с разработанным высокоэффективным плугом-рыхлителем, представляет собой актуальную научную задачу, имеющую важное хозяйственное значение.

Работа выполнена в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 717 от 14 июля 2012 г. «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы».

**Степень разработанности темы.** В настоящее время разработанные в России почвообрабатывающие орудия для основной безотвальной обработки почвы имеют ряд недостатков: низкую производительность и надежность, сложность конструкции, большую длину и высокую стоимость. Применяемые трактора мощностью 200-400 кВт имеют различные величины массы, мощности и крюкового усилия. При этом необходимо выяснить к какому тяговому классу относится большинство этих тракторов.

На основе анализа известных технологических процессов, выполняемых ПБК-5,4, ПБК-4,8 (Ч) и КОМБИ-6, разработан рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы. Обоснованы принципиальные и конструктивно-технологические схемы навесного фронтального плуга-рыхлителя для основной безотвальной обработки почвы и для агрегатирования с тракторами тягового класса 5, а также методика определения основных параметров этого плуга-рыхлителя и эксплуатационно-технологических показателей пахотного агрегата.

**Цель работы** – повышение эксплуатационно-технологических показателей работы пахотного агрегата путем разработки навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5.

**Объект исследований.** Технологический процесс основной безотвальной обработки почвы, выполняемый навесным фронтальным плугом-рыхлителем.

**Предмет исследований.** Закономерности изменения энергоемкости и качества основной безотвальной обработки почвы при взаимодействии навесного фронтального плуга-рыхлителя с обрабатываемым слоем почвы.

**Задачи исследований:**

1. Провести анализ тракторов мощностью 200-400 кВт и почвообрабатывающих орудий, применяемых для основной безотвальной обработки почвы.

2. Обосновать конструктивно-технологическую схему навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 и определить эксплуатационно-технологические показатели работы предлагаемого пахотного агрегата.

3. Провести экспериментальные исследования технологического процесса основной безотвальной обработки почвы разработанным навесным фронтальным плугом-рыхлителем.

4. В хозяйственных условиях исследовать эффективность применения пахотного агрегата, состоящего из трактора тягового класса 5 и предлагаемого плуга-рыхлителя, дать экономическую оценку его применения.

**Научная новизна:**

- разработан рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы, выполняемый чизельными рабочими органами;

- получены аналитические выражения, позволяющие определить влияние кинематических характеристик агрегата на его производительность, тяговое сопротивление чизельных рабочих органов при блокированном, полублокированном, свободном резании и навесного фронтального плуга-рыхлителя;

- обоснованы принципиальные и конструктивно-технологическая схемы навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретически разработан рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы; получены аналитические выражения, позволяющие определить производительность пахотного агрегата от его кинематических характеристик, тяговое сопротивление чизельных рабочих органов при заблокированном, полублокированном, свободном резании и навесного фронтального плуга-рыхлителя; обоснованы принципиальные и конструктивно-технологическая схемы навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5.

Разработанный навесной фронтальный плуг-рыхлитель ПБФР-5 шириной захвата 5 м, агрегируемый с тракторами К-701, К-744Р1, John Deere 829R, при глубине обработки 29,5-32,5 см обеспечивает расход топлива 14,75-14,47 кг/га и производительность 3,45 и 3,35 га за 1 ч основного времени смены соответственно. При этом качество выполнения рационального технологического процесса соответствует агротехническим требованиям, предъявляемым к основной безотвальной обработке почвы.

Новый навесной фронтальный плуг-рыхлитель был испытан на ФГБУ «Поволжская зональная машиноиспытательная станция» (Самарская область, п. Усть-Кинельский), которая рекомендовала поставить его на серийное производство (протокол № 08-111-2014 (1020202)).

**Методология и методы исследования.** Методология основана на системном подходе, который позволяет раскрыть ценность объекта исследований и выявить взаимосвязь между рабочими органами и обрабатываемым слоем почвы. Общая методика исследований предусматривала анализ существующих тракторов мощностью 200-400 кВт российского и зарубежного производства и почвообрабатывающих орудий для безотвальной обработки почвы; разработку рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, принципиальных и конструктивно-технологической схемы навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5.

Теоретические исследования проводились с использованием основных положений классической и земледельческой механики, математики и сопротивления материалов. Экспериментальные исследования проводились в лабораторно-полевых и хозяйственных условиях в соответствии с действующими ГОСТами и СТО АИСТ. Обработку результатов экспериментов выполняли с использованием статистических методов с применением ПК.

**Положения, выносимые на защиту:**

- рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы;
- принципиальные и конструктивно-технологические схемы навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5;
- аналитические зависимости для определения основных параметров навесного фронтального плуга-рыхлителя и эксплуатационно-технологических показателей работы предлагаемого пахотного агрегата.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Теоретические исследования подтверждаются экспериментальными опытами и достоверностью 0,95. Результаты исследований доложены и одобрены на научно-практических конференциях кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова (2011–2017 гг.), международной научной конференции, посвящённой 75-летию со дня рождения профессора Рыбалко А.Г. (2011 г.), V международной научно-практической конференции (2016 г.), международной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию профессора Рыбалко А.Г. (2016 г.), XXIX Международном научно-техническом семинаре имени Михайлова В.В. (2016 г.)

Навесной фронтальный плуг-рыхлитель под маркой КОМБИ-5, а далее – ПБФР-5 экспонировался на «XVI Поволжской агропромышленной выставке – 2014» проводимой в Самарской области, где был отмечен дипломом и золотой медалью.

## **1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1. Агротехнические требования, предъявляемые к основной безотвальной обработке почвы**

Безотвальная основная обработка почвы широко применяется в зонах рискованного земледелия (Юго-Восток России), подверженных ветровой (выдуванию) и водной (смыванию) эрозии, обеспечивает необходимые и оптимальные условия для наилучшего развития и роста растений в засушливых районах с недостаточным увлажнением. Данное агротехническое мероприятие выполняется в летне-осенний период и способствует накоплению и сохранению влаги в осенне-зимний период с последующей отдачей её нуждающимся растениям в весенне-летний период. При этом на поверхности обработанного поля сохраняется максимальное количество стерни, корневая система которой скрепляет комочки почвы, а стебли снижают скорость ветра на поле, препятствуя выдуванию частиц плодородного слоя почвы, что в целом содействует получению высокого урожая сельскохозяйственных культур.

Агротехнические требования (АТТ), предъявляемые к орудиям, применяемым для выполнения основной безотвальной обработки почвы, представлены в таблице (1.1) [1, 2, 3].

Анализ таблицы (1.1) показывает, что орудия применяются для основной безотвальной обработки почвы при влажности ее не более 28% и твердости до 4 МПа и должны обеспечивать глубину обработки почвы до 0,45 м. Необходимо обеспечивать полное подрезание стерни и сорных растений (на 100%), и заделку их, допускается лишь только чизельными плугами, до 0,2 м. Гребнистость поверхности почвы после прохода безотвальных орудий допустима в пределах 2,5...8 см. Однако, полнота заделки растительных остатков чизельными плугами должна составлять 85%. Рабочие органы орудий для безотвальной основной обработки почвы должны обеспечивать степень крошения почвы (размер комков 0,025-0,05 м) не менее 50-85% и сохранение стерни на поверхности почвы не менее 70-85%. При этом не должно увеличиваться содержание эрозионно-опасных частиц в слое почвы от 0 до 5 см, забивание и залипание рабочих органов орудий не допускается.

**Таблица 1.1 - Агротехнические требования, предъявляемые к орудиям для основной безотвальной обработки почвы**

Наименование показателя	Значение показателя по типам машин					
	Культиватор				Плуг	
	чизельный	культиватор-плоскорез	Плоскорез-глубококоры хлитель	комбинированный агрегат	чизельный	рыхлитель
1. Рабочая скорость движения, км/ч	до 10	до 12	до 10	7-10	до 10	-
2. Глубина обработки, см	до 25	8-14 щель до 35	15-30	5-16	до 45	до 35 сплошное рыхление - до 20
3. Глубина заделки растительных остатков, см	-	-	-	-	до 20	-
4. Влажность, %	до 30				до 28	
5. Твердость, МПа	до 4				до 4	
6. Крошение почвы, %, не менее, размер комков, мм: до 25 включ.	-	-	-	80±10	-	-
до 50 включ.	50	85±5	80±5	-	более 40 на вспах., 25 – на неvspах.	не менее 50
св. 100	-	не доп.	не доп.	-	-	-
св. 150	-	-	-	-	-	-
7. Гребнистость поверхности почвы, см, не более	25±5% глубины обработки	глубина 5-8 см ширина за стойками 20 см		4	-	-
8. Высота гребней на дне обрабатываемого слоя почвы, см, не более	-	-	-	-	20	20
9. Сохранение стерни (для борьбы с ветровой эрозией), %, не менее	80	80+10	80+10	60+10 в слое от 0 до 5	не менее 75±10	не менее 85
10. Измельчение пожнивных остатков (для крупностебельных культур)	-	-	-	80	-	-
11. Содержание эрозионно-опасных частиц почвы в слое от 0 до 5 см (для борьбы с ветровой эрозией)	не должно увеличиваться					
12. Подрезание сорняков, %	-	100	100	100	полное	
13. Забивание, залипание рабочих органов	не допускается				не допускается	



Для проведения технологической операции основной безотвальной обработки почвы применяются различные машинно-тракторные агрегаты, состоящие из мобильных энергетических средств (тракторов) различной мощности агрегируемых с почвообрабатывающими орудиями определенной конструктивной особенностью исполнения.

При этом самая трудоемкая операция в растениеводстве – основная обработка почвы, на которую расходуется около 40 % всех материальных и энергетических затрат [4, 5, 6], и выполняется, в основном, с применением тракторов мощностью 200-400 кВт [7, 8, 9]. Эти тракторы выпускались и выпускаются Петербургским тракторным заводом и поступают в Россию из дальнего и ближнего зарубежья.

## **1.2. Тракторы российского и зарубежного производства мощностью 200-400 кВт**

### **1.2.1 Тракторы серии К-700 и К-744 российского производства**

Начиная с 1969 г. на Кировском заводе в г. Ленинграде старейшем тракторостроительном предприятии СССР был налажен выпуск тракторов К-700. С 1975 г. Кировский завод начал серийный выпуск тракторов К-700А и К-701 (рисунок 1.1, а, б) [10, 11].



а)



б)

Рисунок 1.1 - Тракторы «Кировец» серии К-700 модели К-700А (а) и К-701 (б)

Многолетний опыт эксплуатации этих моделей в различных почвенно-климатических зонах РФ подтверждает высокую надежность, простоту и удобство обслуживания, эффективность на всех видах сельскохозяйственных работ.

В связи с широким распространением и применением в России тракторов моделей К-700А, К-701 их активно возрождают на специализированных ремонтно-восстановительных предприятиях.

В 2002 г. Петербургский тракторный завод прекратил выпуск тракторов К-700А и К-701, и в место них начался выпуск тракторов серии К-744 моделей К-744Р1 (рисунок 1.2, б), небольшими партиями выпускаются тракторы моделей К-744Р2 «Стандарт», К-744Р2 «Премиум» (рисунок 1.3; а, б), а также серии К-9000 моделей К-9430 (рисунок 1.4) [10, 11].



а)



б)

Рисунок 1.2 - Тракторы «Кировец» серии К-744Р модели К-744Р1 (а) и К-744Р2 «Стандарт» (б)



а)



б)

Рисунок 1.3 - Тракторы «Кировец» серии К-744Р модели К-744Р2 «Премиум» (а) и серии К-9000 модели К-9430 (б)

Технические характеристики тракторов серии К-700 и К-744 российского производства представлены в таблице (1.2) [12,13].

**Таблица 1.2 – Технические характеристики тракторов серии К-700 и К-744 российского производства**

Наименование показателя	Значение показателя					
Производитель	ЗАО «ПТЗ»					
Серия	Кировец К-700			Кировец К-744		
Модель	К-700А	К-701	К-701М	К-744Р1	К-744Р2 «Стандарт»	К-744Р2 «Премиум»
Тип движителя (колесная формула)	Пневмоколесный (4К4)			Пневмоколесный (4К46)		
Модель (марка) двигателя	ЯМЗ-238 НБ	ЯМЗ-240 БМ	ЯМЗ-8423	ЯМЗ-238 НД5	ТМЗ-8481.10.	Mercedes-Benz OM460LAЕ3А /5
Максимальная эксплуатационная мощность, кВт	157	220	246	221	257	260
Номинальная мощность двигателя, кВт	147	198	224	205	235	250
Номинальная частота вращения, об./мин.	1700	1900	1900	1900	1900	1800
Максимальный крутящий момент, Н·м	930	1220	1490	1280	1570	1750
Удельный расход топлива при номинальной мощности, г/кВт·ч	238	227	224	220	220	205
Габаритные размеры, мм:						
- общая длина	6820	6400	7395	7100	7350	7350
- ширина	2850	6850	2850	2865	2875	2875
- высота	3685	2900	3800	3845	3876	3876
Дорожный просвет, мм	545	545	500	460	500	500
Масса эксплуатационная, кг	12800	13700	14300	14300	15680	15220
Грузоподъемность навесного устройства, кг	5600	5600	3340	5500	5500	5500

Анализ таблицы (1.2) показывает, что на тракторах моделей К-700А, К-701, К-701М и К-744Р1 устанавливаются 4-тактные V-образные дизельные двигатели российского производства Ярославского моторного завода марки ЯМЗ (ПАО «Автодизель», г. Ярославль), на тракторах К-744Р2 «Стандарт» устанавливаются двигатели российского производства Тутаевского моторного завода марки ТМЗ (ОАО «ТМЗ», г. Тутаев), а на тракторы К-744Р2

«Премимум» – двигатели иностранного производства марки Mercedes-Benz (Германия). Мощность двигателей и масса тракторов К-701, К-701М и К-744Р1 можно принять практически одинаковой. На всех тракторах присутствует гидравлическое навесное устройство, предназначенное для агрегатирования их с различными почвообрабатывающими орудиями [12, 13].

На основании вышеприведенной таблицы (1.2), нельзя установить к какому тяговому классу относятся эти тракторы.

### **1.2.2 Современные тракторы российского и зарубежного производства**

В условиях нехватки механизаторов на селе, для повышения эффективности сельскохозяйственного производства, необходимо использовать современные высокотехнологичные тракторы. В настоящее время на полях Российской Федерации стали широко применяться современные тракторы мощностью 200-400 кВт российского и зарубежного производства. Из дальнего и ближнего зарубежья в Россию поступают тракторы в нескольких комплектациях. Известная компания ОАО «МТЗ» в настоящее время входит в структуру холдинга «МТЗ-ХОЛДИНГ» и является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной техники не только в странах СНГ, но и во всём мире [14]. Компания обладает сборочными производствами и ведет активную деятельность на рынках более чем 60 государств. Тракторы «Беларус» зарекомендовали себя в России высокой надёжностью в эксплуатации, простотой в управлении и доступностью в техническом обслуживании. Компания ОАО «МТЗ» серийно выпускает усовершенствованные модели тракторов Беларус 3022 ДЦ.1 (рисунок 1.4, а), Беларус 3522 образец 1 и 2 (рисунок 1.4, б) мощностью двигателя 222...254 кВт, технические характеристики которых представлены в таблице (1.3) [15].



а)



б)

Рисунок 1.4 – Тракторы Беларус 3022 ДЦ.1 (а) и Беларус 3522 (б)

Не менее известная компания ЗАО «Агротехмаш» [16], ранее образованная в Санкт-Петербурге (1997 г.), совместно с представителями Германии наладила (в 2008 г.) выпуск современных тракторов на производственной площадке завода ЗАО «Агротехмаш» в г. Тамбове (РФ), где выпускаются сельскохозяйственные колесные тракторы Terrion модели АТМ 5280 (рисунок 1.5, а) и АТМ 7630 (рисунок 1.5, б) мощностью двигателя 205...245 кВт, технические характеристики этих моделей представлены в таблице (1.3) [17, 18].



а)



б)

Рисунок 1.5 – Трактор Terrion АТМ 5280 (а) и Terrion АТМ 7630 (б)

Компания ЗАО «Агротехмаш» имеет представительства в Германии и Казахстане, обладает достаточно развитой дилерской сетью (более 50 компаний), владеет сетью сервисных центров со складами запасных частей во всех сельскохозяйственных регионах России [16].



Российская Федерация активно приобретает современные зарубежные энергонасыщенные тракторы в США производства известной компании John Deere (основана в 1837 году) [19], которая является одной из старейших и лидирующих компаний по производству и обслуживанию передовой сельскохозяйственной техники. Деятельность компании John Deere активно ведется в США, Канаде, Бразилии, России, Индии и Китае. Заводы John Deere, расположенные в Европе, Азии, Северной и Южной Америке, производят продукцию и реализуют ее в 130 странах мира [20]. John Deere обладает собственным производственным центром и Евро-Азиатским дистрибуционным центром запасных частей ООО «Джон Дир Русь» в г. Домодедово (Московская область, РФ) [19].

Компания производит современные универсально-пропашные тракторы модели John Deere 8310R (рисунок 1.6) мощностью 251 кВт, предназначенные для выполнения энергоемких технологических операций в сельском хозяйстве [21].



Рисунок 1.6 – Трактор John Deere 8310R (серия 8R)

Технические характеристики трактора John Deere 8310R представлены далее в таблице (1.3) [21].

Также, дилеры и потребители сельскохозяйственной техники Российской Федерации активно приобретают современные зарубежные энергонасыщенные тракторы в Евросоюзе, производства компаний Case IH и New Holland Agriculture – известные мировые бренды аграрного

машиностроения [22, 26]. Знаменитые компании производители сельскохозяйственной техники Case IH и New Holland Agriculture, в результате объединения, вошли (в 1999 г.) в концерн Case New Holland (CNH). Продукция концерна CNH Industrial выпускается на производственных площадках Европы, Северной Америки, Латинской Америки и Азии, расположенных в Вичите, Фарго, Калхоуне и Берлингтоне (США), Лецце, Сан-Мауро и Имоле (Италия), Берлине (Германия), Контахеме (Бразилия), и реализуется по всему миру (в 170 странах) через дилерскую сеть. Штаб-квартира CNH Industrial расположена в Турине, Италия [23, 26].

Ассортимент современных тракторов мощностью двигателя 264...385 кВт марки New Holland сгруппирован в сериях Т8 и Т9 – модели Т8.390 и Т9.505 (рисунок 1.7; а, б), технические характеристики этих моделей представлены далее в таблице (1.3) [24, 25].



а)



б)

Рисунок 1.7 – Тракторы New Holland модели Т8.390 (а) и Т9.505 (б)

Кроме того, крупнейшая российская компания «Ростсельмаш» инициативно производит на собственном заводе в Канаде современные тракторы Buhler Versatile и поставляет их в Россию дилерам и потребителям сельскохозяйственной техники [27].

В настоящее время компания «Ростсельмаш» (г. Ростов-на-Дону) объединяет 13 предприятий и входит в пятёрку крупнейших производителей сельскохозяйственной техники, причем часть из них находится за пределами

РФ (в Канаде, США и странах Евросоюза), выпускающих технику под брендами Rostselmash, Versatile, Farm King и Buhler [27].

Доля компании на мировом рынке сельхозтехники составляет 17 %, на рынке России и СНГ – 65%. На заводе «Ростсельмаш» в Ростове-на-Дону налажена (в 2009 г.) сборка канадских тракторов только модели Versatile-2375 (мощностью двигателя 280 кВт), производство которого было перенесено из Канады [27, 29, 30].

Производство, широко применяемых в России, современных тракторов марки Buhler Versatile серии High Horsepower Tractor (ННТ) модели 535 (рисунок 1.8) мощностью двигателя 399 кВт осуществляется в Канаде (Виннипег) на заводе Buhler Versatile Inc., который компания «Ростсельмаш» выкупила (80 % процентов акций) в октябре 2007 году. Технические характеристики трактора Buhler Versatile серии High Horsepower Tractor (ННТ) модели 535 представлены в таблице (1.3) [28].



Рисунок 1.8 – Трактор Buhler Versatile серии High Horsepower Tractor (ННТ) модели 535

Технические характеристики современных тракторов российского и зарубежного производства представлены в таблице 1.3.

Анализируя таблицу (1.3), можно заключить, что рассматриваемые тракторы значительно отличаются по величине мощности и расходу топлива двигателями, а также и по массе трактора. Из рисунков (1.1-1.8) видно, что в конструктивном исполнении трактора применена традиционная компоновочная схема (Terrion, Беларусь), либо схема с шарнирно-сочлененной рамой (К-700, К-744Р). Данные модели тракторов имеют пневмоколесный тип движителя 4К4. Тракторы моделей Беларусь 2022.3 и Беларусь 3022ДВ оснащены 4-тактными 6-ти цилиндровыми дизельными типами двигателей Д-260.4S2 производства белорусской компании «Минский моторный завод» (с



турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха) и S40E 8.7 LTA M146 производства американской компании Detroit Diesel (с турбонаддувом, промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, аккумуляторной топливной системой, системой электронного управления и контроля подачи топлива, электрогидравлическими насос-форсунками) соответственно. Трактор Terrion ATM 5280 оснащен 4-тактным 6-ти цилиндровым дизельным типом двигателя Deutz BF 6M 1013 FC производства немецкой компании Deutz (жидкостного охлаждения с турбокомпрессором и охлаждением воздуха наддува, прямым впрыском топлива, горизонтальным расположением вала) Удельный расход топлива представленных моделей тракторов (при эксплуатационной мощности) находится пределах 205...248 г/кВт·ч, они имеют эксплуатационную массу в пределах 12380-24210 кг.

На всех тракторах устанавливается навесное гидравлическое устройство, предназначенное для агрегатирования их с различными почвообрабатывающими орудиями.

Из таблиц (1.2) и (1.3) видно, что в России для проведения сельскохозяйственных работ применяется большое количество тракторов различных моделей мощностью 200-400 кВт. При этом нельзя установить к какому тяговому классу относятся эти тракторы. Следовательно, определить тяговый класс конкретного трактора возможно в процессе теоретических исследований. Разделение этих тракторов по тяговому классу будет показывать диапазон номинальных тяговых усилий. Очевидно, что величину этого диапазона необходимо знать для разработки плуга-рыхлителя с целью обеспечения высоких эксплуатационно-технологических показателей работы пахотного агрегата.

**Таблица 1.3 – Технические характеристики современных тракторов российского и зарубежного производства**

Наименование показателя	Значение показателя											
Производитель	John Deere (Deere & Company)	New Holland (CNH)		Buhler Versatile Inc. (Ростсельмаш)	ЗАО «ПТЗ»			ОАО «МТЗ»			ЗАО «Агротехмаш»	
Серия	John Deere 8R	T8	T9	High Horsepower Tractor (ННТ)	Кировец К-9000			Беларус 3000			Terrion	
Модель	8310R	T8.390	T9.505	535	К-9360	К-9400	К-9430	Беларус 3022 ДЦ.1	Беларус 3522 (образец 1)	Беларус 3522 (образец 2)	АТМ 5280	АТМ 7360
Тип движителя (колесная формула)	Пневмоколесный (4К4а)		Пневмоколесный (4К4б)					Пневмоколесный (4К4а)			Пневмоколесный (4К4б)	
Модель (марка) двигателя	6090 RW 212 John Deere	F2CF613C Fiat Power Train	F3ВРА316В FIAT	Cummins QSX15	Mercedes-Benz OM 457 LA	Mercedes-Benz OM 457 LA	Mercedes-Benz OM 457 LA/E2/2	«BF06M1013FC» Deutz	«TCD 2013L064V C3UT 261» Deutz	«TCD 2013L064V C3UT 261» Deutz	«BF 6M 1013 FC» Deutz	«TCD 2013 L06-4V» Deutz
Максимальная эксплуатационная мощность, кВт	251	264	385	399	260	295	281	222	254	252	205	245
Номинальная мощность двигателя, кВт	228	252	365	371	195	221	211	195	227	234	190	237
Номинальная частота вращения, об./мин.	2100	2000	2100	2100	1800	1800	1800	2300	2200	2200	2200	2100
Максимальный крутящий момент, Н·м	1452 (при 1600 об/мин)	1671 (при 1500 об/мин)	2136 (при 1400 об/мин)	2442 (при 1400 об/мин)	1800	1900	2000	1300	1498	1498	1050	1450

Окончание таблицы 1.3

Удельный расход топлива при номинальной мощности, г/кВт·ч	210	238	188	326	205	205	205	248	213	209	210	198
Габаритные размеры, мм:												
- общая длина	6375	6380	7370	8185	7552	7552	7552	6100	6100	6100	5400	6300
- ширина	3260	3680	4570	5215	3005	3005	3005	2630	2820	2820	2550	2500
- высота	3300	3330	3970	3650	3993	3993	3993	3160	3350	3350	3300	3380
Дорожный просвет, мм	685	407	443	556	500	500	500	450	550	550	500	500
Масса эксплуатационная, кг	13005	12464	24210	25465	16490	16490	16490	11500	12380	12380	8300	14600
Грузоподъемность навесного устройства, кг	12124	7420	9071	5443	5500	5500	5500	5000	5000	5000	9000	13500

### **1.3 Почвообрабатывающие орудия для основной безотвальной обработки почвы, разработанные во второй половине 20 века**

Появление и развитие систем почвозащитной обработки почвы во второй половине 20 века было обусловлено, в первую очередь, стремлением предотвратить или сдержать ветровую и водную эрозию почвы, а также снизить энергоемкость основной обработки почвы. Для этих целей было разработано и запущено в серийное производство несколько видов почвообрабатывающих орудий.

#### **1.3.1 Культиваторы-плоскорезы-глубококорыхлители**

Плоскорезы-глубококорыхлители предназначены для основной безотвальной обработки почвы с максимальным сохранением стерни и других пожнивных остатков после колосовых и пропашных культур. В РФ применялись и частично применяются плоскорезы-глубококорыхлители следующих модификаций: КПГ-2,2; КПГ-2-150; КПГ-250А; ГУН-4; ПГ-3-100, ПГН-5; ПГ-5; ПГ-3-5 (рисунок 1.6) и др. аналоги [31, 32, 33]. Аналогичные характеристики имеют плоскорезы-глубококорыхлители зарубежного производства [34, 35]. Рабочий орган этих орудий выполнен в виде симметричной стрельчатой лапы.



Рисунок 1.6 - Плоскорез-глубококорыхлитель ПГ-3-5

Технические характеристики наиболее применяемых в РФ плоскорезов-глубококорыхлителей ПГ-3-100, КПГ-2,2 и ПГ-3-5 представлены таблице (1.4).

**Таблица 1.4 - Технические характеристики плоскорезов-глубококорыхлителей**

Наименование показателя	Значение показателя		
Марки орудий	ПГ-3-100	КПГ-2,2	ПГ-3-5
Тяговый класс трактора	3	3	5
Тип соединения с энергетическим средством	навесной		
Тип рабочих органов	плоскорежущая лапа		
Количество рабочих органов, шт.	3	2	5
Ширина захвата рабочего органа, м	1,1	1,1	1,1
Удельная материалоемкость, кг/м	225	479	343
Ширина захвата орудия, м	3,2	2,15	5,3
Глубина обработки, м	0,15...0,30	0,12...0,25	0,15...0,30
Рабочая скорость, м/с	до 2,77	до 2,77	до 2,77
Производительность, га/ч	2,6...3,0	1,4...2	2,3...4,3
Среднее отклонение глубины обработки от заданной, см	1,5	1,5	1,5
Количество почвенных фракций размером 0...50 мм (фактическое), %	58...60	58...60	58...60
Дорожный просвет, мм	300	300	300
Масса, кг	720	1030	1820
Габаритные размеры, мм:			
- длина	2,10	4,3	2,55
- ширина	3,20	2,15	5,20
- высота	1,55	2,2	1,80

Из таблицы (1.4) видно, что применяемые плоскорезы-глубококорыхлители отличаются рабочей шириной захвата, имеют различную материалоемкость и производительность. Ширина захвата рабочих органов орудий составляет 110 см, а количество рабочих органов в зависимости от марки орудия – 2, 3 и 5 шт.

Рабочие органы плоскореза-глубококорыхлителя выполняют технологический процесс основной безотвальной обработки почвы по следующей схеме, представленной на рисунке (1.7).

В процессе работы орудия происходит следующее (см. рисунок 1.7): 1-я фаза горизонтальная деформация, сопровождается отделением обработанного пласта от основного массива почвы, 2-я фаза подъем и крошение пласта, 3-я фаза опускание пласта без перемешивания. Во время всех трех фаз происходит

крошение пласта за счет напряжений возникающих в результате деформаций. На основании исследований [36, 37, 38, 39, 40] установлено, что интенсивность крошения обрабатываемого пласта почвы по данной технологии зависит в основном от ширины обрабатываемого пласта и физико-механических свойств почвы.

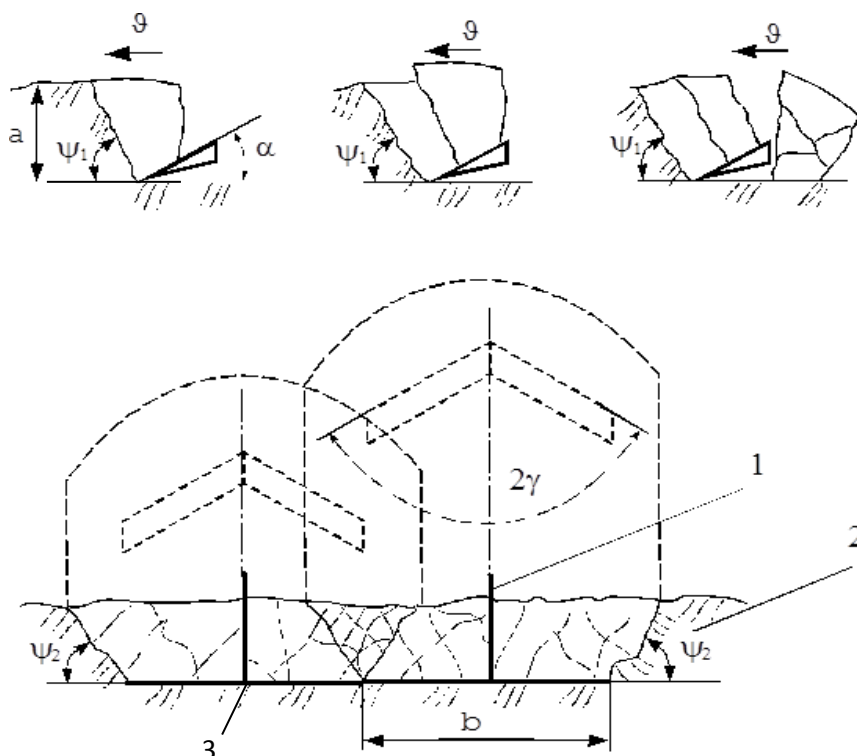


Рисунок 1.7 - Схема выполнения технологического процесса основной безотвальной обработки почвы плоскорезом-глубокорыхлителем: 1 - лапа плоскореза; 2 - почва; 3 – плужная подошва;  $a$  – глубина обрабатываемого слоя почвы;  $b$  - ширина захвата рабочего органа, м;  $\alpha$  - угол установки лемеха к дну борозды, град.;  $\psi_1$  - угол сдвига почвы в продольно-вертикальной плоскости, град.;  $\psi_2$  - угол сдвига почвы в поперечно-вертикальной плоскости, град.;  $2\gamma$  - угол раствора, град.;  $v$  - скорость поступательного движения, м/с.

### 1.3.2 Результаты исследований работы культиваторов-плоскорезов-глубокорыхлителей

По исследованиям ряда авторов [33, 41-45] оптимальные геометрические параметры стрельчатых лап является следующими: ширина захвата  $b = 1,1$  м; угол раствора  $2\gamma - 100^\circ$ ; высота подъема почвенного пласта  $0,60 \dots 0,65$  м; угол установки лемеха к дну борозды  $\alpha = 23 \dots 25^\circ$ . В настоящее время рабочие органы с такими параметрами установлены на всех

отечественных плоскорезах-глубокорыхлителях российского производства. Обоснование оптимальных параметров плоскорезов-глубокорыхлителей получили продолжение в работах исследователей [33, 42, 44-47].

Так при исследованиях, проведенных на Поволжской МИС, установлено, что с увеличением угла  $2\gamma$  до  $120^\circ$  происходит снижение удельного сопротивления. При влажности почвы 21,3 % и твердости 2,5 МПа оно составляет 37 кПа [44]. Этими исследованиями установлено, что с увеличением ширины захвата плоскорежущей лапы степень крошения почвы снижается - от 78 % при ширине захвата рабочего органа 0,5 м, до 66,3% при ширине захвата 1,71 м [44]. Количество почвенных фракций размером от 1 до 25 мм в обработанном пахотном слое с увеличением ширины захвата лап также снижается. Лапы шириной захвата 0,5...0,7 м обеспечивают наличие фракций размером от 1 до 25 мм в пределах 45,5 до 47 %. При дальнейшем увеличении ширины захвата рабочего органа происходит снижение процентного содержания вышеназванных фракций, от 41,5 до 33,1 % [42, 48]. Значительное влияние на удельное тяговое сопротивление безотвальных рыхлительных рабочих органов оказывают углы установки лемеха к дну борозды  $\alpha$  и раствора лап  $2\gamma$  [49]. При верхней заточке рабочих органов шириной захвата - 0,9 м и угле раствора лап  $2\gamma=180^\circ$  в случае увеличения угла  $\alpha$  от  $10^\circ$  до  $30^\circ$ , при рыхлении почв на глубину 30...35 см, приводит к увеличению тягового сопротивления на 30...40 %, при нижней заточке – на 80...85 %. Тяговое и удельное сопротивления лап, установленных под углом  $20^\circ$  к дну борозды, при нижней заточке изменяются по квадратичной зависимости, при верхней – линейно. В первом случае при изменении угла  $2\gamma$  от  $180^\circ$  до  $120^\circ$  тяговое сопротивление снижается примерно на 10...15%, от  $120^\circ$  до  $60^\circ$  возрастает на 15...20%, во втором случае при изменении  $2\gamma$  от  $180^\circ$  до  $60^\circ$  – увеличивается на 5...6% [49].

Одним из существенных недостатков плоскорезов-глубокорыхлителей является плохая их заглубленность в почву [50], то есть большой путь

заглубления; при этом уничтожается большое количество стерни. На тяжелых почвах при влажности почвы 10-14 % плоскорез-глубококорыхлитель практически в почву заглубить очень сложно, так как это требует пропахивания краев поля поперек движения агрегата и догрузки плоскореза-глубококорыхлителя балластом. При этом как при заглублении, так и при подъеме плоскореза-глубококорыхлителя происходит нарушение стерневого покрова поля в местах начала контакта рабочих органов с почвой. А это дополнительно ухудшает качество обработки почвы.

Характерной особенностью всех серийных плоскорезов-глубококорыхлителей в процессе обработки почвы является образование «плужной подошвы» и большого количества огрехов на стыках по проходу агрегата или движение крайнего рабочего органа по обработанной почве.

Недопустима работа стрелчатой лапы, у которой толщина лезвия лемеха превышает 2 – 3 мм, что приводит к снижению устойчивости хода рабочих органов и ухудшению качества обработки почвы. Однако эти требования часто не выполняются механизаторами [41].

Эксплуатационная надежность стрелчатой лапы сравнительно низка вследствие асимметричности нагрузок, действующих на рабочий орган, что приводит к ослаблению затяжки и последующему срезу болтов крепления стойки лапы [51].

На тяжелых сухих почвах часто наблюдается отрыв башмака от стойки стрелчатой лапы и интенсивный износ стойки выше долота, что ведет к поломкам рабочего органа. Несовершенна и конструкция рамы плоскорезов-глубококорыхлителей. Опорные колеса глубококорыхлителей находятся на значительном расстоянии от рабочих органов. При увеличении скорости движения агрегата равномерность глубины хода рабочих органов ухудшается и возникают недопустимые отклонения глубины обработки почвы от заданной [41, 43].

Из приведенных результатов видно, что геометрические параметры рабочих органов, выпускаемых плоскорезов-глубококорыхлителей, не являются



оптимальными. Многие ученые и механизаторы отмечают низкие показатели качества работы плоскорезов-глубококорыхлителей [47, 48, 52-55]. Их претензии можно свести к следующему [36, 48, 55-58]:

- образование уплотненной подошвы на дне борозды;
- неравномерность рыхления пласта, верх глыбистый, низ с разрушенной структурой;
- не выровненная поверхность обработанного поля;
- глубокая развальная борозда шириной до 20 см и глубиной до 15 см;
- качества крошения почвы от 32...43 % до 60 %;
- степень сохранения стерни у большинства плоскорезов не превышает 73 %;
- с увеличением глубины рыхления от 0,175 до 0,275 м и скорости движения от 1,8 до 3 м/с, удельное тяговое сопротивление плоскореза-глубококорыхлителя возрастает от 25...36 до 61...72 кПа, т.е. на 70-180 %;
- большой путь заглабления.

Анализ вышеизложенного позволяет заключить, что серийные культиваторы-плоскорезы-глубококорыхлители не полностью соответствуют агротехническим требованиям, предъявляемым к основной безотвальной обработке почвы, а их рабочие органы требуют дальнейшего совершенствования в направлении снижения энергоемкости и повышения качества обработки почвы.

### 1.3.3 Чизельные плуги

Чизельные плуги применяются для выполнения основной безотвальной обработки почвы, а также предназначены для глубокого рыхления и разрушения «плужной подошвы» на глубину до 45 см, со сплошным рыхлением до 20 см.

Российскими производителями выпускались и частично выпускаются чизельные плуги следующих марок: ПЧ-2,5; ПЧ-4,5 (рисунок 1.8); ПЧН-3,2;

ПЧН-4 и др. Рабочие органы этих плугов выполнены в виде плоской вертикальной стойки, на которую устанавливают рыхлительную или стрельчатую лапу [59-64]. Аналогичную форму имеют рабочие органы чизельных плугов зарубежного производства [6, 35].



Рисунок 1.8 - Чизельный плуг ПЧ-4,5

Технические характеристики наиболее распространённых чизельных плугов представлены в таблице (1.5).

**Таблица 1.5 - Технические характеристики чизельных плугов**

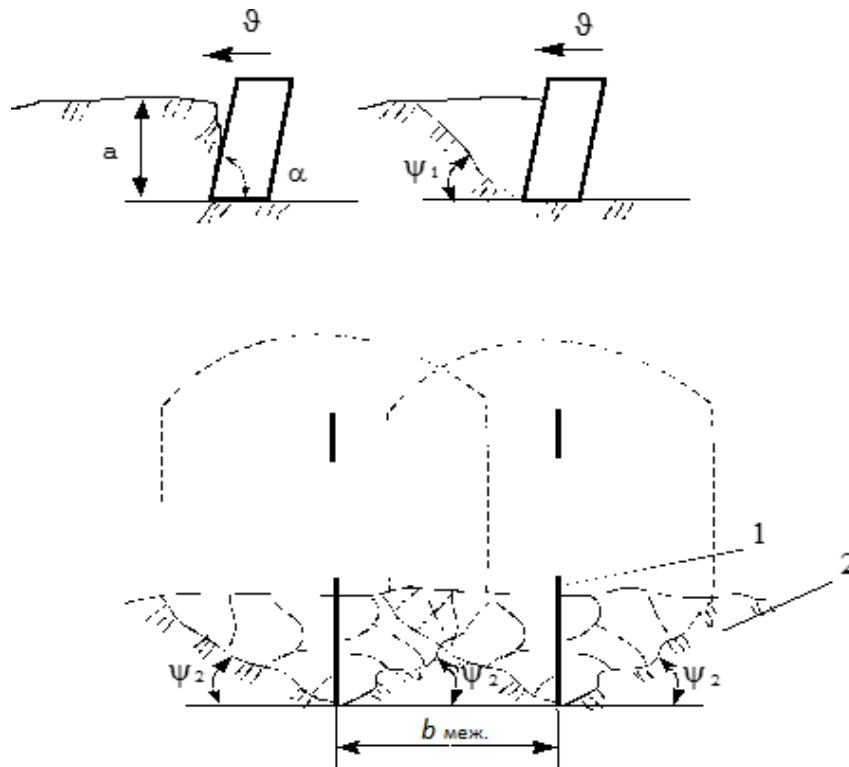
Наименование показателя	Значение показателя	
Марка орудия	ПЧ-2,5	ПЧ-4,5
Тяговый класс	3; 4	5
Тип соединения с энергетическим средством	навесной	навесной
Тип рабочих органов	долото или стрельчато-коническая лапа	
Количество рабочих органов, шт.	5	11
Расстояние между рабочими органами, м	0,4...0,6	0,4...0,6
Ширина захвата рабочего органа, м:		
- с долотом	0,07	0,07
- со стрельчато-конической лапой	0,27	0,27
Удельная материалоемкость, кг/м	380	422
Ширина захвата, м	2,5	4,5
Глубина обработки, м:		
- с долотом	0,30...0,45	0,30...0,45
- со стрельчато-конической лапой	0,20...0,30	0,20...0,30
Рабочая скорость, м/с	до 2,22	до 2,22
Производительность, га/ч	до 2	до 3,2

## Окончание таблицы 1.5

Количество почвенных фракций размером 0...50 мм (фактическое), %	до 60	до 60
Гребнистость поверхности обработанного поля в зависимости от глубины обработки, %	не более 30	не более 30
Масса, кг	950	1900
Габаритные размеры, м:		
- длина	1,60	2,17
- ширина	2,44	4,25
- высота	1,59	1,95

Из таблицы (1.5) видно, что применяемые чизельные плуги отличаются рабочей шириной захвата, производительностью, материалоемкостью и габаритными размерами.

Схема технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемой рабочими органами чизельного плуга, представлена на рисунке (1.9) [65].



Рисунке 1.9 – Схема выполнения технологического процесса основной безотвальной обработки почвы рабочими органами чизельного плуга: 1 – рыхлительная лапа; 2 – почва;  $a$  – глубина обрабатываемого слоя почвы;  $b_{\text{меж.}}$  – расстояние между рылительными рабочими органами, м;  $\vartheta$  – скорость поступательного движения, м/с.

В результате работы рабочих органов чизельного плуга происходит следующее (см. рисунок 1.9) [65]: 1-я фаза - узкая вертикальная деформация пласта почвы, 2-я фаза - образование тел скольжения под углом  $\psi_1$  в продольной плоскости и под углом  $\psi_2$  в поперечной, выполняется она чизельным рабочим органом, представляющим собой плоскую вертикальную стойку, на которую устанавливают рыхлительную или стрельчатую лапу.

### 1.3.4 Результаты исследований работы чизельных плугов

При исследовании зависимости тягового сопротивления от угла крошения рыхлительной лапой с шириной захвата 0,07 м, было установлено что, наименьшее тяговое сопротивление чизельного плуга ПЧ-4,5 было получено при работе с лапами, имеющими угол крошения  $20^\circ$ . Однако при работе этих лап крошение и вспушенность почвы при глубокой обработке было неудовлетворительным. Лучшее качество работы было получено при работе вышеназванного плуга с лапами, имеющими угол крошения  $25^\circ$  и  $30^\circ$ . Тяговое сопротивление чизельного плуга в сравнение с лапами, у которых угол  $\alpha=20^\circ$ , возросло незначительно [49, 55].

При изменении глубины обработки почвы с 20 до 36 см и скорости движения агрегата от 0,84 до 2,64 м/с приращение тягового сопротивления составляет 7,5...9,9% [34, 49].

Однако в случае увеличения глубины обработки до 45см чизельный плуг по величине удельного сопротивления занимает промежуточное положение между плоскорезом-глубокорыхлителем и отвальным плугом. Этот показатель для чизельного плуга одинаков в сравнении с плоскорезом-глубокорыхлителем, работающим на глубину 27...28 см и на 49 % меньше при обработке почвы с отвальным плугом [34, 49].

В результате агротехнической оценки чизельного плуга с долотообразным рабочим органом установлено, что после его прохода дно обработанного слоя остается волнистым – высота гребня при междуследии 500

мм и глубине обработки 41,3...42,6 см составляет 20,4 см. При установке на стойки стрельчатых лап и глубине обработки 29,7...30,5 см высота гребней составила 2,2 см. Несколько отличные данные были получены в результате испытаний, проведенных КубНИИТИМом высота гребней долотообразного рабочего органа укомплектованного стрельчатой лапой здесь была 16,2...19,7 см и 7...8 см соответственно [66].

Сравнительная энергетическая оценка чизельного плуга ПЧ-4,5 и отвального ПТК-9-35 показала, что при глубине хода рабочих органов соответственно 45,3 и 30,4 см и скорости движения 2,22 м/с удельное сопротивление чизельного плуга было получено на 50% ниже, чем у плуга ПТК-9-35, при этом удельный расход топлива был ниже на 24,6 %, а производительность на 41,3% выше. Качество крошения чизельного плуга составляло – 61...65% при ширине междуследия от 300 до 500 мм, степень сохранения стерни находилась в пределах 55%. Для повышения качества обработки почвы чизельными плугами их применяют в комплексе с приспособлениями ПСТ-4,5 и ПСТ-2,5 [67], предназначенных для дополнительного рыхления верхнего слоя почвы, выравнивания поля и частичного измельчения высокостебельных растительных остатков. Технические характеристики приспособлений ПСТ-4,5 и ПСТ-2,5 представлена в таблице (1.6) [67].

**Таблица 1.6 - Технические характеристики чизельных плугов ПЧ-2,5 и ПЧ-4,5 с приспособлением ПСТ**

Наименование показателя	Значение показателя	
Марка приспособления	ПСТ-2,5	ПСТ-4,5
Комплектуется с плугом марки	ПЧ-2,5	ПЧ-4,5
Рабочая ширина, м	2,5	4,4
Глубина обработки приспособлением, см	6...12	6...12
Количество почвенных фракций размером 0...50 мм (фактическое), %	70...80	70...80
Рабочая скорость, м/с	До 2,22	До 2,22
Производительность основного времени, га/ч	2,0	3,2
Масса, кг	370	670

Удельная материалоемкость плугов ПЧ-4,5 с ПСТ-4,5 и ПЧ-2,5 с ПСТ-2,5 составляет 588 и 528 кг/м соответственно [67]. К тому же, при влажности свыше 20% (до 30 % по АТТ) из-за сильного забивания рабочих органов почвой и растительными остатками орудие не обеспечивает требование АТТ по выравниванию гребней (7,8...8,0 см против не более 3 см по АТТ) [60, 65].

Анализируя вышеизложенное, можно заключить, что чизельные плуги не соответствуют агротехническим требованиям, предъявляемым к основной безотвальной обработке почвы, а применение дополнительных приспособлений ПСТ к плугам для увеличения крошения почвы значительно повышает их материалоемкость и снижает работоспособность в условиях повышенной влажности.

### 1.3.5 Плуги-рыхлители с наклонными стойками (типа «Параплау»)

С начала 80-х годов прошлого века в Англии была разработана и получила распространение обработка почвы [63, 68], занимающая промежуточное положение между вышеизложенными технологиями.

ГСКТБ ПО «Одессапочвомаш» были разработаны плуги-рыхлители,

оснащенные наклонными стойками типа «Параплау», следующих марок: ПРПВ-4-50, ПРПВ-5-50 (рисунок 1.10) и ПРПВ-8-50 предназначенные для углубления пахотного горизонта до 40 см по отвальным и безотвальным



Рисунок 1.10 - Плуг-рыхлитель ПРПВ-5-50 с наклонными стойками типа «Параплау»

фонам без оборота пласта, основной безотвальной обработки почвы с удельным сопротивлением до 0,11 МПа, влажностью до 30% и твердостью до 5,0 МПа, а также для улучшения лугов и пастбищ и глубокого рыхления почвы на склонах до 8 град. [67].

На рисунке (1.11) представлен технологический процесс основной безотвальной обработки почвы рабочими органами плуга-рыхлителя с плоской наклонной стойкой типа «Параплау» [63, 68, 69].

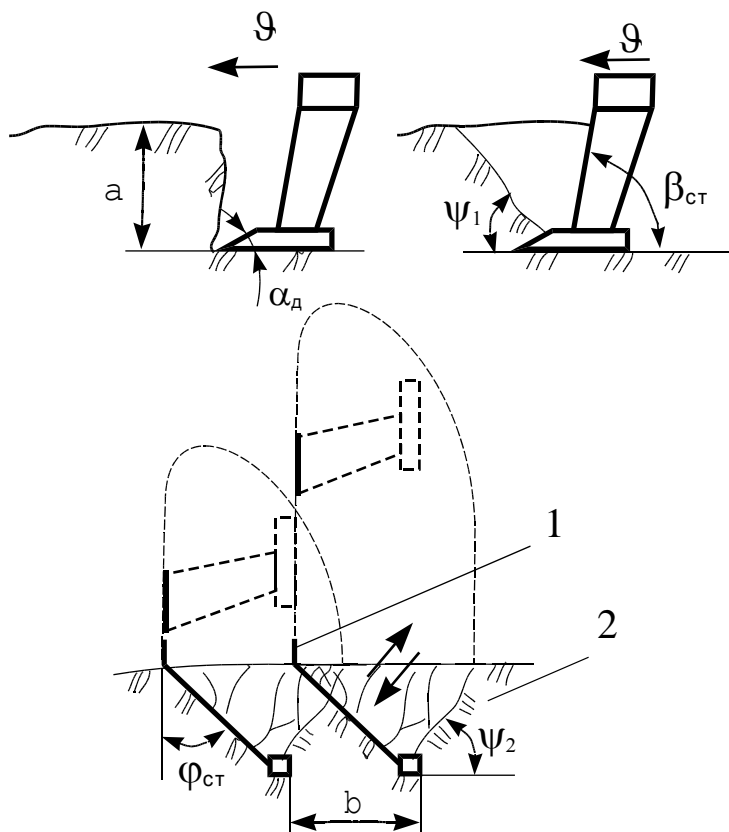


Рисунок 1.11 - Схема выполнения технологического процесса основной безотвальной обработки почвы рабочими органами плуга-рыхлителя с плоской наклонной стойкой типа «Параплау»: 1 – рыхлительный корпус типа «Параплау»; 2 – почва;  $a$  - глубина обработки, см;  $b$  – междуследие рабочих органов, см;  $v$  – скорость поступательного движения, м/с;  $\beta_{ст}$  - угол наклона стойки в продольно-вертикальной плоскости, град.;  $\varphi_{ст}$  – угол наклона стойки в поперечно-вертикальной плоскости, град.;  $\alpha_{д}$  - угол крошения долота, град.

В процессе обработки почвы рабочими органами плуга-рыхлителя (см. рисунок 1.11) происходит крошение пласта почвы во всех фазах. В 1-ой фазе происходит деформация и отделение пласта от основного массива и его крошение, во 2-ой фазе подъем пласта под углом  $\psi_2$  в поперечной плоскости. Рабочий орган плугов-рыхлителей выполнен в виде плоской стойки с долотом на конце, и имеющей наклон в поперечно-вертикальной и продольно-вертикальной плоскости.

Технические характеристики наиболее распространенных плугов-рыхлителей, оснащенных плоскими наклонными стойками типа «Параплау», представлены в таблице (1.7) [67].

**Таблица 1.7 - Технические характеристики плугов-рыхлителей, оснащенных плоскими наклонными стойками типа «Параплау»**

Наименование показателя	Значение показателя		
	ПРПВ-4-50	ПРПВ-5-50	ПРПВ-8-50
Марка орудия	3	4;3	5
Тяговый класс трактора	3	4;3	5
Тип соединения с энергетическим средством	навесной		
Тип рабочих органов	рыхлительный корпус «Параплау»		
Количество рыхлительных корпусов, шт.	4	5	8
Количество рифленых дисковых ножей, шт	4	5	8
Диаметр рифленого дискового ножа, мм	435	435	435
Ширина захвата орудия, м	2	2,5	4
Удельная материалоемкость, кг/м	550	528	560
Глубина обработки, м	0,25...0,40	0,25...0,40	0,25...0,40
Рабочая скорость, м/с	до 2,7	до 2,7	до 2,7
Сплошное рыхление верхнего слоя почвы при общей глубине обработки 45 см	не менее 20	не менее 20	не менее 20
Производительность основного времени, га/ч	1,3...2	1,6...2,5	3,2
Количество почвенных фракций размером 0...50 мм (фактическое), %	50...60	50...60	50...60
Гребнистость поверхности обработанного поля, см	не более 5	не более 5	не более 5
Масса, кг	1100	1320	2240
Габаритные размеры, м:			
- длина	н.д.	3,42	5,27
- ширина		1,62	1,62
- высота		1,6	1,6

Анализ таблицы (1.7) показывает, что по качеству крошения и сплошному рыхлению плуги-рыхлители не соответствуют агротехническим требованиям, предъявляемым к безотвальной обработке почвы, а материалоемкость этих плугов имеет недопустимую величину [35, 63, 68, 69].

### **1.3.6 Результаты исследований работы плугов-рыхлителей с наклонными стойками (типа «Параплау»)**

С целью оптимизации параметров чизельных рабочих органов были проведены исследования стойки типа «Параплау». Вместе с наклонной стойкой исследовалась и криволинейная (рисунок 1.12) [35, 63, 68, 69].



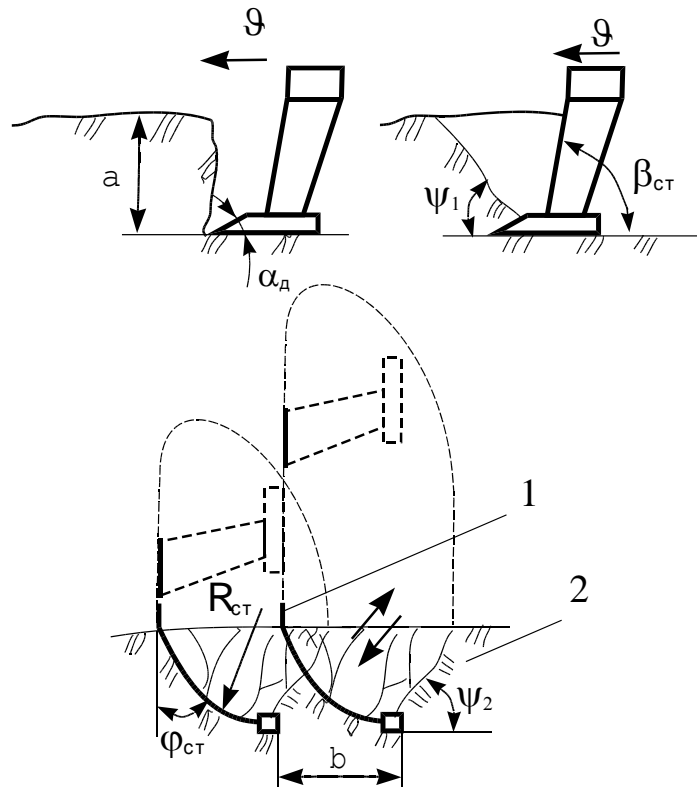


Рисунок 1.12 – Схема технологического процесса основной безотвальной обработки почвы выполняемого рабочим органом с криволинейной стойкой типа «Параплау»: 1 – рыхлительный корпус с криволинейной стойкой «Параплау»; 2 – почва.

При этом было установлено: основными параметрами рабочего органа, определяющими энергоёмкость процесса рыхления, являются угол наклона стойки в поперечно-вертикальной плоскости  $\varphi_{ст}$ ; угол наклона стойки в продольно-вертикальной плоскости  $\beta_{ст}$ ; угол крошения долота  $\alpha_d$ ; угол асимметричной заточки ножа  $\varepsilon$ ; междуследие рабочих органов  $b$ ; глубина обработки  $a$ ; скорость поступательного движения  $v$  [49, 63, 68, 69].

Максимальное значение тягового сопротивления рабочего органа отмечалось при вертикальном положении стойки, когда  $\varphi_{ст} = 0$ . С увеличением  $\varphi_{ст}$  до  $30...35^\circ$  траектория движения стойки приближается к боковой поверхности разрушения почвенного блока и наиболее полное их совпадение происходит при  $\varphi_{ст} = 40...45^\circ$  с минимальным тяговым сопротивлением рабочего органа. Когда  $\varphi_{ст} = 50^\circ$  и более, тяговое сопротивление вновь увеличивается [63, 68, 69].

Увеличение  $\beta_{ст}$  приводило к увеличению вылета лезвия долота

относительно стойки и снижению тягового сопротивления рабочего органа. Оптимальное значение составило  $\beta_{ст} = 67^\circ$ .

Изменение угла  $\alpha_d$  от  $16$  до  $21^\circ$  обуславливает возрастание интенсивности процесса трещинообразования, что ведет к незначительному снижению тягового сопротивления рабочего органа вследствие уменьшения нагрузки на стойку. С ростом угла  $\alpha_d$  до  $26^\circ$  тяговое сопротивление возрастает.

Увеличение угла  $\varepsilon$  ведет к возрастанию тягового сопротивления рабочего органа в результате подъема обрабатываемого пласта по рабочей поверхности ножа и ширине профиля стойки.

С увеличением скорости поступательного движения пахотного агрегата, составляющие тягового сопротивления рабочего органа, увеличиваются по кривым второго порядка [63, 68, 69].

Изменение междурядья рабочих органов от  $0,35$  до  $0,50$  м ведет к возрастанию тягового сопротивления в результате увеличения объема деформируемой почвы и уменьшения перекрытия зоны деформации. Вместе с этим удельное тяговое сопротивление снижается с  $11,12$  кН/м при  $b = 0,35$  м до  $9,11$  кН/м при  $b = 0,5$  м. При междуследии более  $0,55$  м перекрытие зон деформации не происходит, глубина сплошной обработки почвы равно нулю, рабочие органы взаимодействуют с почвой в условиях блокированного резания [49, 63, 65, 68, 69].

С ростом глубины обработки почвы интенсивно возрастает энергоемкость процесса рыхления почвы. При  $b = 0,30...0,35$  м повышается тяговое сопротивление в среднем на  $0,4$  кН ( $\vartheta = 2,22$  м/с), или на  $5\%$  [49, 63, 65, 68].

В результате повышения скорости степень крошения почвы возрастает на  $11...12\%$ , коэффициент полноты рыхления пласта изменяется незначительно. Высокие агротехнические показатели достигаются при междуследии  $0,40$  м. При этом происходит наиболее полное разрушение почвенных гребней на дне борозды. С уменьшением междуследия рабочих органов уменьшается ширина захвата орудия и его производительность, а основные показатели соответствуют агротехническим требованиям [49].

Экспериментальными исследованиями установлено, что минимум энергозатрат при выполнении агротехнических требований обеспечиваются при следующих оптимальных параметрах чизельного рабочего органа;  $\varphi_{ст} = 40 \dots 45^\circ$ ,  $\beta_{ст} = 67^\circ$ ,  $\alpha_d = 16 \dots 21^\circ$  [49, 63, 65, 68, 69].

В результате исследования баланса тягового сопротивления чизельных рабочих органов установлено, что наиболее энергоемким элементом конструкции рабочего органа с наклонной стойкой является долото – 56 % от общей энергоемкости, а у рабочего органа с криволинейной стойкой наиболее энергоемка сама стойка – 58 % [63, 68, 69].

Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа с криволинейной стойкой на 14...17 %, а с наклонной стойкой на 27...29 % меньше чем серийного долотообразного органа чизельного плуга ПЧ-2,5 [49, 63, 68, 69].

Уменьшение высоты почвенных гребней, а также увеличение глубины сплошной обработки наклонными рабочими органами достигаются в результате максимального отклонения рыхлительной пластины относительно плоскости рабочей поверхности стойки на угол  $15^\circ$ . Наиболее полное разрушение почвенных гребней производится криволинейным рабочим органом. Тяговое сопротивление рабочего органа с криволинейными стойками на 5,4...6,7 % выше, чем с наклонными [49, 63, 65, 68, 69].

Анализ вышеизложенного показывает, что рабочий орган типа «Параплау» и его модификации не полностью соответствуют агротехническим требованиям к плугам-рыхлителям для основной безотвальной обработки почвы, т.е. рабочий орган необходимо совершенствовать в направлении увеличения глубины сплошной обработки.

### **1.3.7. Плуги-рыхлители с корпусами СиБИМЭ**

Плуги-рыхлители (рисунок 1.13) с корпусами СиБИМЭ предназначены для рыхления почвы без оборота пласта на глубину 30-35 см с сохранением стерни на поверхности почвы в зонах недостаточного увлажнения с удельным сопротивлением до 0,09 МПа (0,9 кг с/см<sup>2</sup>), не засоренных камнями, плитняком, другими препятствиями [67].



Рисунок 1.13 - Плуги-рыхлители ПН-5-35 (а) и ПН-8-35 (б) с корпусами СибИМЭ

Технические характеристики наиболее распространённых плугов-рыхлителей с корпусами СибИМЭ представлены в таблице (1.8) [67].

**Таблица 1.8 - Технические характеристики плугов-рыхлителей с корпусами СибИМЭ**

Наименование показателя	Значение показателя		
Марка орудия	ПН-4-35	ПН-5-35	ПН-8-35
Тяговый класс	3; 4	4	5
Тип соединения с энергетическим средством	навесной		
Тип рабочих органов	безотвальный корпус СибИМЭ (лапы ЛП-0,35)		
Количество рабочих органов, шт.	4	5	8
Расстояние между рабочими органами, м	-	-	-
Ширина захвата рабочего органа, м	0,35	0,35	0,35
Удельная материалоемкость, кг/м			
Ширина захвата, м	1,4	1,75	2,8
Глубина обработки, м	до 35	до 35	до 35
Рабочая скорость, м/с	до 3,33	до 3,33	до 3,33
Производительность, га/ч	до 1,6	до 2,1	3,3
Количество почвенных фракций размером 0...50 мм (фактическое), %	70	70	70
Гребнистость поверхности обработанного поля в зависимости от глубины обработки, %	не более 30	не более 30	не более 30
Масса, кг	840	940	1580
Габаритные размеры, м:			
- длина	3,915	4,215	6,85
- ширина	1,785	2,230	3,85
- высота	1,645	1,645	1,84

Из таблицы (1.8) видно, что применяемые плуги отличаются рабочей шириной захвата, производительностью, материалоемкостью и габаритными размерами.

Схема технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемой корпусами СибИМЭ (лапы ЛП-0,35) плуга, представлена на рисунке (1.14) [65, 69, 70].

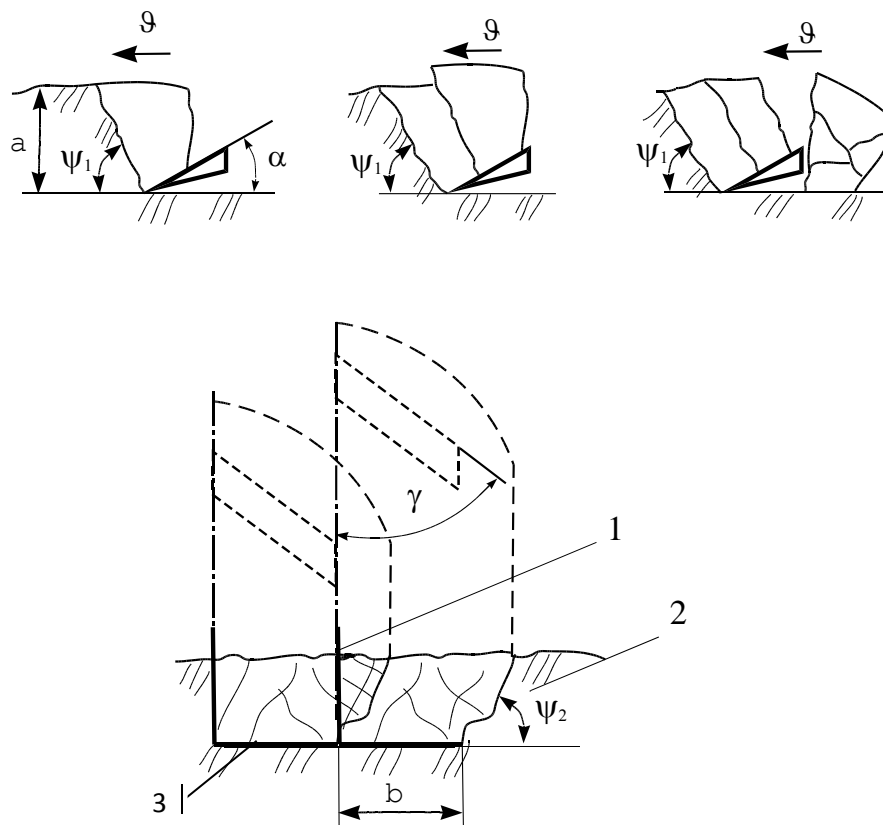


Рисунок 1.14 - Схема технологического процесса основной обработки почвы безотвальными рабочими органами плугов общего назначения:  $a$  – глубина обрабатываемого слоя почвы,  $a = 0,35$  м;  $b$  – ширина захвата рабочего органа,  $b = 0,35$  м; 1 – корпус СибИМЭ; 2 – почва; 3 – плужная подошва.

В процесс работы плуга-рыхлителя, происходит следующее: первоначально в обрабатываемом слое почвы подрезается пласт почвы шириной  $b$ , затем подрезанный пласт почвы сечением  $a \times b$  крошится стойкой СибИМЭ.

### 1.3.8 Результаты исследований работы плугов-рыхлителей с корпусами СибИМЭ

Плуги-рыхлители с корпусами СибИМЭ применяются для основной безотвальной обработки почвы, а также применяются для улучшения солонцовых лугов, пастбищ и послойной обработки целинных солонцов [37, 55,

71]. Накопленный опыт применения стоек СибИМЭ потребовал некоторой корректировки их геометрических параметров. В частности, угол установки лемеха ко дну борозды был увеличен с 25 до 30<sup>0</sup>, что повысило степень крошения почвы до 71,5 % [37, 72]. Тяговое сопротивление при этом возросло незначительно. Был также уточнен радиус закругления накладки и поставлена полевая доска для стабилизации хода стойки.

Стойки СибИМЭ сводят до минимума вынос солонцового горизонта на поверхности поля и сохраняют 70...80 % стерни, что эффективно защищает почву и увеличивает накопление снега [65, 69, 72].

Практика показывает, что плуги со стойками СибИМЭ хорошо рыхлят почву в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Пласт шириной 35 см отклоняется вправо от стойки на 15...20 мм и укладывается после ее прохода на прежнее место. Развальных борозд после прохода стоек практически не остается. Этого нельзя достичь при использовании плоскорезов-глубококорыхлителей [73, 60, 72]. Опыт массового применения стоек показал, что они легко заглубляются в твердую почву без выноса нижних горизонтов почвы.

Следует отметить, что в специальной литературе содержится незначительное количество работ, посвященных исследованиям по применению рабочих органов типа СибИМЭ, и их широкому применению в качестве основного орудия для безотвальной обработки почвы вместо плоскорезов-глубококорыхлителей.

Исследованиями [34, 55, 72] было установлено, что при работе плугов, укомплектованных стойками СибИМЭ, расход топлива в среднем составляет 21 кг/га. При этом тяговое сопротивление в ряде случаев было несколько больше, чем у лемешно-отвальных плугов общего назначения: удельное тяговое сопротивление составило 106 кПа, а крошение не превышало 65 %.

Из вышеизложенного можно заключить, что по некоторым показателям плуги со стойками СибИМЭ не соответствуют агротехническим требованиям, а при работе плугов образуется «плужная подошва».

В результате развала Советского Союза в 20 веке практически был прекращен выпуск почвообрабатывающих орудий, представленных в разделе 1.3.

Однако, приведенные результаты исследований и увеличивающийся спрос в 21 веке на безотвальные почвообрабатывающие орудия будут являться основой для разработки рациональной технологии основной безотвальной обработки почвы и почвообрабатывающих орудий для их выполнения.

#### **1.4 Почвообрабатывающие орудия для основной безотвальной обработки почвы, разработанные в 21 веке**

В начале 21 века в РФ начался подъем сельскохозяйственной отрасли, что потребовало применение новых технологий обработки почвы в основном разработанных отечественными и иностранными учеными. Экспорт почвообрабатывающих машин в РФ составил более 70 % [7]. На заводах РФ для основной обработки почвы начался выпуск почвообрабатывающих орудий, прошедших испытания на специализированных машинно-испытательных станциях для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 следующих марок: ОПО-8,5; КПИР-7,2; КСУ-500; КСУ-8; АПК-6; дискаторов БДМ-6,6х4ПК; дисковых борон БДП-6х4; дискаторов-глубококорыхлителей ДГР-5,7 [7, 74].

Испытаниями вышеуказанных орудий было установлено, что они предназначены для основной безотвальной обработки почвы и являются комбинированными, т.е. состоят из набора различных рабочих органов. При этом глубина обработки почвы находится в пределах 14...18 см, сохранность стерни составляет 25,3-68,8 %, а крошение почвы 64,9-92,4 % [7].

Приведенные результаты показывают, что эти орудия, предназначенные для агрегатирования с тракторами тягового класса 5, не полностью выполняют агротехнические требования, предъявляемые к основной обработке почвы, особенно по глубине обработки.

Из вышеизложенного следует, что необходимо совершенствовать технологию основной обработки почвы и разрабатывать новые почвообрабатывающие орудия для ее реализации.

В Саратовском государственном аграрном университете им. Н.И. Вавилова разработан и внедрен в производство для обработки почвы в зонах рискованного земледелия ряд почвообрабатывающих орудий ПБК-5,4; ПБК-4,8(Ч) и КОМБИ-6, предназначенных для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 как отечественного, так и зарубежного производства [74, 75, 76].

#### 1.4.1 Почвообрабатывающее орудие ПБК-5,4

Орудие ПБК-5,4 (рисунок 1.15) предназначено для основной обработки почвы на глубину 16...35 см, твердостью почвы до 4,5 МПа и влажностью до 30%. Орудие может применяться на всех типах почв, кроме почв, засоренных камнями, плитняком и другими препятствиями [74].

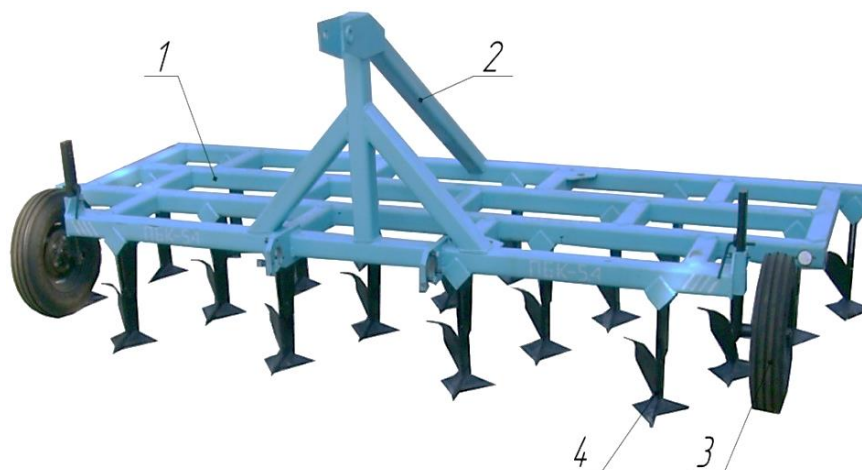


Рисунок 1.15 – Комбинированное почвообрабатывающее орудие ПБК-5,4:  
1 – рама; 2 – навесное устройство; 3 – опорное колесо с механизмом регулировки глубины обработки; 4 – комбинированный рабочий орган.

Технологический процесс основной обработки почвы ПБК-5,4 выполняется по следующей схеме (рисунок 1.16) [74].



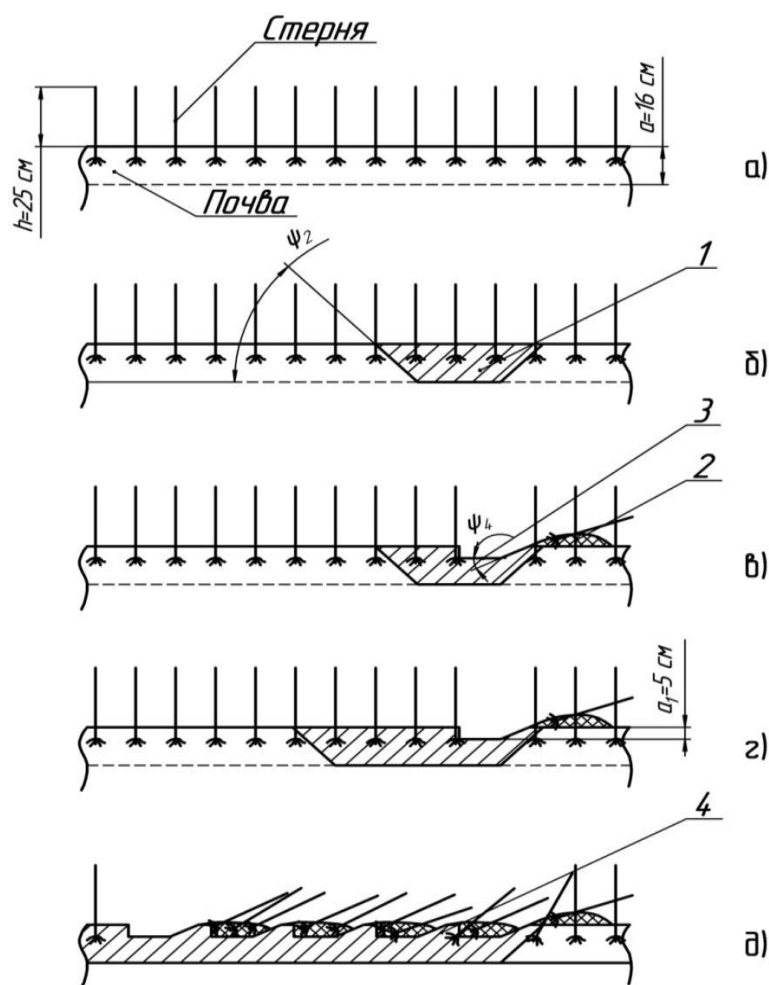


Рисунок 1.16 – Схема технологического процесса обработки почвы почвообрабатывающим орудием ПБК-5,4: 1 – раскрошенная почва; 2 – почва, перемещенная мульчеобразователем; 3 – борозда; 4 – гребни.

В итоге, на поверхности образуется мульчирующий слой (см. рисунок 1.16), а стерня заделывается в наклонном положении под углом  $\psi_4$ . Однако, мульчеобразователь, находящийся на рабочем органе, взаимодействуя с предварительно раскрошенной стрелчатыми лапами почвой, не в полном объеме производит сдвиг раскрошенной почвы, т.е. в обрабатываемом слое почвы образуются гребни, которые нарушают качество мульчирующего слоя [77].

В результате исследований орудия ПБК-5,4 было установлено следующее: недостаточно эффективное накопление влаги в весенне-осенние периоды за счет отсутствия щелей в обработанном слое почвы, образование уплотненного слоя почвы - «плужной подошвы», образующейся после работы

лемешных рабочих органов за счет взаимодействия затылочной фаски стрельчатых лап со слоем почвы и образование на поверхности поля гребней, что в целом не соответствует АТТ [77].

### 1.4.2 Почвообрабатывающее орудие ПБК-4,8(Ч)

Комбинированное почвообрабатывающее орудие ПБК-4,8(Ч) (рисунок 1.17) предназначено для основной обработки почвы на глубину 16...35 см, твердостью почвы до 4...4,5 МПа и влажностью до 30 %. Орудие может применяться на всех типах почв, кроме почв, засоренных камнями, плитняком и другими препятствиями [75].

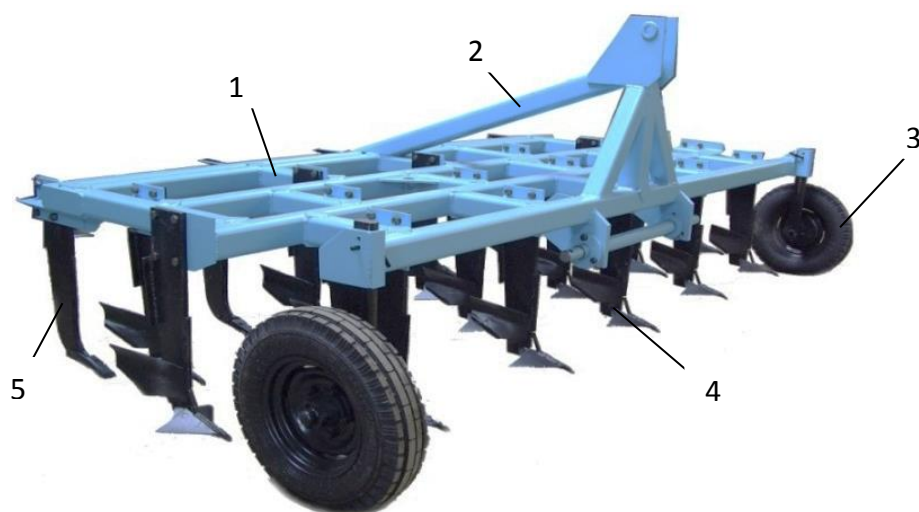


Рисунок 1.17 – Комбинированное почвообрабатывающее орудие ПБК-4,8(Ч):  
1 – рама; 2 – навесное устройство; 3 – опорное колесо с механизмом регулировки глубины обработки; 4 – комбинированные рыхлительные рабочие органы; 5 – дополнительные чизельные рабочие

Технологический процесс основной обработки почвы орудия ПБК-4,8(Ч) выполняется по следующей схеме (рисунок 1.18) [75, 78-81].

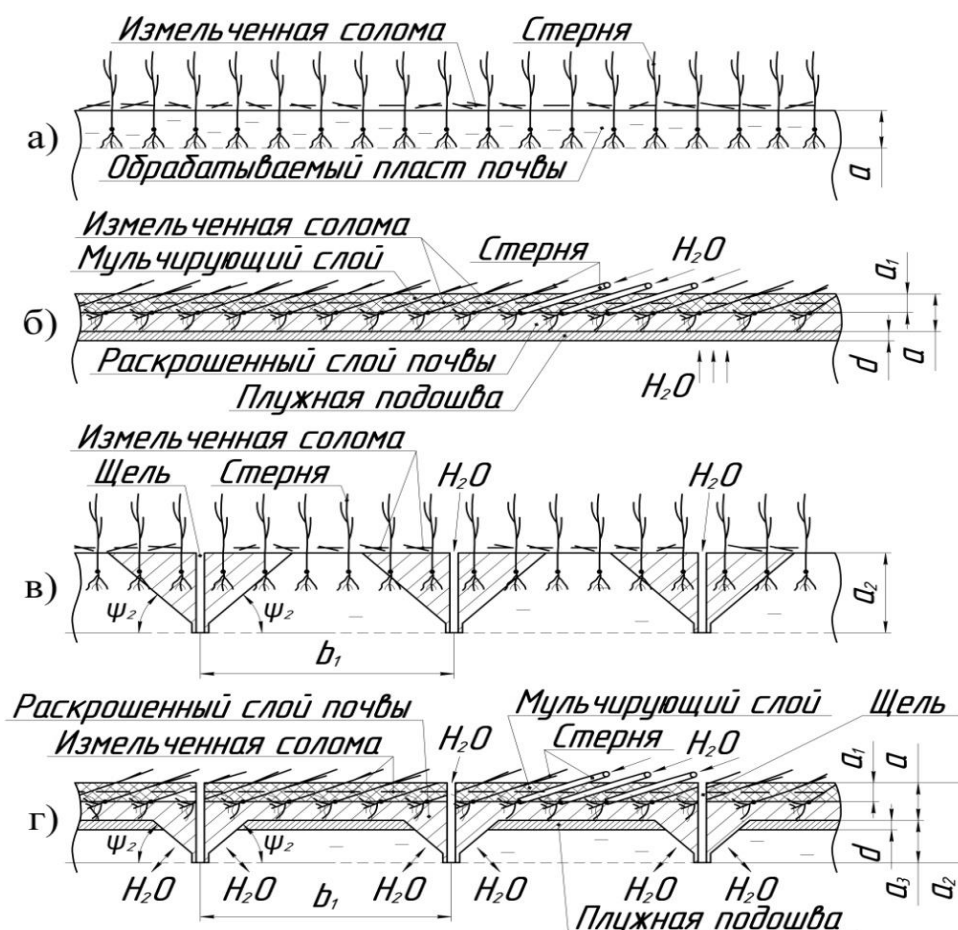


Рисунок 1.18 – Схемы комбинированного технологического процесса основной обработки почвы ПБК-4,8 (Ч): а) – обрабатываемый слой почвы; б) – слой почвы, обработанный по рациональному технологическому процессу мелкой основной обработки почвы с мульчированием верхнего слоя; в) – слой почвы, обработанный по комбинированному технологическому процессу глубокой обработки почвы; г) – объединенный технологический процесс основной обработки почвы;  $a$  – глубина раскрошенного слоя почвы,  $a = 0,16...0,25$  м;  $a_1$  – глубина мульчирующего слоя,  $a_1 = 0,04...0,06$  м;  $a_2$  – глубина почвоуглубления,  $a_2 = 0,30...0,35$  м;  $a_3$  – разница глубин  $a$  и  $a_2$ , м;  $b_1$  – межщелевое расстояние,  $b_1 = 0,7...0,9$  м;  $d$  – толщина плужной «подошвы»,  $d = 0,03...0,06$  м

Техническая характеристика почвообрабатывающего орудия ПБК-4,8 (Ч) представлена в таблице (1.9) [75].

Лабораторно-полевые исследования орудия ПБК-4,8(Ч) проводились на основной обработке по стерне озимой пшеницы влажностью почвы в обрабатываемом слое (от 0 до 40 см) 13,2...21,9 % и твердостью почвы – 2,6...5,6 МПа. Поле, где проводилось исследование, было ровным, однородным по механическому составу – чернозем обыкновенный среднесуглинистый и слабовыраженным микрорельефом. Высота сорных

растений и пожнивных остатков составляла 23 см. Масса растительных и пожнивных остатков на 1 м<sup>2</sup> составляла 971,5 г [75].

**Таблица 1.9 - Техническая характеристика орудия ПБК-4,8 (Ч)**

Наименование показателя	Значение показателя
Агрегируется с тракторами тягового класса, тс	5
Тип соединения с энергетическим средством	Навесной
Ширина захвата орудия, м	4,8
Транспортная скорость, км/ч, не более	20
Ширина захвата рабочих органов, мм:	
- комбинированного	310
- чизельного	60
Количество рабочих органов, шт.:	
- комбинированных	16
- чизельных	5
Габаритные размеры машины, мм:	
- длина, ширина, высота	2470; 5000; 1770
Масса машины, кг	2080

Агротехнические показатели, полученные в результате исследований работы агрегата К-701+ПБК-4,8(Ч) представлены в таблице (1.10) [75].

**Таблица 1.10 - Агротехнические показатели работы агрегата К-701+ПБК-4,8(Ч)**

Наименование показателя	Значение показателя	
Скорость движения, м/с	1,08	1,75
Рабочая ширина захвата, м	4,8	
Глубина обработки рабочих органов, см:		
а) комбинированных	23,3	23,5
б) чизельных	29,3	30,9
- среднеквадратическое отклонение, ± см:		
а) комбинированных	2,1	1,7
б) чизельных	1,8	1,2
Крошение почвы (размер фракций до 50 мм), %, не менее	94,7	97,3
Глубина борозд по следу стоек рабочих органов, см	13,5	14,1
Заделка стерни, %	47,6	48,8
Подрезание сорных растений и пожнивных остатков, %	100	
Забивание и залипание рабочих органов	Не наблюдалось	

На основании таблицы (1.10), можно заключить, что за стойками рабочих органов ПБК-4,8(Ч) оставались борозды глубиной 13,5...14,1 см,

вследствии работы мульчеобразователей, находящихся на стойках рабочих органов (по АТТ не более 5 см). Низкий показатель заделки стерни (47,6...48,8%) у ПБК-4,8(Ч) получен в следствии высокой твердости почвы и большого количества растительных и пожнивных остатков. Очевидно, что эти показатели значительно снижают качество обработки почвы [75, 77].

Для выявления причины снижения качества обработки почвы, т.е. образования глубоких борозд, необходимо провести исследование рабочих органов ПБК-4,8(Ч) и технологического процесса основной обработки почвы выполняемого этим орудием.

### 1.4.3 Комбинированное почвообрабатывающее орудие КОМБИ-6

Комбинированное почвообрабатывающее орудие КОМБИ-6 (рисунок 1.19) предназначено для основной обработки почвы на глубину 16...35 см, твердостью почвы до 4,5 МПа и влажностью до 30%. Орудие может применяться на всех типах почв, кроме почв, засоренных камнями, плитняком и другими препятствиями [76].



Рисунок 1.19 - Комбинированное почвообрабатывающее орудие КОМБИ-6

Конструктивно-технологическая схема почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6 представлена на рисунке (1.20) [76, 82, 83].

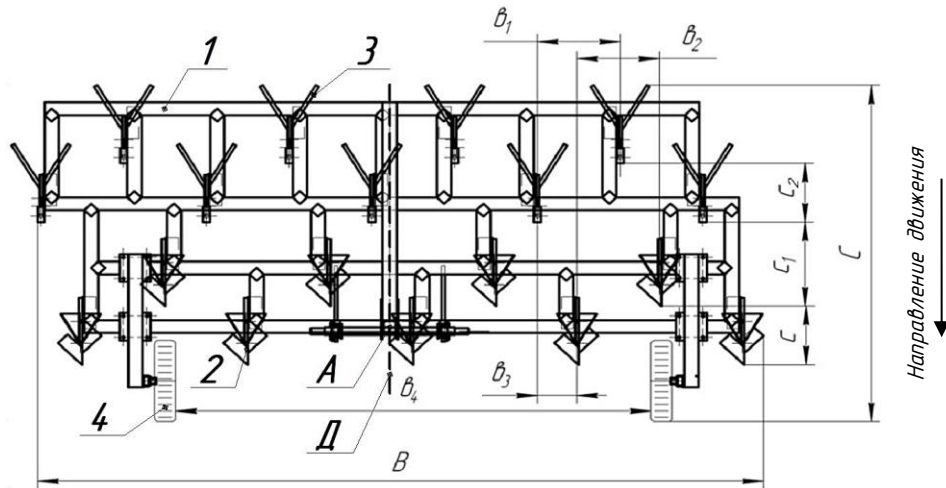


Рисунок 1.20. Конструктивно-технологическая схема почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6: 1 – рама; 2 – рыхлительный рабочий орган; 3 – чизельный рабочий орган; 4 – опорное колесо с механизмом регулировки глубины; А – точка прицепа почвообрабатывающего орудия; Д – линия тяги трактора; В – ширина захвата орудия (6,3 м); С – длина орудия (3,2 м);  $v_1$  – расстояние между чизельными рабочими органами в ряду (0,7 м);  $v_2$  – расстояние между рыхлительными рабочими органами в ряду (0,7 м);  $v_3$  – расстояние между рыхлительными и чизельными рабочими органами в ряду (0,35 м);  $v_4$  – расстояние между опорными колесами (4,0 м);  $c$  – расстояние между рыхлительными рабочими органами по ходу (0,6 м);  $c_1$  – расстояние между рыхлительными и чизельными рабочими органами по ходу (0,7 м);  $c_2$  – расстояние между чизельными рабочими органами по ходу (0,6 м).

Схема разработанного технологического процесса основной обработки почвы, выполняемого почвообрабатывающим орудием КОМБИ-6, представлена на рисунке (1.21) [76].

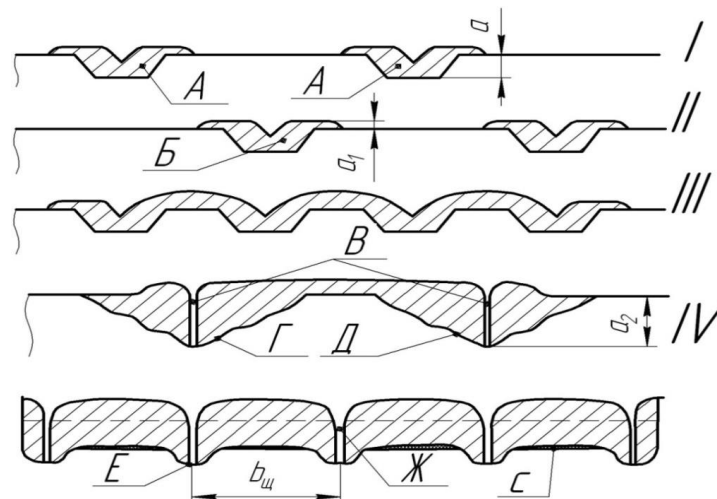


Рисунок 1.21 – Схема технологического процесса основной обработки почвы орудия КОМБИ-6: I, II – подрезание, рыхление (до 16 см) и перемещение верхней части пласта на необработанную часть поля, с формированием гребней из раскрошенной почвы и растительных остатков высотой  $a_1$  до 5 см; III, IV – рыхление с углублением ( $a_2 = 30$  см) пахотного горизонта и выравнивание поверхности почвы;  $b_{щ}$  – расстояние между серединами щелей; C – плужная подошва.

Техническая характеристика почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6 представлена в таблице (1.11) [76].

**Таблица 1.11 - Техническая характеристика почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6**

Наименование показателя	Значение показателя
Тип соединения с энергетическим средством	Навесной
Ширина захвата (конструктивная), м	6,3
Дорожный просвет, мм	450
Габаритные размеры, мм: - длина, ширина, высота	3670; 6450; 1850
Масса орудия, кг	2656
Количество рабочих органов, шт.:	
- рыхлительных	9
- чизельных	9
Пределы регулирования рабочих органов по глубине, см:	
- рыхлительных	0-25
- чизельных	10-40
Количество рядов рабочих органов, шт.:	
- рыхлительных	2
- чизельных	2
Расстояние между рабочими органами в ряду, мм	700
Расстояние между стойками смежных рабочих органов, мм	350
Расстояние от опорной плоскости корпусов до нижней плоскости рамы, мм:	
- рыхлительных	700
- чизельных	850

Лабораторно-полевые исследования почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6 проводились на основной разноглубинной обработке почвы влажностью в обрабатываемом слое почвы (от 0 до 30 см) 22,5...22,9% и твердостью почвы – 1,1...1,6 МПа. Поле, где проводилось исследование, было ровным, однородным по механическому составу – чернозем обыкновенный среднесуглинистый и слабовыраженным микрорельефом. Высота сорных растений и пожнивных остатков составляла 26,6 см. Масса растительных и пожнивных остатков на 1 м<sup>2</sup> составляла 522,1 г [76].

Агротехнические показатели лабораторно-полевых исследований технологического процесса, выполняемого почвообрабатывающим агрегатом К-744РЗ+КОМБИ-6, подставлены в таблице (1.12) [76].

**Таблица 1.12 - Агротехнические показатели работы почвообрабатывающего агрегата К-744РЗ+КОМБИ-6**

Наименование показателя	Значение показателя	
Состав агрегата	К-744РЗ+КОМБИ-6	
Скорость движения агрегата, м/с	1,8	2,17
Рабочая ширина захвата орудия, м	6,3	6,3
Глубина обработки рабочих органов, см:		
а) рыхлительных	15,7	16,7
б) чизельных	30,2	30
- среднее квадратическое отклонение глубины, ± см:		
а) рыхлительных	1,6	1,4
б) чизельных	1,8	1,7
Крошение почвы (размер фракций до 50 мм), %, не менее	91,8	92,2
Глубина борозд по следу стоек рабочих органов, см	9,9	11,9
Заделка стерни, %	70,4	71,1
Подрезание сорных растений и пожнивных остатков, %	100	
Забивание и залипание рабочих органов	Не наблюдалось	

На основании проведенных исследований (см. таблицу 1.12) установлено, что технологический процесс основной обработки почвы орудием КОМБИ-6 выполняется по следующей схеме, представленной на рисунке (1.22) [76].

Анализ схемы выполнения технологического процесса основной обработки почвы (см. рисунок 1.22) показывает, что первоначально производится рыхление и перемещение верхней части обрабатываемого пласта почвы с образованием углублений (см. рисунок 1.22; а) на глубину  $a$  (15,7...16,7 см), при этом на поверхности поля формируется гребень высотой  $h$  (8...10 см). Затем процесс повторяется с образованием углублений (см. рисунок 1.22; б). Далее производится рыхление почвы с образованием углублений и щелей (см. рис. 6; в, г) на глубину  $a_1$  (30...30,2 см), при этом значительно возрастает интенсивность перемешивания за счет перемещений почвы из этих углублений и щелей. В процессе образуется мульчирующий слой и возрастает интенсивность разрушения уплотненного слоя почвы.

Однако, следует отметить, что в результате работы КОМБИ-6 на поверхности поля, после прохода рыхлительных рабочих органов, на которых устанавливались мельчеобразователи, образуются глубокие борозды глубиной  $a_2$  (9,9...11,9 см), что не соответствует АТТ (не более 5 см) [77].



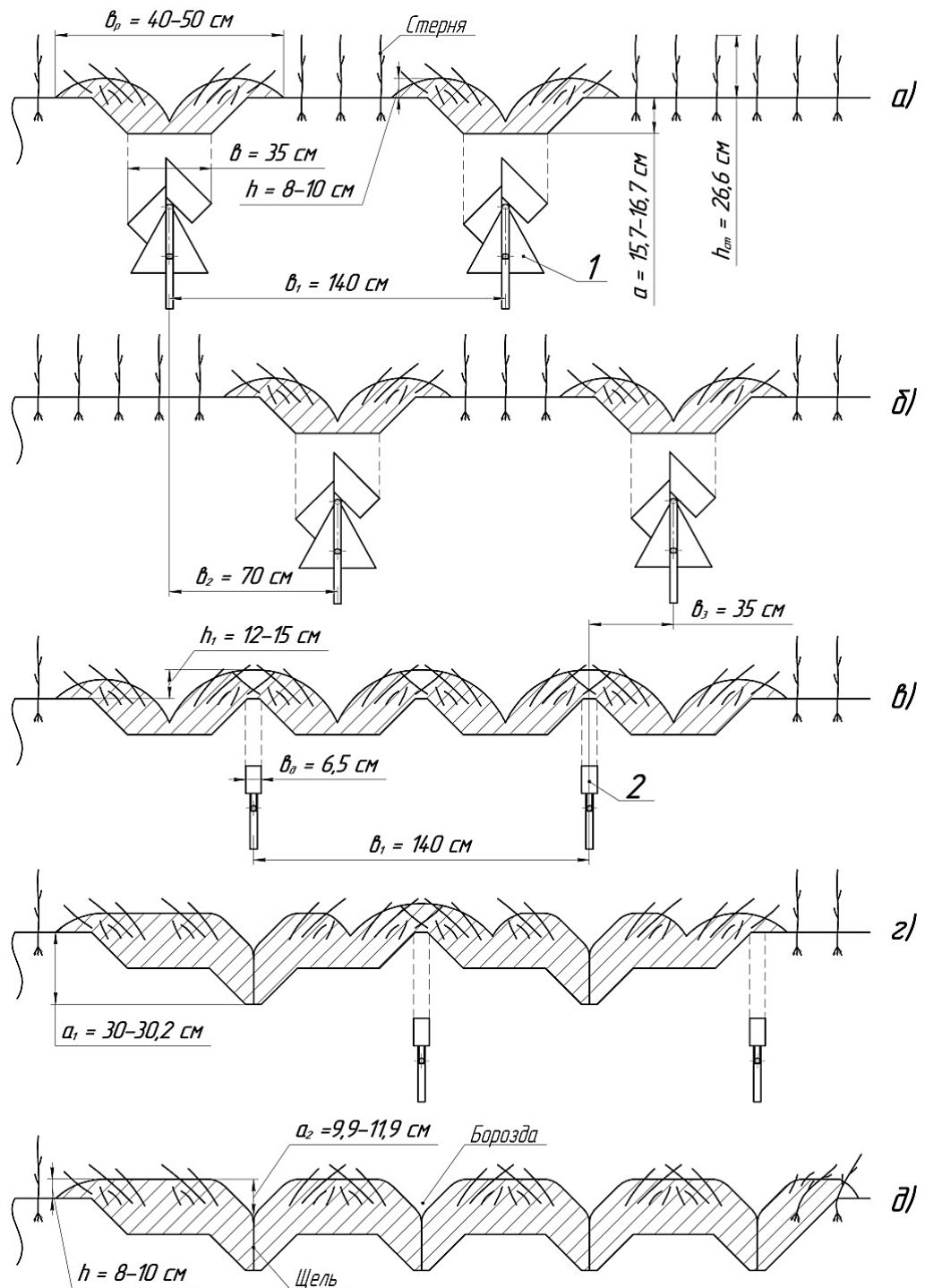


Рисунок 1.22 – Схема выполнения технологического процесса основной обработки почвы орудием КОМБИ-6: 1 и 2 – рыхлительный и чизельный рабочие органы; а), б), в) и г) – схемы взаимодействия рыхлительных и чизельных рабочих органов с обрабатываемым слоем почвы на глубину  $a$  и  $a_1$  соответственно.

Из проведенных исследований на фотографиях (рисунок 1.23; б) видно, что из-за высокой влажности в обрабатываемом слое почвы в процессе работы орудия КОМБИ-6 наблюдаются глубокие борозды после прохода чизельных рабочих органов [76, 77].



а)

б)

Рисунок 1.23 – Фотографии исследований: а) – МТА из К-701+КОМБИ-6; б) – обработанное поле орудием КОМБИ-6.

На основании выполненных исследований, можно заключить, что для повышения качества основной обработки почвы орудием КОМБИ-6 необходимо уменьшить глубину борозд и добиться выровненной поверхности поля, т.е. необходимо усовершенствовать технологический процесс основной обработки почвы и рабочие органы этого орудия [77].

### **Выводы**

1. В настоящее время в сельскохозяйственном производстве в РФ широко применяются тракторы серии К-700 и К-744, и современные тракторы мощностью 200-400 кВт российского и иностранного производства с навесными устройствами для агрегатирования их с различными почвообрабатывающими орудиями. Эти тракторы значительно отличаются по мощности, расходу топлива и эксплуатационной массе.

2. На основании приведенных характеристик тракторов мощностью 200-400 кВт нельзя установить к какому тяговому классу относятся эти тракторы.

3. Для основной безотвальной обработки почвы во второй половине 20 века в РФ использовались плоскорезы-глубокорыхлители, чизельные плуги, плуги-рыхлители и серийные лемешно-отвальные плуги, комплектованные стойками СибИМЭ, которые отличались конструкцией рам и рабочих органов.

Эти орудия в основном предназначены для агрегатируются с тракторами тягового класса 5. Качественные показатели работы этих орудий не всегда полностью отвечали агротехническим требованиям, предъявляемых к основной безотвальной обработке почвы, а также эти орудия имели низкие энергетические показатели работы.

4. В 21 веке для выполнения основной безотвальной обработки почвы стали применять различные комбинированные почвообрабатывающие орудия агрегируемые с тракторами тягового класса 5, которые в основном предназначены для глубины обработки до 14-18 см, при этом качественные показатели их работы не полностью соответствовали АТТ.

5. В Саратовском ГАУ им. Н.И. Вавилова, на основании разработанных технологий основной безотвальной обработки почвы, были разработаны и внедрены в производство почвообрабатывающие орудия агрегируемые с тракторами тягового класса 5 (К-701; К-744 Р1) ПБК-5,4; ПБК-4,8 (Ч); КОМБИ-6. В результате длительной эксплуатации этих орудий было установлено, что вследствие нахождения на рабочих органах мульчеобразователей, не полностью выполняются агротехнические требования, предъявляемые к основной безотвальной обработке почвы, что требует дальнейшего совершенствования технологии основной безотвальной обработки почвы и конструкции почвообрабатывающих орудий.

6. Конструктивно-технологические схемы орудий ПБК-5,4; ПБК-4,8(Ч) и КОМБИ-6 следует учитывать при разработке навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегирования с тракторами тягового класса 5 как российского, так и иностранного производства.

7. Пахотный агрегат, состоящий из трактора тягового класса 5 и разработанного под этот класс навесного фронтального плуга-рыхлителя, обеспечит возможность получения высоких эксплуатационно-технологических показателей его работы.

## Цель и задачи исследований

На основании сделанных выводов, целью настоящего исследования является повышение эксплуатационно-технологических показателей работы пахотных агрегатов путем разработки навесных фронтальных плугов-рыхлителей для агрегатирования с тракторами тягового класса 5.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ тракторов мощностью 200-400 кВт и почвообрабатывающих орудий, применяемых для основной безотвальной обработки почвы.

2. Обосновать конструктивно-технологическую схему навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 и определить эксплуатационно-технологические показатели работы предлагаемого пахотного агрегата.

3. Провести экспериментальные исследования технологического процесса основной безотвальной обработки почвы разработанным навесным фронтальным плугом-рыхлителем.

4. В хозяйственных условиях исследовать эффективность применения пахотного агрегата, состоящего из трактора тягового класса 5 и предлагаемого плуга-рыхлителя, дать экономическую оценку его применения.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ НАВЕСНОГО ФРОНТАЛЬНОГО ПЛУГА-РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ АГРЕГАТИРОВАНИЯ С ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАССА 5

### 2.1. Анализ тракторов мощностью 200-400 кВт

В первом разделе показано, что в настоящее время в России для выполнения энергоемких сельскохозяйственных работ широко используются тракторы различных моделей как российского, так и зарубежного производства. На диаграмме (рисунок 2.1) представлены модели тракторов российского производства серии К-700 и К-744.

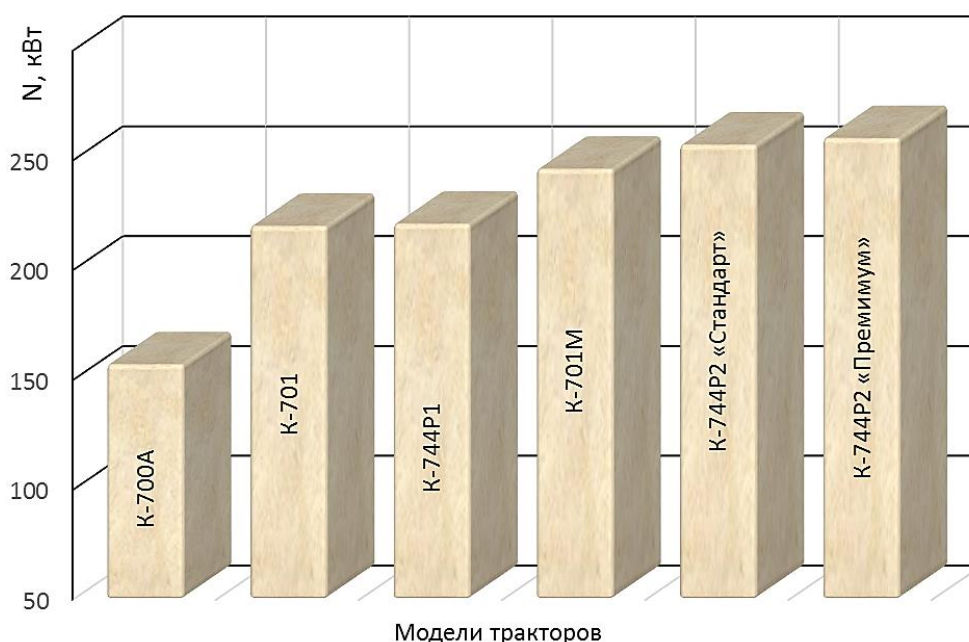


Рисунок 2.1 - Диаграмма моделей тракторов российского производства серий К-700 и К-744.

Анализируя диаграмму (см. рисунок 2.1) и таблицу (1.2), видно, что трактор К-701 и К-744Р1, которые в настоящее время широко применяются на основной обработке почвы имеют одинаковые характеристики. Тракторы К-700А и К-701М, как показали наши исследования, во многих хозяйствах РФ отсутствуют. У тракторов К-744Р2 по сравнению с К-701 и К-744Р1 номинальная мощность двигателя на 12-18% больше. Также следует отметить, что тракторы модели К-744Р2, вследствие их комплектации иностранными двигателями, выпускаются небольшими партиями.

Согласно источникам [7], в настоящее время в России стали широко применять современные тракторы следующих марок: «Беларус 3522» (образец 1, марка двигателя – «TCD 2013 L064V C3UT 261» Deutz, мощность двигателя - 227 кВт), К-9430 (марка двигателя – «Mercedes Benz», мощность двигателя - 281 кВт), «New Holland T9.505» (марка двигателя – «F3BPA613B FIAT», мощность двигателя - 362 кВт), «Versatile» 535 (марка двигателя – «QSX15 Cummins», мощность двигателя - 371 кВт), «New Holland T-9.390» (марка двигателя – «F2CFA613C Fiat Power Train», мощность двигателя - 252 кВт), «John Deere 8310R» (марка двигателя – «6090 RW 212 John Deere», мощность двигателя - 222 кВт), «Беларус 3522» (образец 2, марка двигателя – «TCD 2013 L064V C3UT 261» Deutz, мощность двигателя – 234,2 кВт), АТМ 7360 (марка двигателя – «TCD 2013 L06-4V Deutz», мощность двигателя – 237 кВт).

На диаграмме (рисунок 2.2) представлены модели современных тракторов мощность 200-400 кВт [7].

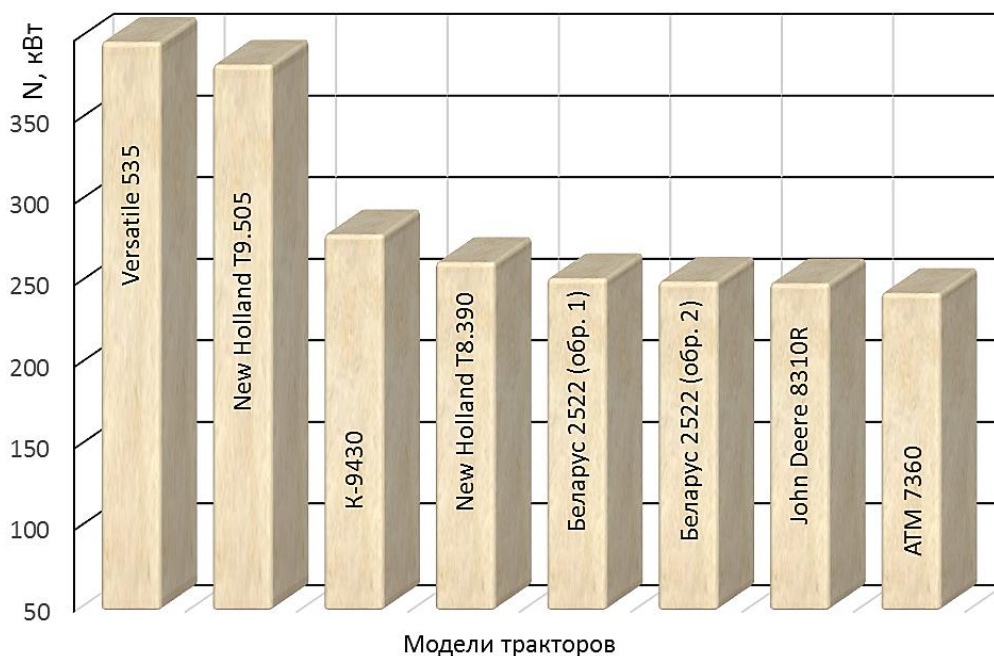


Рисунок 2.2 - Диаграмма моделей современных тракторов мощность 200-400 кВт

Анализ диаграммы (см. рисунки 2.1; 2.2) показывает, что в РФ применяют много моделей современных тракторов с различной мощностью двигателей.



Из представленных диаграмм (см. рисунки 2.1; 2.2) и таблиц (1.2; 1.3) нельзя установить сколько и какие модели тракторов относятся к тяговому классу 5.

В ГОСТ 27021-86 «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы» приведен расчетный метод определения номинального тягового усилия трактора  $P_{кр\ ном}$ , которое определяется по следующей формуле (2.1) [84]:

$$P_{кр\ ном} = A \cdot m_э, \text{ кН} \quad (2.1)$$

где  $A$  – коэффициент, устанавливаемый в зависимости от вида трактора (для четырехколесных тракторов с эксплуатационной массой свыше 2600 кг  $A = 3,73 \cdot 10^{-3}$ ), м/сек<sup>2</sup>;  $m_э$  – эксплуатационная масса трактора, кг.

Там же приведен экспериментальный метод определения номинального тягового усилия трактора  $P_{кр\ ном}$ , которое определяется по следующей формуле (2.2) [84]:

$$P_{кр\ ном} = B \cdot P_{кр\ max}, \text{ кН} \quad (2.2)$$

где  $B$  – коэффициент для колесных тракторов ( $B = 0,6$ );  $P_{кр\ max}$  – максимальное тяговое усилие трактора, кН.

Согласно ГОСТ 27021-86, при величине номинального тягового усилия трактора, находящегося в пределах 45-54 кН, этот трактор будет относиться к тракторам тягового класса 5.

Используя результаты испытаний тракторов [7], ГОСТ 27021-86 и выражение (2.1), в таблице (2.1) приведены результаты расчета номинальных тяговых усилий и по ним определены тяговые классы этих тракторов.

**Таблица 2.1 – Максимальные и номинальные тяговые усилия современных тракторов мощностью 200-400 кВт**

Модель	Versatile 535	New Holland T9.505	K-9430	New Holland T8.390	Беларус 2522 (обр. 1)	Беларус 2522 (обр. 2)	John Deere 8310R	ATM 7360
Максимальное тяговое усилие, кН	130	111	106	86	87	99	83	89
Номинальное тяговое усилие, кН	78	66,6	63,6	51,6	52,2	59,4	49,8	53,4
Тяговый класс	8	6	6	5	5	6	5	5

На основании представленных технических характеристик тракторов (см. таблицу 1.2), ГОСТ 27021-86 и выражение (2.2), в таблице (2.2) приведены результаты расчета номинальных тяговых усилий и по ним определены тяговые классы тракторов.

**Таблица 2.2 – Эксплуатационные массы и номинальные тяговые усилия тракторов.  
Тяговый класс трактора**

Наименование показателя	Значение показателя					
	Кировец К-700			Кировец К-744		
Серия						
Модель	К-700А	К-701	К-701М	К-744Р1	К-744Р2 «Стандарт»	К-744Р2 «Премимум»
Масса эксплуатационная, кг	12800	13700	14300	14300	15680	15220
Номинальное тяговое усилие, кН	47,7	51,1	53,3	53,3	58,48	56,77
Тяговый класс трактора	5	5	5	5	6	6

Анализируя полученные результаты (см. таблицы 2.1; 2.2), можно сделать следующий вывод, что такие тракторы как New Holland Т8.390, Беларус 2522 (обр. 1), John Deere 8310R, АТМ 7360, К-700А, К-701, К-701М, К-744Р1 относятся к тяговому классу 5 и этих моделей больше всего из представленных. Очевидно, что тяговое сопротивление разрабатываемого навесного фронтального плуга-рыхлителя также должно находиться в диапазоне 45-54 кН.

## **2.2. Анализ почвообрабатывающих орудий, применяемых для основной безотвальной обработки почвы**

В первом разделе было установлено, что для основной безотвальной обработки почвы применяются пахотные агрегаты, состоящие из тракторов тягового класса 5, которые агрегируются с плоскорезами-глубокорыхлителями ПГ-3-5 (рисунок 2.3), чизельными плугами ПЧ-4,5 (рисунок 2.4), плугами-рыхлителями ПРПВ-8-40 (рисунок 2.5), лемешно-отвальными плугами ПНЛ-8-35 комплектованными стойками СИБИМЭ с корпусами ЛП-0,35 (рисунок 2.6).



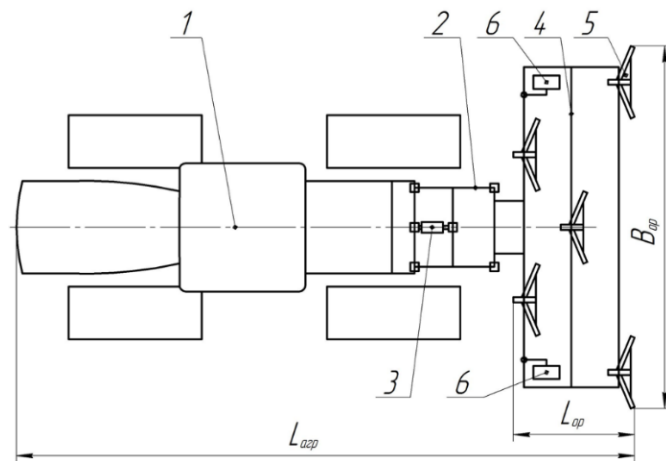


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема пахотного агрегата, комплектуемого плоскорезом-глубококорыхлителем ПГ-3-5: 1 – трактор; 2 – навеска; 3 – гидроцилиндр; 4 – рама орудия; 5 – рабочий орган; 6 – опорные колеса.

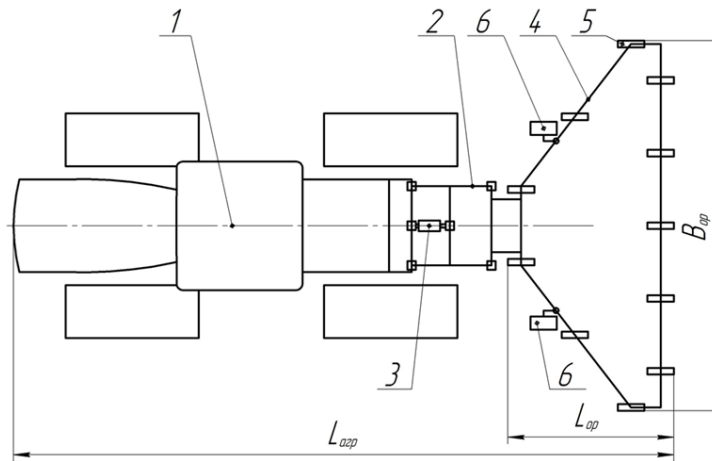


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема пахотного агрегата, комплектуемого чизельным плугом ПЧ-4,5: 1 – трактор; 2 – навеска; 3 – гидроцилиндр; 4 – рама орудия; 5 – рабочий орган; 6 – опорные колеса.

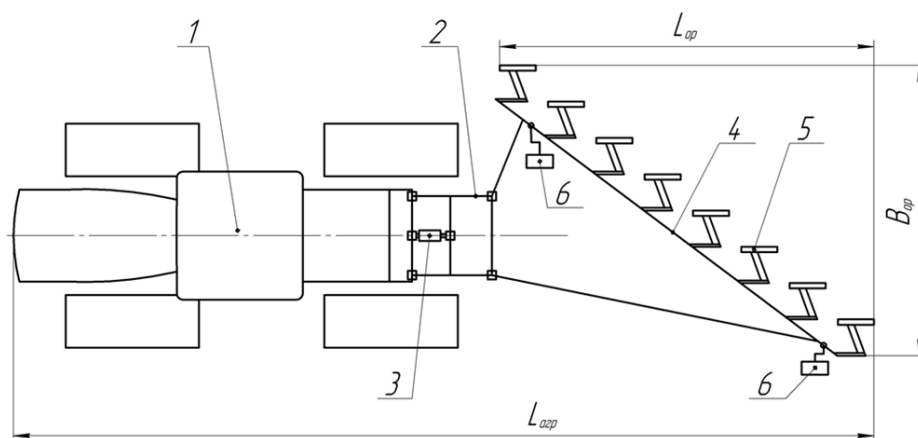


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема пахотного агрегата, комплектуемого плугом-рыхлителем ПРПВ-8-40: 1 – трактор; 2 – навеска; 3 – гидроцилиндр; 4 – рама орудия; 5 – рабочий орган; 6 – опорные колеса.

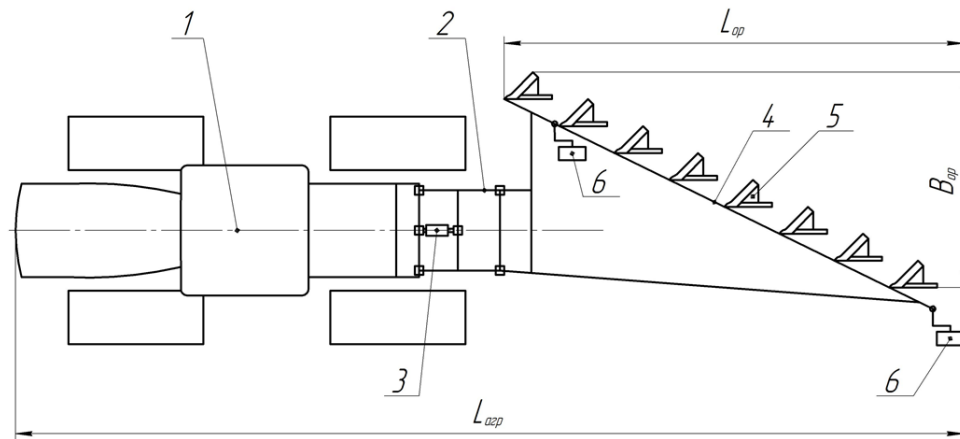


Рисунок 2.6 – Принципиальная схема пахотного агрегата, комплектованного лемешно-отвальным плугом ПНЛ-8-35 со стойками СИБИМЭ (с корпусами ЛП-0,35): 1 – трактор; 2 – навеска; 3 – гидроцилиндр; 4 – рама орудия; 5 – рабочий орган; 6 – опорные колеса.

Анализ принципиальных схем пахотных агрегатов (см. рисунки 2.3; 2.4; 2.5; 2.6) показывает, что все почвообрабатывающие орудия агрегируются с тракторами по навесному варианту (способу соединения с энергосредством), при этом представленные агрегаты имеют различную длину вследствие разной длины почвообрабатывающего орудия.

Известно, что производительность пахотных агрегатов зависит от кинематических характеристик агрегата: кинематической длины трактора и кинематической длины почвообрабатывающего орудия [67, 85, 86, 87]. Анализ применяемого комплекса почвообрабатывающих машин (см. раздел 1; табл. 1.4; 1.5; 1.7; 1.8) показывает, что для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 кинематическая длина плоскореза-глубокорыхлителя ПГ-3-5 составляет 2,55 м, чизельного плуга ПЧ-4,5 – 2,17 м, плуга-рыхлителя ПРПВ-8-40 – 5,27 м и плуга ПНЛ-8-35 комплектованного корпусами ЛП-0,35 – 6,85 м.

Оценить эффективность пройденного агрегатом пути в процессе пахоты можно по коэффициенту использования рабочих ходов  $\varphi$  [67, 85, 86, 87], используя следующее выражение (2.3):

$$\varphi = L_p / L_p + L_x, \quad (2.3)$$

где,  $L_p$  – длина рабочего хода агрегата по полю, м;  $L_x = 1,14 \cdot R_o + X_{п} + 2 \cdot L_{агр}$  – длина холостого хода агрегата на поворотной полосе, м;  $R_o$  – радиус поворота агрегата, м;  $X_{п}$  – длина прямолинейного участка на поворотной полосе, м;

$L_{\text{агр}} = L_{\text{тр}} + L_{\text{ор}}$  – кинематическая длина агрегата, м;  $L_{\text{тр}}$  – кинематическая длина трактора, м;  $L_{\text{ор}}$  – кинематическая длина почвообрабатывающего орудия, м.

С учетом условия, что скорость движения агрегата на холостом ходу  $v_x$  соответствует рабочей скорости  $v_p$ , производительность  $W$  пахотного агрегата определяется по следующему выражению (2.4):

$$W = 0,1 \cdot B_{\text{ор}} \cdot v_p [L_p / (L_p + 1,14 \cdot R_o + X_{\text{п}} + 2 \cdot L_{\text{агр}})] , \text{ га/ч} \quad (2.4)$$

где,  $B_{\text{ор}}$  – рабочая ширина захвата орудия, м;  $v_p$  – рабочая скорость агрегата, км/ч.

На основании выражения (2.4), для персонального компьютера была разработана программа расчета эксплуатационных показателей пахотного агрегата. Используя результаты полученных расчетов, на рисунке (2.7) представлены зависимости производительности  $W$  пахотных агрегатов с рассматриваемыми орудиями от длины обрабатываемого поля  $L$ .

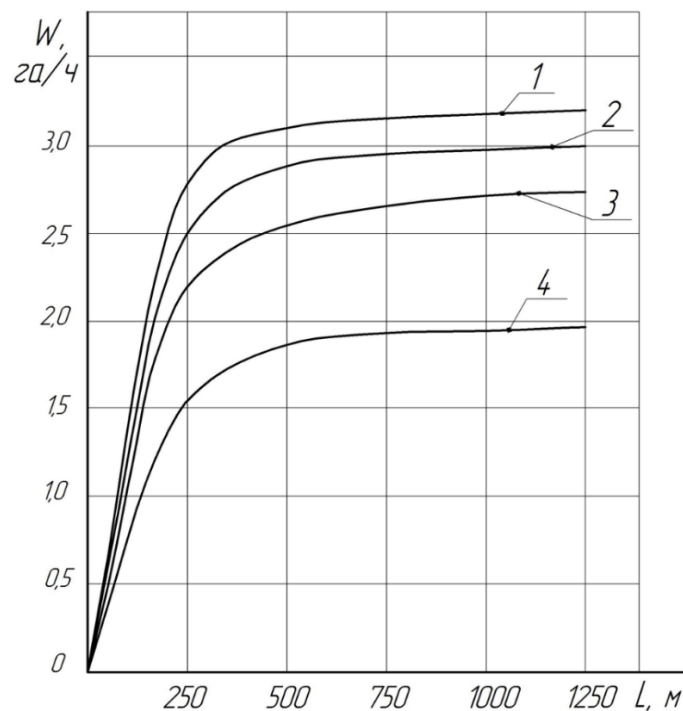


Рисунок 2.7 – Зависимости производительности  $W$  пахотных агрегатов от длины обрабатываемого поля  $L$ : 1 – агрегат К-701+ПГ-3-5; 2 – агрегат К-701+ПЧ-4,5; 3 – агрегат К-701+ПРПВ-8-40; 4 – агрегат К-701+ПНЛ-8-35+ЛП-0,35.

Анализ представленных зависимостей (см. рисунок 2.7) показывает, что при длине гона обрабатываемого поля более 250 м на производительность

пахотного агрегата значительное влияние оказывает кинематическая длина почвообрабатывающего орудия. Наибольшую производительность имеет пахотный агрегат при кинематической длине орудия 2,55 м (ПГ-3-5). Увеличение длины гона обрабатываемого поля более 500 м не дает явного прироста производительности у всех агрегатов.

На основании проведенного анализа, можно сделать следующий вывод, что для получения максимальной производительности пахотного агрегата необходимо иметь минимально возможную кинематическую длину почвообрабатывающего орудия, которая зависит от конструктивно-технологической схемы этого орудия. Ориентировочно можно принять, что кинематическая длина навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 должна находиться в пределах от 2,0 до 2,5 м, при этом плуг должен агрегатироваться с трактором по навесному варианту (способу соединения).

Анализируя, представленные в подразделе 1.3, почвообрабатывающие орудия для основной безотвальной обработки почвы, разработанные во второй половине 20 века, можно сделать следующий вывод. Для выполнения основной безотвальной обработки почвы применяются рабочие органы, выполненные в виде симметричных стрельчатых лап шириной захвата 110 см. Совершенствование этих рабочих органов происходило за счет уменьшения ширины захвата. Были созданы ассиметричные рабочие органы шириной захвата 35 см, а затем рабочие органы выполненные в виде плоской или криволинейной стойки на которые устанавливались долотья, что позволило улучшить качество и снизить энергоемкость обработки почвы, а также уменьшить отрицательное влияние «плужной подошвы». Дальнейшее совершенствование основной безотвальной обработки почвы по всей видимости будет направлено на улучшение технологии обработки почвы и конструкции безотвальных плугов.

Как показали исследования, проведенные в первом разделе, для реализации технологии основной безотвальной обработки почвы применяется

следующий комплекс почвообрабатывающих машин, включающих: плоскорезы-глубокорыхлители, чизельные плуги, плуги-рыхлители, комбинированные орудия и новые почвообрабатывающие орудия.

Установлено, что эти машины имеют ряд недостатков, снижающих их эффективность. Плоскорезы-глубокорыхлители имеют низкую степень крошения почвы и образуют уплотненный слой почвы – «плужную подошву». Чизельные плуги и плуги-рыхлители недостаточно разрушают «плужную подошву», являются энергоемкими, а большая длина плугов-рыхлителей снижает эксплуатационные показатели работы агрегата. Комбинированные почвообрабатывающие орудия интенсивно крошат почву, в основном выполняют обработку почвы на глубину до 15 см, имеют большую металлоемкость и низкую надежность технологического процесса [7].

При работе почвообрабатывающих орудий ПБК-5,4; ПБК-4,8 (Ч) и КОМБИ-6 образуются борозды недопустимые по агротехническим требованиям [7, 77].

Учитывая вышеизложенные недостатки известных орудий, для повышения качества почвозащитной основной обработки почвы и улучшения эксплуатационно-технологических показателей пахотных агрегатов, необходимо разработать рациональную технологию основной безотвальной обработки почвы. Рациональная технология с учетом технологических процессов, представленных в разделе 1, основана на следующих положениях:

- на поверхности поля должно оставаться не менее 30 % растительных остатков;
- растительные остатки должны хорошо быть перемешаны с раскрошенной почвой в слое 0...10 см, образуя мульчирующий слой;
- ниже слоя 0...10 см должно происходить крошение почвы на фракции, соответствующие агротехническим требованиям, предъявляемым к основной обработке почвы;
- уплотненный слой почвы («плужная подошва»), разделяющий пахотный и подпахотный слои, должен быть разрушен, при этом должно происходить почвоуглубление пахотного горизонта;

- для интенсивного проникновения влаги в раскрошенном пахотном слое должны находиться щели;
- должна быть высокая надежность выполнения технологического процесса основной обработки почва.

### 2.3. Рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы

Под почвозащитными способами обработки чаще всего понимаются такие, при которых в районах подверженных водной и ветровой эрозии, после посева на поверхности поля остается не менее 30% растительных остатков [4, 6]. В тоже время, при достаточном содержании влаги и питательных веществ в почве, переуплотненная почва и «плужная подошва» приводит к резкому сокращению урожая. Если плотность почвы в пахотном и подпахотном горизонтах выше оптимальной, то необходимо производить рыхление пахотного и разуплотнение подпахотного горизонтов [4, 6].

Учитывая результаты исследований ПБК-5,4; ПБК-4,8 (Ч) и КОМБИ-6 с комбинированными рабочими органами [74-77, 82], схемы технологических процессов (рисунок 1.16; 1.18; 1.21; 1.22) для улучшения эксплуатационно-технологических показателей пахотных агрегатов была разработана рациональная технология основной безотвальной обработки почвы.

На рисунке (2.8) представлена схема профиля необработанного поля, на поверхности которого находится стерня и измельченная солома.

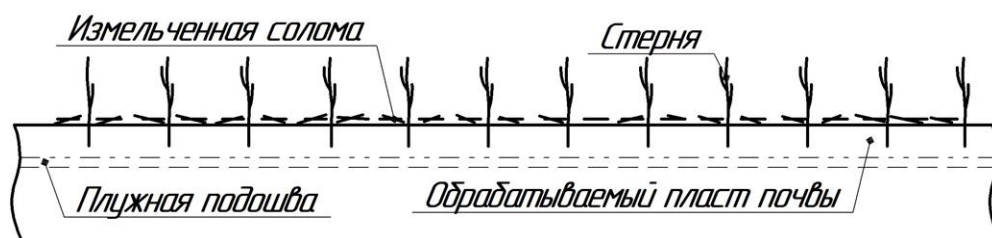


Рисунок 2.8 – Схема профиля необработанного слоя почвы.

Схема выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки будет иметь следующий вид (рисунок 2.9).

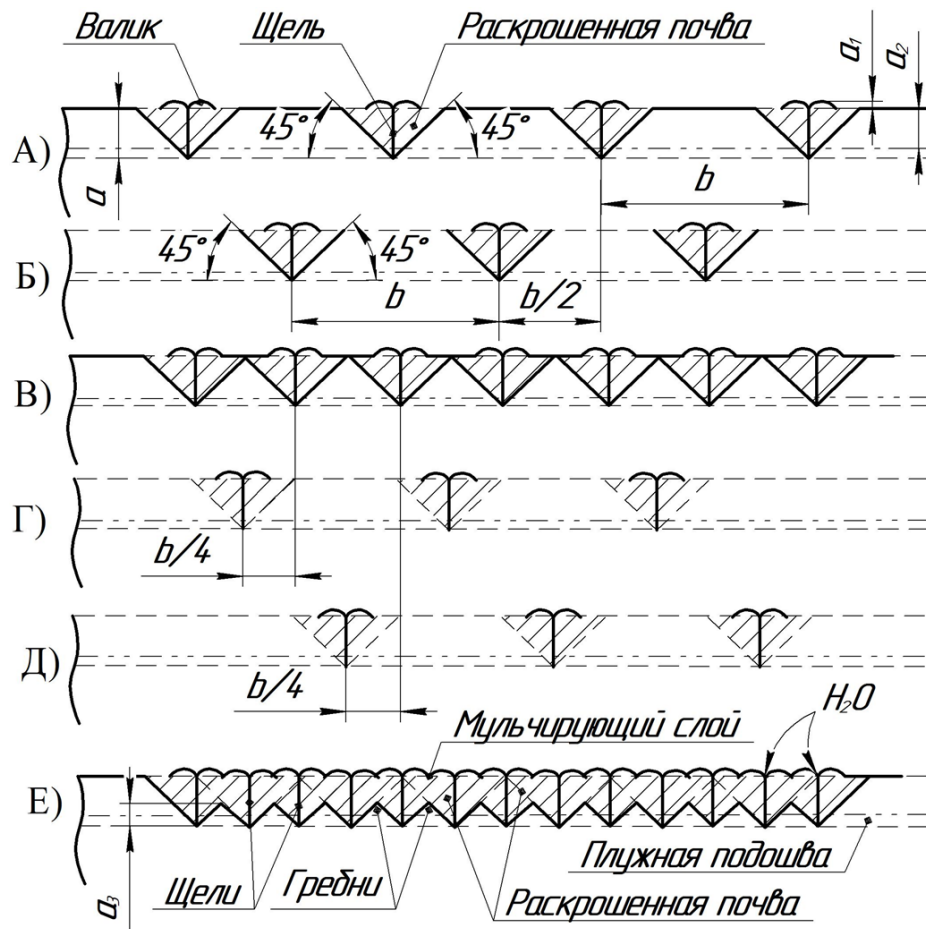


Рисунок 2.9 – Схема выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы.

Технологический процесс основной безотвальной обработки почвы (см. рисунок 2.9) включает несколько операций. При выполнении операции А (см. рисунок 2.9, А) в обрабатываемом пахотном слое на глубине  $a$  ниже «плужной подошвы», находящейся на глубине  $a_2$  с интервалом  $b$  производится крошение почвы под углом  $\psi = 45^\circ$  к дну обрабатываемого пахотного слоя. При этом, одновременно с нарезанием щелей производится перемещение раскрошенной и смешенной со стерней и измельченной соломой почвы, на дневную поверхность обработанного поля. На поверхности поля образуется мульчирующий слой, состоящий из валиков высотой  $a_1$ . При выполнении

операции Б (см. рисунок 2.9, Б) повторяется первая операция с интервалом  $b$ , но смещенная на величину  $b/2$ , относительно щелей первой операции. В результате после выполнения этих двух операций профиль обработанного поля будет иметь следующий вид (см. рисунок 2.9, В).

Анализ профиля обрабатываемого поля (см. рисунок 2.9, В) показывает, что часть почвы в нем раскрошена не полностью, а на поверхности поля отсутствует сплошной мульчирующий слой, состоящий из валиков.

Для устранения этих недостатков в обрабатываемом слое почвы производится операция Г и операция Д (см. рисунок 2.9, Г, Д), аналогично первой и второй, но смещенных влево или вправо на величину  $b/4$  относительно щелей первой и второй операции.

В результате выполнения четырех операций профиль обработанного слоя почвы будет иметь следующий вид (см. рисунок 2.9, Е).

Анализ профиля показывает, что на дневной поверхности обработанного поля будет образовываться мульчирующий слой из валиков высотой  $a_1$  состоящий из раскрошенной почвы, стерни и измельченной соломы. Ниже мульчирующего слоя, на глубине  $a$ , почва будет раскрошена на требуемые фракции, а в обработанном слое будут присутствовать щели, по которым вода (влага) будет поступать в обработанный слой почвы. Вследствие разницы глубины обработки  $a > a_2$  «плужная подошва» будет разрушена, а на дне обработанного слоя почвы будут присутствовать гребни высотой  $a_3$  (см. рисунок 2.9, Е). Предлагаемая рациональная технология основной безотвальной обработки почвы будет являться базой для разработки принципиальной и конструктивно-технологической схемы фронтального плуга-рыхлителя.

Как известно [4, 5, 6, 34, 63, 65, 68], применение почвообрабатывающих орудий чизельного типа позволяет снизить чрезмерное уплотнение и повысить инфильтрующие и противозерозионные свойства почвы. Профиль



зоны рыхления почвы рабочими органами чизельного типа показан на следующей схеме (рисунок 2.10).

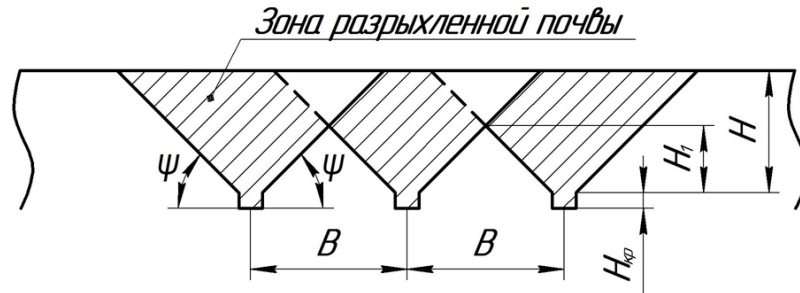


Рисунок 2.10 – Схема профиля зоны рыхления почвы рабочими органами чизельного типа:  $B$  – ширина междуследий, м;  $H$  – глубина обработки, м;  $H_{кр}$  – критическая глубина, м;  $H_г$  – высота гребней, м;  $\psi$  – угол скалывания пласта почвы в продольном и боковых сечениях, град. (принимается  $\psi = 45^\circ$ ).

Исследованиями ряда авторов установлено [4, 65, 66, 70, 88, 89], что величина угла  $\psi$  в среднем составляет  $45^\circ$ .

На основании схем (см. рисунки 2.8 и 2.10) высота гребней  $a_3$  (рисунок 2.11) составит:

$$a_3 = b/8 \cdot \operatorname{tg} \psi, \text{ м} \quad (2.5)$$

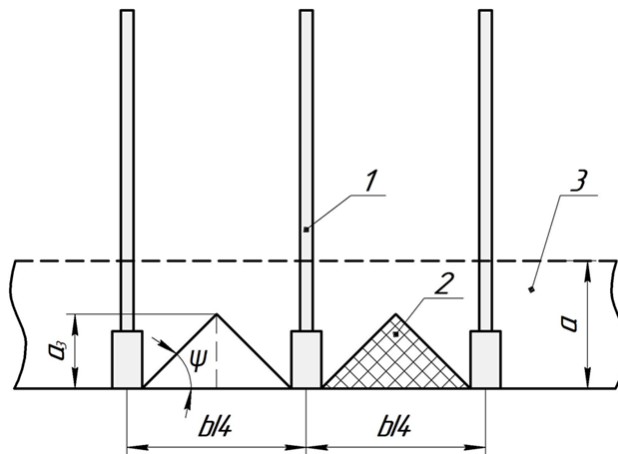


Рисунок 2.11 - Схемы для определения высота гребней между чизельными рабочими органами: 1 – чизельный рабочий орган; 2 – гребень; 3 – почва

Используя выражение (2.5), на рисунке (2.12) представлена зависимость высоты гребней от расстояния между рабочими органами при  $\psi = 45^\circ$  и  $a = 30$  см по ходу движения плуга-рыхлителя.

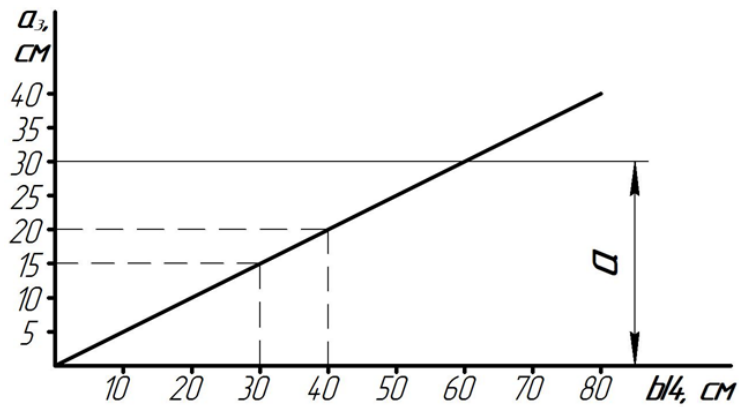


Рисунок 2.12 – Зависимость высоты гребней  $a_3$  от расстояния между чизельными рабочими органами  $l$  по ходу движения плуга-рыхлителя при  $\psi = 45^\circ$  и  $a = 30$  см

На основании схем, представленных на рисунках (2.10; 2.11; 2.12), зависимостей (см. рисунок 2.13) и агротехнических требований (см. таблицу 1.1) высота гребней  $a_3$  не должна превышать 20 см. Принимаем, что при глубине обработки  $a = 30$  см, высота гребней  $a_3$  составляет 17,5 см. Тогда величина расстояния между смежными рабочими органами  $b/4$  (см. рисунок 2.9; 2.11) на основании выражения (2.5) при  $\psi = 45^\circ$  составит 0,35 м, при этом значительно повысится степень крошения почвы [65, 89, 96].

Как уже было установлено в первом разделе, чизельные плуги и плуги-рыхлители по сравнению с лемешными почвообрабатывающими орудиями (плоскорезами-глубокорыхлителями, лемешно-отвальными плугами) при взаимодействии с обрабатываемым слоем почвы значительно меньше производят уплотнение дна обрабатываемого слоя почвы, т.е. у этих орудий небольшая величина «плужной подошвы».

Оценку технологической эффективности чизельного плуга или плуга-рыхлителя можно дать на основании следующего коэффициента  $k_T$ :

$$k_T = l_{\Pi} / l_{\text{ч}} \cdot n, \quad (2.6)$$

где  $l_{\Pi}$  – ширина захвата лемешного почвообрабатывающего орудия, м;  $l_{\text{ч}}$  – ширина долота чизельного рабочего органа, м;  $n$  – число чизельных рабочих органов, шт.

При этом ширина захвата лемешного и чизельного почвообрабатывающего орудия должна быть одинаковой.

Очевидно, что чем меньше этот показатель ( $k_T$ ), тем выше технологическая эффективность плуга-рыхлителя, применяемого для основной безотвальной обработки почвы.

#### **2.4. Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа**

Исследованиями, проведенными д-рами техн. наук А.Н. Зелениным, Ю.А. Ветровым, А.Т. Вагиным, А.П. Грибоновским и др. [65, 88-92], установлено, что возможны три случая резания или взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым слоем почвы.

По исследованиям А.Н. Зеленина и др. авторов установлено [88-92], что при отсутствии открытой боковой стенки – блокированное резание, при одной открытой стенке – полублокированное резание и при наличии двух открытых стенках – свободное резание (рисунок 2.13).

Анализируя схему выполнения рационального технологического процесса (см. рисунок 2.9), можно заключить, что если выполнять технологические операции в последовательности приведенной на схеме (см. рисунок 2.9), т.е. в 4 ряда, то возможны случаи блокированного (см. рисунок 2.9; А и Б) и открытого резания (см. рисунок 2.9; Г и Д). Очевидно, что при выполнении технологического процесса (см. рисунок 2.9; А и Б) чизельными рабочими органами, чизельный рабочий орган будет взаимодействовать с обрабатываемым слоем почвы по схеме, представленной на рисунке (2.13; а).

Чизельные рабочие органы, находящиеся в 3 и 4 ряду (см. рисунок 2.9; Г и Д), будут выполнять открытое резание по схеме (рисунок 2.13; в).

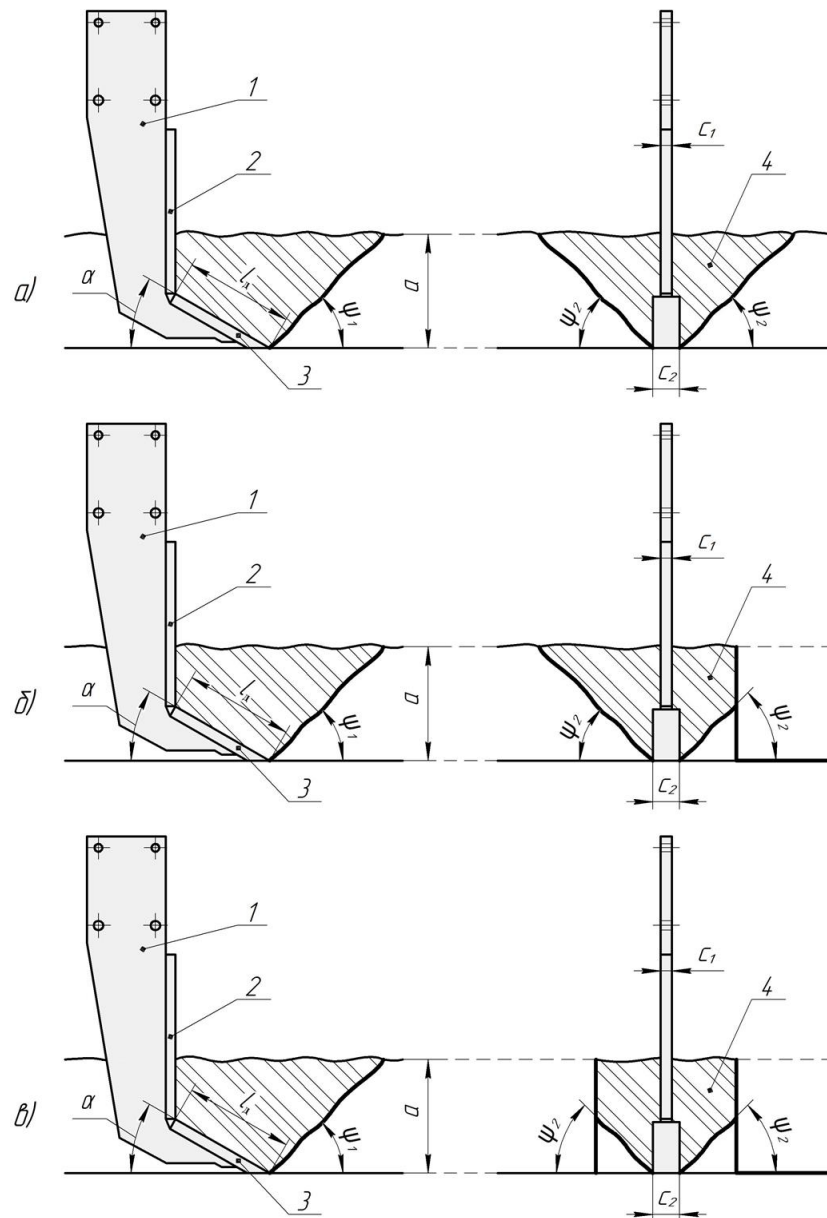


Рисунок 2.13 – Схемы взаимодействия чизельного рабочего органа с обрабатываемым слоем почвы: *а)* – заблокированное резание; *б)* – полублокированное резание; *в)* – свободное резание; 1 – стойка; 2 – обтекатель; 3 – долото; 4 – разрыхленный слой почвы;  $a$  – глубина обработки, м;  $\alpha$  – угол постановки долота ко дну обрабатываемого слоя почвы, град.;  $c_1$  – толщина стойки, м;  $c_2$  – ширина долота, м;  $l_d$  – длина долота, м;  $\psi_1$  и  $\psi_2$  – углы под которыми происходит разрушение обрабатываемого слоя почвы, град.

Вывод аналитического выражения для определения тягового сопротивления чизельного рабочего органа, выполняющего заблокированное резание, разработанного доктором технических наук Бойковым В.М. и кандидатом технических наук Нестеровым Е.С. [75, 93, 95] представлен в приложении (1). Из материалов [75, 93] и приложения (1) приводим конечную формулу (2.7) для определения тягового сопротивления чизельного рабочего

органа, выполняющего блокированное резание:

$$R_{\text{ч}}^{\text{б}} = S_{\text{с}} \sigma_{\text{с}} k_1 + V_{\text{с}} \rho g k_2 + V_{\text{с}} v^2 \rho k_3 / l_{\text{д}}, \text{ кН} \quad (2.7)$$

где  $S_{\text{с}}$  – площадь поверхности сдвига объёма почвы  $V_{\text{с}}$  чизельным рабочим органом,  $\text{м}^2$ ;  $\sigma_{\text{с}}$  – напряжение сдвига почвы,  $\text{кПа}$ ;  $V_{\text{с}}$  – объём сдвигаемой почвы,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  – плотность почвы;  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $v$  – скорость движения рабочего органа,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $l_{\text{д}}$  – длина долота рабочего органа,  $\text{м}$ ;  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$  – сокращенная запись выражений в которых входят углы  $\alpha_{\text{д}}$ ,  $\psi_1$  и  $\psi_2$ .

Анализ выражения (2.7) показывает, что величина тягового сопротивления чизельного рабочего органа, выполняющего блокированное резание, определяется 3 членами. При этом первый член по величине значительно больше, чем второй и третий [75, 93, 95], т.е. величина первого члена в основном определяет тяговое сопротивление рабочего органа.

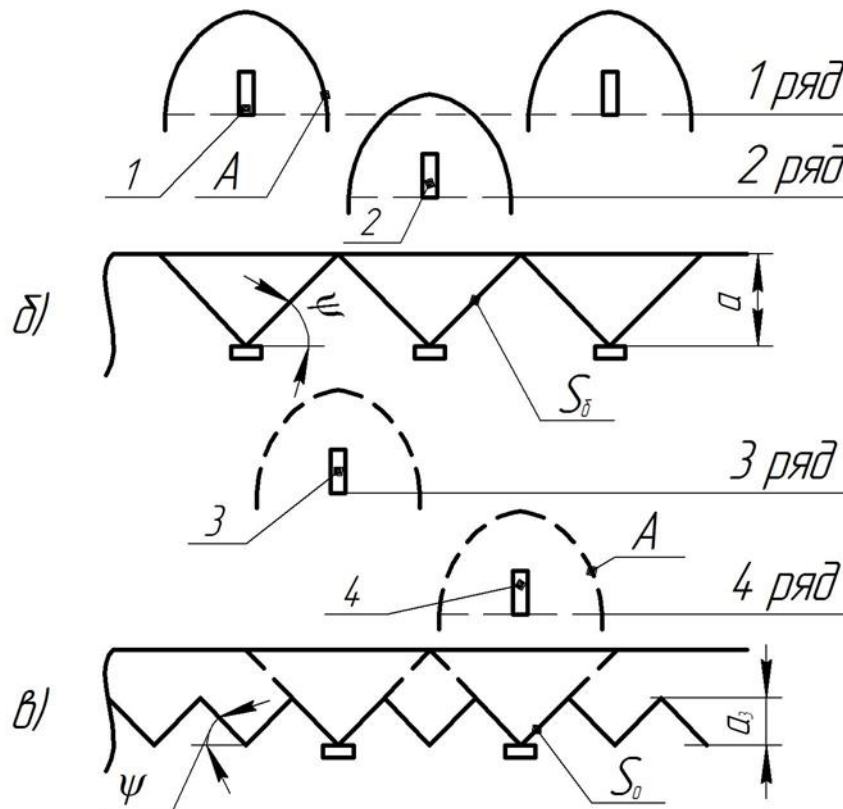


Рисунок 2.14 – Схема выполнения рационального технологического процесса чизельными рабочими органами: А – зона деформации почвы рабочим органом;  $S_{\text{б}}$  – поверхность сдвига почвы при блокированном резании,  $\text{м}^2$ ;  $S_{\text{б}}$  – поверхность сдвига почвы при свободном резании,  $\text{м}^2$ ; 1 и 2 – рабочие органы, выполняющие блокированное резание; 3 и 4 – рабочие органы, выполняющие свободное резание

На основании схемы рационального технологического процесса (см. рисунок 2.9) на рисунке (2.14) представлена схема процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого чизельными рабочими органами.

При одновременном движении рабочих органов 1 и 2, находящихся в 1 и 2 ряду, и рабочих органов 3 и 4, находящихся в 3 и 4 ряду, в зоне А будет происходить деформация, сдвиг, крошение и перемещение почвы. Рабочие органы, находящиеся в 1 и 2 ряду, будут выполнять блокированное резание, а в 3 и 4 – свободное. Анализ рисунка (2.14) показывает, что величина поверхности сдвига  $S_0$  при свободном резании будет меньше, чем величина  $S_6$  при блокированном резании. Вследствие этого, тяговое сопротивление чизельного рабочего органа, выполняющего свободное резание, будет меньше, чем при блокированном.

Усилия при блокированном и свободном резании, затрачиваемые на подъем (второй член выражения 2.7) и перемещение почвы (третий член выражения 2.7), как уже отмечалось, будут иметь небольшую величину по сравнению с усилиями, затрачиваемыми на деформацию и сдвиг почвы (первый член выражения 2.7). При этом как при блокированном резании, так и свободном процессы обработки почвы будут аналогичны.

Следовательно, можно принять, что величина тягового сопротивления чизельного рабочего органа, выполняющего свободное резание, будет меньше, чем у рабочего органа, выполняющего блокированное резание, на величину, которая определяется разницей по следующему выражению (2.8):

$$\Delta R_q = S_6 \sigma_c k_1 - S_0 \sigma_c k_1 k_4, \text{ кН} \quad (2.8)$$

где  $k_4$  – коэффициент, определяющий отношение величины тягового сопротивления чизельного рабочего органа, выполняющего свободное резание, к величине тягового сопротивления чизельного рабочего органа, выполняющего блокированное резание.

В этом случае тяговое сопротивление чизельного рабочего органа, выполняющего свободное резание, будет определяться по следующей формуле (2.9):

$$R_q^c = S_c \sigma_c k_1 k_4 + V_c \rho g k_2 + V_c v^2 \rho k_3 / l_d, \text{ кН} \quad (2.9)$$

Для определения величины и закономерности изменения коэффициента  $k_4$  воспользуемся рисунком (2.15):

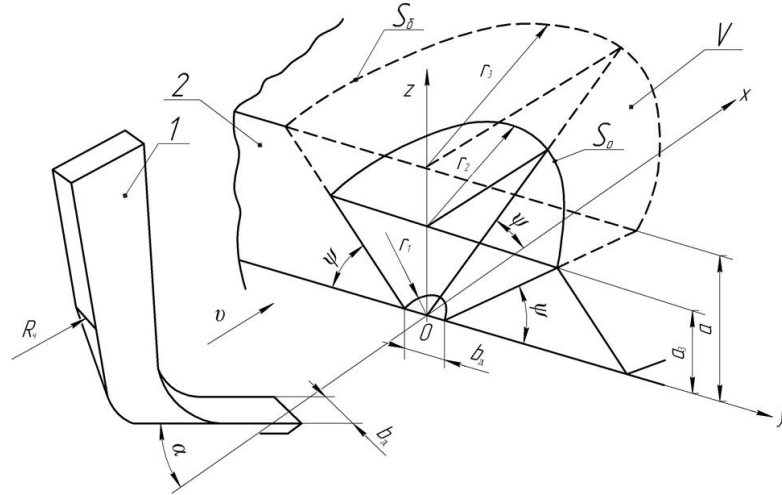


Рисунок 2.15 – Схема процесса образования тела скольжения при взаимодействии чизельного рабочего органа с обрабатываемым слоем почвы при блокированном и свободном резании: 1 – чизельный рабочий орган; 2 – обрабатываемый слой почвы;  $V$  – объем конического тела скольжения,  $\text{м}^3$ ;  $S_6$  – поверхность сдвига почвы при блокированном резании,  $\text{м}^2$ ;  $S_0$  – поверхность сдвига почвы при свободном резании,  $\text{м}^2$ ;  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  – радиусы усеченного конуса,  $\text{м}$ ;  $b_d$  – ширина долота чизельного рабочего органа,  $\text{м}$ ;  $\alpha$  – угол постановки долота ко дну обрабатываемого слоя почвы, град.

Принимаем, что при блокированном и свободном резании в результате движения чизельного рабочего органа (рисунок 2.15) происходит образование тела скольжения [88, 90], которое имеет форму усеченного конуса. При этом сдвиг объема почвы происходит по конической поверхности. При блокированном резании по поверхности  $S_6$  усеченного конуса с радиусами  $r_1$  и  $r_3$ , а при свободном резании по поверхности  $S_0$  усеченного конуса с радиусами  $r_1$  и  $r_2$ .

Площадь  $S_6$  конической поверхности при блокированном резании определяется по следующему выражению (2.10):

$$S_6 = \pi a \sin \psi (r_1 + r_3), \text{ м}^2 \quad (2.10)$$

Площадь  $S_0$  конической поверхности при свободном резании определяется по следующей формуле (2.11):

$$S_0 = \pi a_3 \sin \psi (r_1 + r_2), \text{ м}^2 \quad (2.11)$$

На основании выражений (2.7; 2.9):

$$k_4 = S_0 / S_6 \quad (2.12)$$

Подставив выражения (2.10; 2.11) в формулу (2.12), получим:

$$k_4 = a_3 (r_1 + r_2) / a (r_1 + r_3); \quad (2.13)$$

или при  $\psi = 45^\circ$ :

$$k_4 = a_3 (b_d + a_3) / a (b_d + a) \quad (2.14)$$

На рисунке (2.16) представлена зависимость коэффициента  $k_4$  от глубины обработки почвы  $a$  при ширине долота  $b_d = 0,07$  м;  $\psi = 45^\circ$  и  $a_3 = 0,175$  м.

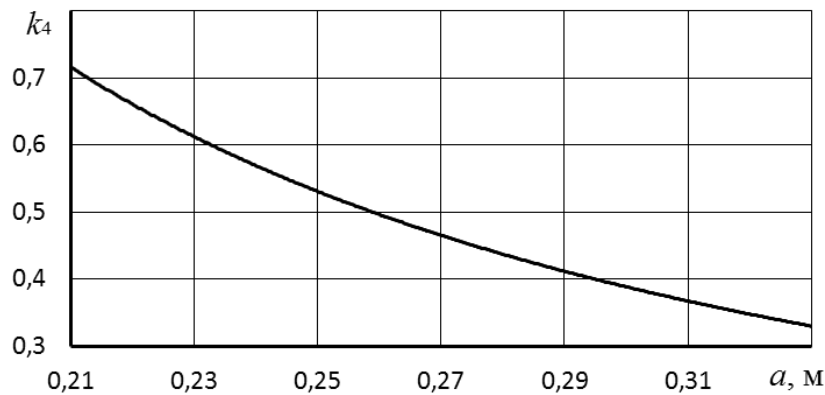


Рисунок 2.16 - Зависимость коэффициента  $k_4$  от глубины обработки почвы  $a$

Анализ зависимостей (рисунок 2.16) и выражений (2.10; 2.11) показывает, что при определенном расстоянии между рабочими органами и ширины долота чизельного рабочего органа в результате изменения глубины обработки почвы величина коэффициента  $k_4$  изменяется в широких пределах по не линейной зависимости, а также зависит от физико-механических свойств почвы. Этот результат подтверждается экспериментальными исследованиями [65, 88-92].

Для проведения теоретических исследований чизельного рабочего органа, выполняющего свободное резание, коэффициент  $k_4$  принимаем равным 0,4...0,5.

Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа  $R_q^n$ , выполняющего полублокированное резание (рисунок 2.13; б), определяется по следующему выражению (2.15):



$$R_{\text{ч}}^{\text{н}} = S_{\text{с}} \sigma_{\text{с}} k_1 k_5 + V_{\text{с}} \rho g k_2 + V_{\text{с}} v^2 \rho k_3 / l_{\text{н}}, \text{ кН} \quad (2.15)$$

где  $k_5 = 0,6 \dots 0,7$  – коэффициент, определяющий отношение величины тягового сопротивления чизельного рабочего органа, выполняющего полублокированное резание, к величине тягового сопротивления чизельного рабочего органа, выполняющего блокированное резание.

Используя формулы (2.7; 2.9; 2.15), учитывая исследования [92], и разработанную на персональном компьютере вычислительную программу в Microsoft Excel (табличный процессор для экономико-статистических расчетов с графическими инструментами) в приложении (2) представлен расчет тягового сопротивления  $R_{\text{ч}}$  чизельного рабочего органа для каждой схемы (см. рисунок 2.13; а, б, в) в зависимости от скорости движения  $v$  рабочего органа.

На основании полученных результатов на рисунке (2.17) представлены зависимости тягового сопротивления чизельного рабочего органа  $R_{\text{ч}}$  при блокированном, полублокированном и свободном резании обрабатываемого слоя почвы.

Анализ зависимостей (см. рисунок 2.17) показывает, что тяговое сопротивление рабочего органа при рассматриваемых схемах взаимодействия с

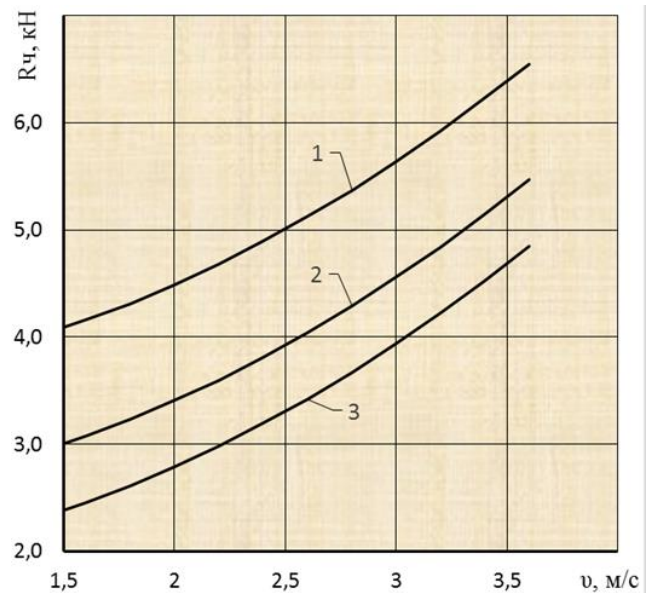


Рисунок 2.17 – Зависимость тягового сопротивления чизельного рабочего органа  $R_{\text{ч}}$  от скорости движения  $v$ : 1 – при блокированном резании; 2 – при полублокированном резании; 3 – при свободном резании.

обрабатываемых слоев почвы изменяется по нелинейной зависимости. Видно, что тяговое сопротивление при увеличении скорости движения возрастает. Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа при полублокированном резании на 24...26%, при свободном – на 38...40% меньше, чем при блокированном.

## 2.5 Принципиальные схемы плугов-рыхлителей для агрегатирования с тракторами тягового класса 5

Используя результаты исследований ПБК-4,8 (Ч) [75], КОМБИ-6,3 [76] и схему выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы (см. рисунок 2.9), на рисунках (2.18; 2.19) представлены два варианта принципиальных схем фронтальных плугов-рыхлителей.

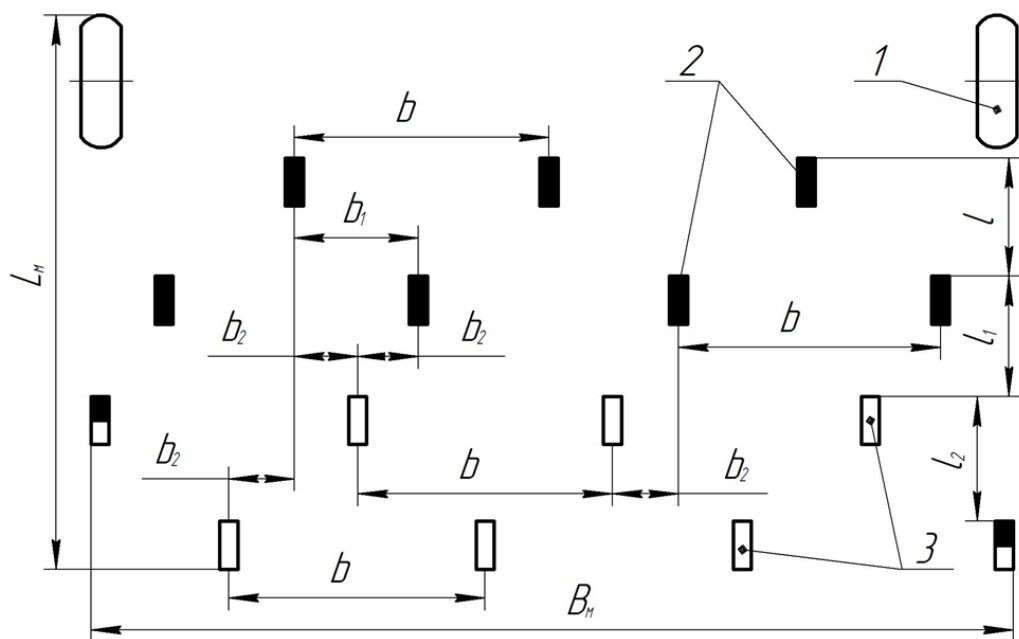


Рисунок 2.18 – Принципиальная схема фронтального плуга-рыхлителя (Вариант 1) с расстановкой рабочих органов (2 и 3) и опорных колес (1):  $B_M$  – ширина захвата машины, м (4,97 м)

Анализируя схемы (см. рисунки 2.18; 2.19), видно, что в первом варианте количество рыхлительных и чизельных рабочих органов составляет 15 шт., во втором – 18 шт. В двух вариантах орудие оснащено двумя опорными колесами. Для сокращения длины почвообрабатывающего орудия рабочие органы расположены в четыре ряда. При этом расстояние между рядами, согласно ранее проведенным исследованиям, принимаем  $l = 0,5$  м, а расстояние  $b = 1,4$  м относительно друг от друга в ряду обеспечит устранение забивания рабочих органов стерней и растительными остатками.

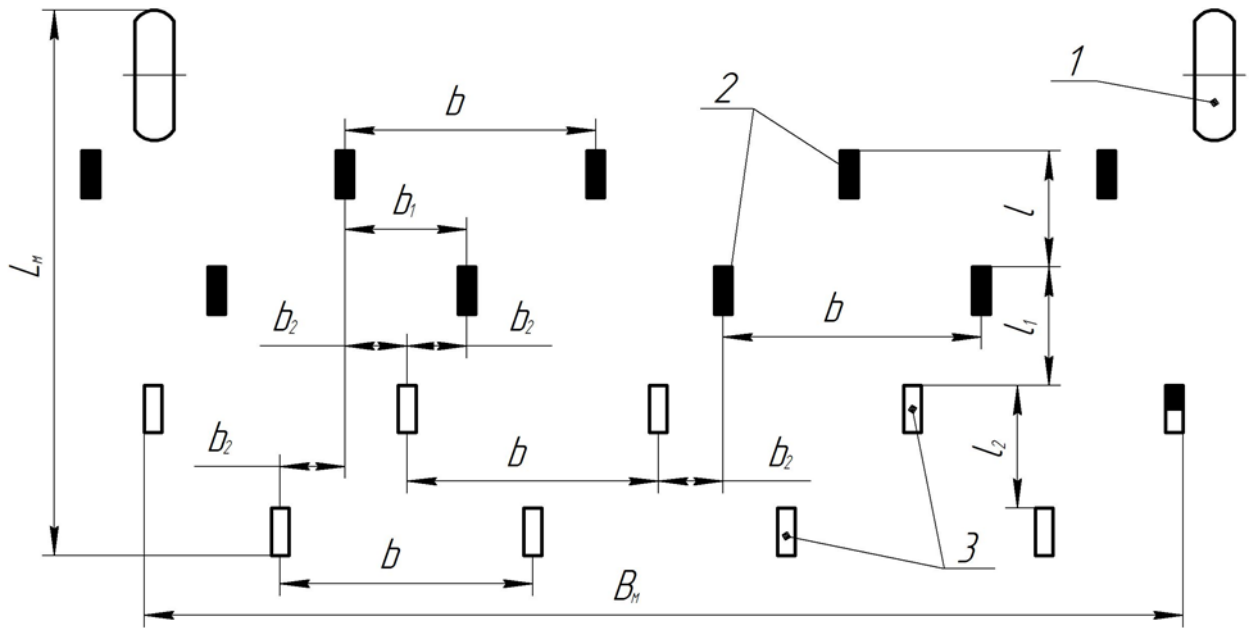


Рисунок 2.19 – Принципиальная схема фронтального плуга-рыхлителя (Вариант 2) с расстановкой рабочих органов (2 и 3) и опорных колес (1):  $B_m$  – ширина захвата машины, м (5,95 м);

- – заблокированное резание рабочим органом
- ▒ – полублокированное резание рабочим органом
- – свободное резание рабочим органом

Из схем (см. рисунки 2.18; 2.19), также видно, что согласно исследованиям [65, 88-92], рабочие органы в первом ряду и во втором, при взаимодействии с обрабатываемым слоем почвы будут выполнять заблокированное резание. В третьем ряду и четвертом, два крайних рабочих органа (слево и справа) в схеме варианта 1 (см. рисунки 2.18) будут выполнять полублокированное резание, при этом в схеме варианта 2 (см. рисунок 2.19) в третьем ряду один крайний рабочий орган будет выполнять полублокированное резание, остальные – свободное резание.

Тогда, тяговое сопротивление фронтального плуга-рыхлителя  $R_{п1}$  по первому варианту (см. рисунок 2.18) будет определяться по выражению (2.16):

$$R_{п1} = 7R_б + 2R_{п} + 6R_c, \text{ кН} \quad (2.16)$$

где  $R_б$ ,  $R_{п}$  и  $R_c$  – соответственно тяговое сопротивление рабочих органов выполняющих заблокированное, полублокированное и свободное резание, кН.

Тяговое сопротивление фронтального плуга-рыхлителя  $R_{п2}$  по второму варианту (см. рисунок 2.19) будет определяться по выражению (2.17):

$$R_{п2} = 9R_6 + 1R_{п} + 8R_c, \text{ кН} \quad (2.17)$$

Расчет тягового сопротивления фронтального плуга-рыхлителя выполненного по двум вариантам представлен в приложении (3) и на рисунке (2.20).

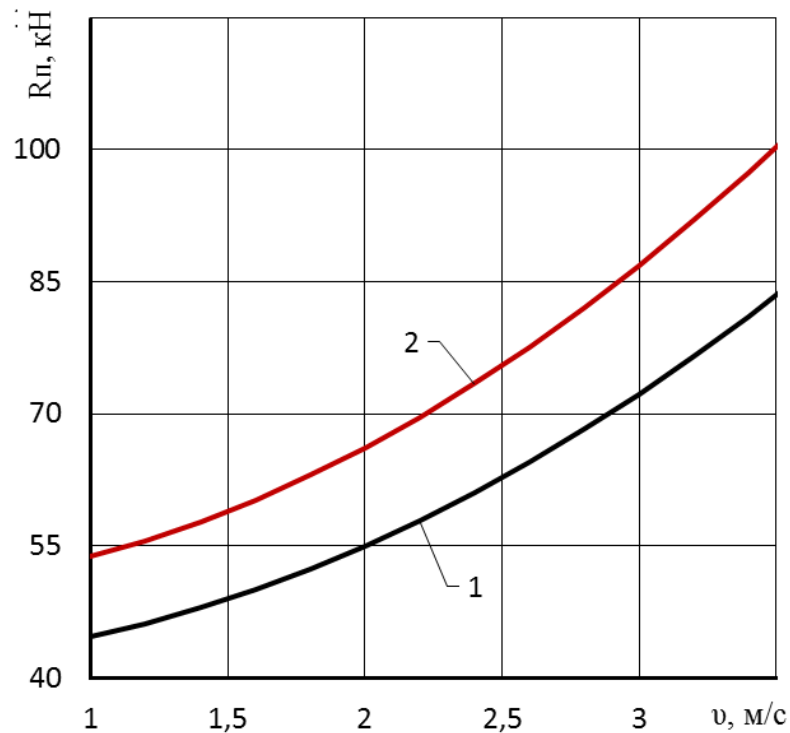


Рисунок 2.20 – Зависимость тягового сопротивления фронтального плуга-рыхлителя  $R_{п}$  от скорости движения  $v$ : 1 и 2 – принципиальные схемы плугов-рыхлителей по вариантам 1 и 2 соответственно.

Анализ зависимостей (см. рисунок 2.20) показывает, что тяговое сопротивление изменяется по не линейной закономерности. При этом тяговое сопротивление фронтального плуга-рыхлителя  $R_{п}$ , выполненного по варианту 2, в 1,2 раза больше, чем по варианту 1, но удельное тяговое сопротивление плугов-рыхлителей остается одинаковым.

## 2.6 Агрегатирование плугов-рыхлителей с тракторами тягового класса 5

Анализируя технические характеристики тракторов серий К-700 и К-744 тягового класса 5 (см. таблицу 1.2), которые, как показали исследования, в настоящее время широко применяются для основной обработки почвы, практически имеют одинаковую мощность двигателя. Поэтому, для обоснования конструктивно-технологической схемы фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с этими тракторами, можно принять, что крюковое усилие этих тракторов определяется эмпирической формулой (2.18) полученной в результате аппроксимирования, способом наименьших квадратов данных для построения тяговых характеристик на стерневых фонах трактора К-701 [43].

$$P_{кр} = 38,627 + 35,743 v_T - 11,523 v_T^2, \quad (2.18)$$

где  $P_{кр}$  – крюковое усилие трактора, кН;  $v_T$  – скорость движения трактора, м/с.

Расчет крюкового усилия трактора К-701 в зависимости от скорости движения представлен в приложении (4).

Согласно [86, 94, 95], при движении пахотного агрегата должно выполняться следующее условие (2.19):

$$P_{кр} = R_{п} \text{ и } v_T = v_{п}, \quad (2.19)$$

где  $v_{п}$  – скорость движения почвообрабатывающего орудия, м/с.

Расчет тягового сопротивления фронтального плуга-рыхлителя  $R_{п}$  выполненного по вариантам 1 и 2 (см. рисунок 2.18; 2.19), проведенный по соответствующим выражениям (2.16; 2.17), представлен в приложении (3).

Используя полученную зависимость тягового сопротивления фронтального плуга-рыхлителя от скорости движения и условие (2.19), на рисунке (2.21) представлены зависимости крюкового усилия трактора К-701 и тягового сопротивления плуга-рыхлителя от скорости движения агрегата.

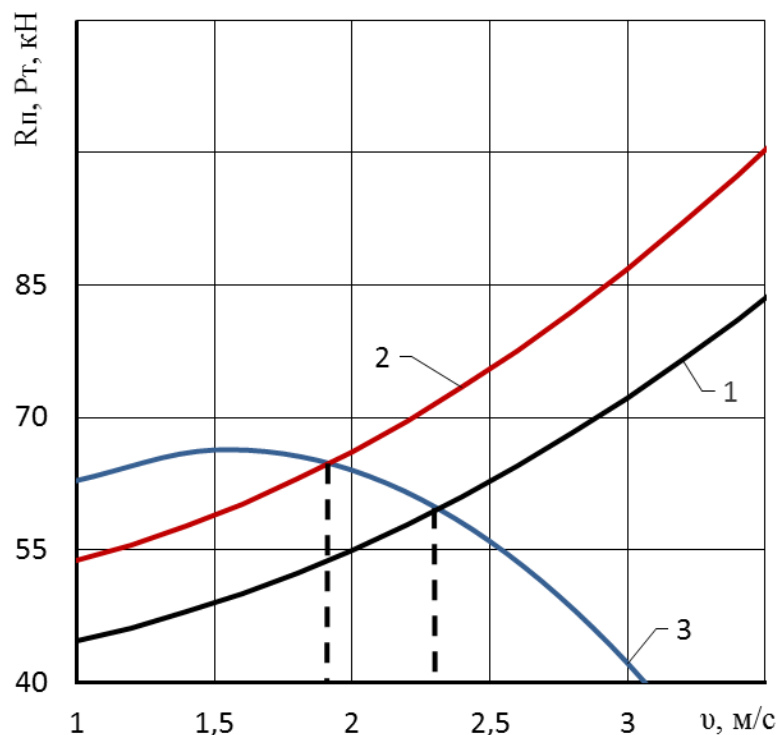


Рисунок 2.21 – Зависимость тягового сопротивления фронтального плуга-рыхлителя  $R_p$ , выполненного по схеме варианта 1 (1) и 2 (2), и крюкового усилия  $P_t$  трактора К-701 (3) от скорости движения  $v$

Анализируя рисунок (2.21), видно, что при работе трактора К-701 с плугом-рыхлителем, выполненного по варианту 1 (см. рисунок 2.18), пахотный агрегат будет устойчиво работать до скорости 2,3 м/с. При скорости движения больше 2,3 м/с трактор будет перегружен, т.е. пахотный агрегат прекратит работу.

При работе трактора К-701 с плугом-рыхлителем, выполненного по варианту 2 (см. рисунок 2.19), пахотный агрегат будет устойчиво работать только до скорости 1,75 м/с. Следовательно, для получения высоких эксплуатационно-технологических показателей работы пахотного агрегата, согласно АТТ, необходимо для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 применять плуг-рыхлитель, выполненный по варианту 1.

Оценка эффективности пахотных агрегатов, состоящих из трактора К-701 и плуга-рыхлителя (вариант 1 и вариант 2), по производительности, на основании формулы (2.20):

$$W=0,36 B_{\text{п}}v \quad (2.20)$$

где  $B_{\text{п}}$  – ширина захвата плуга-рыхлителя, м;  $v$  – скорость движения, м/с; показывает, что максимальная производительность агрегата с плугом-рыхлителем по варианту 1 составляет 4,09 га/ч, а по варианту 2 – 3,74 га/ч, т.е. по варианту 1 производительность пахотного агрегата на 8,3% выше, чем по варианту 2. При этом следует отметить, что, согласно [95, 96], качественные показатели агрегата по с плугом-рыхлителем по варианту 2 будут ниже, чем по варианту 1 вследствие снижения степени крошения почвы.

На основании вышеизложенного можно заключить, что для обеспечения высоких эксплуатационно-технологических показателей пахотного агрегата, состоящего из трактора тягового класса 5 и плуга-рыхлителя, необходимо использовать навесной фронтальный плуг-рыхлитель выполненный по варианту 1.

### **2.7. Конструктивно-технологическая схема навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5**

Для выполнения конструктивно-технологической схемы навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 используем принципиальную схему (см. рисунок 2.18) и конструктивно-технологические схемы почвообрабатывающих орудий ПБК-4,8 (Ч) и КОМБИ-6.

Общий вид и основные параметры навесного фронтального плуга-рыхлителя представлен на рисунке (2.22).

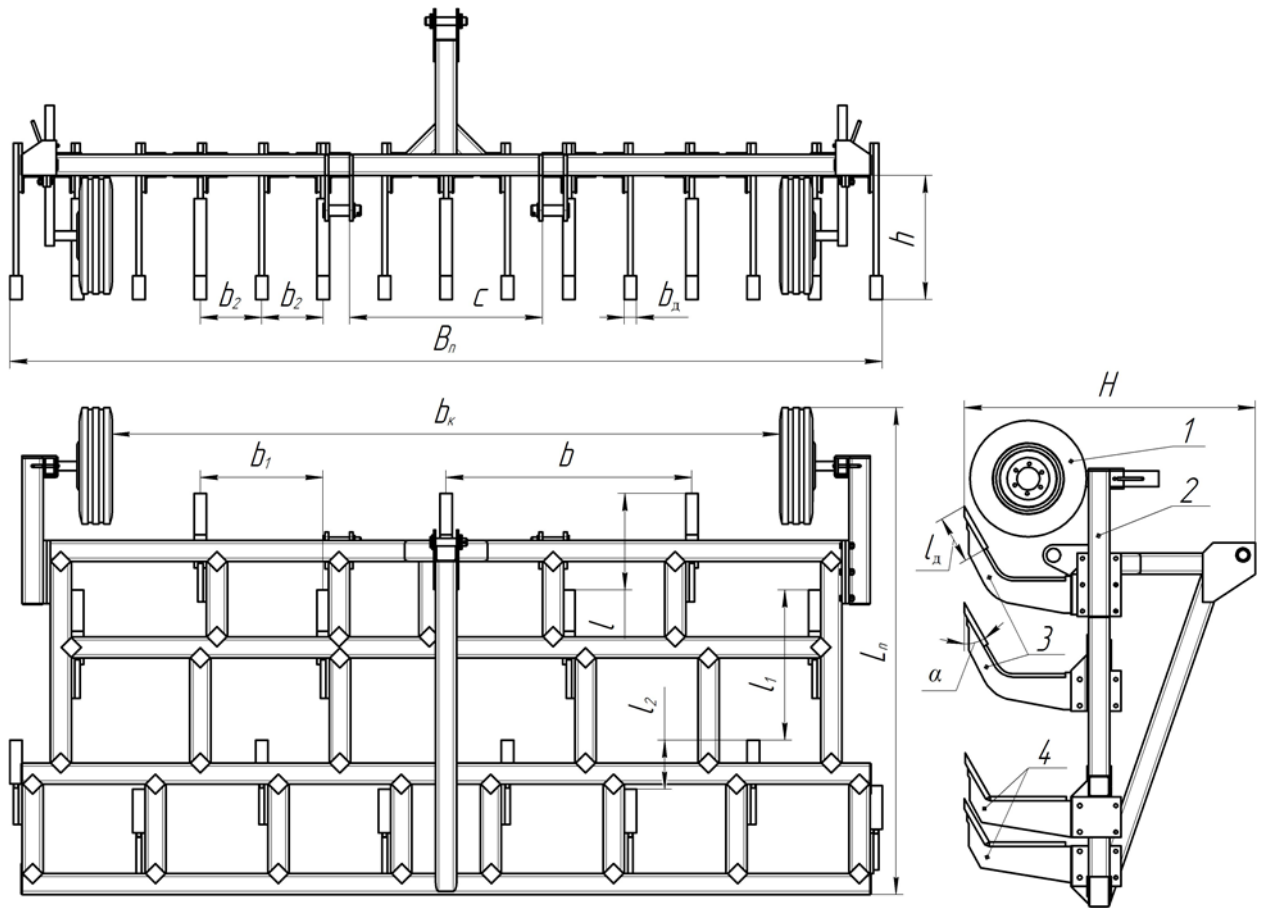


Рисунок 2.22 - Конструктивно-технологическая схема навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 серий К-700 и К-744 российского производства: 1 – опорное колесо с механизмом регулировки глубины обработки; 2 – рама с навесным устройством; 3 – чизельные рабочие органы с грудкой; 4 – чизельные рабочие органы;  $B_n$  – ширина захвата плуга (4,970 м);  $H$  – высота плуга (1,658 м);  $L_n$  – длина плуга (2,777 м);  $b_d$  – ширина долота чизельного рабочего органа (0,07 м);  $b_k$  – расстояние между опорными колесами (3,805 м);  $b$  – расстояние между рабочими органами в первом ряду (1,40 м);  $b_1$  – расстояние между смежными рабочими органами в ряду (0,7 м);  $b_2$  – расстояние между рабочими органами (0,35 м);  $l$  – расстояние между рабочими органами первого и второго ряда (0,55 м);  $l_d$  – длина долота чизельного рабочего органа (0,31 м);  $l_1$  – расстояние между рабочими органами второго и третьего ряда (0,857 м);  $l_2$  – расстояние между рабочими органами третьего и четвертого ряда (0,280 м);  $\alpha$  – угол постановки долота ко дну борозды, град.

## 2.8 Эксплуатационно-технологические показатели навесного фронтального-плуга рыхлителя

Согласно [86, 95, 96], основными эксплуатационными показателями плуга-рыхлителя являются – тяговое сопротивление, производительность, мощность и энергоёмкость затрачиваемая на обработку почвы. А также можно



принять, что величина «плужной подошвы» является одним из важных технологических показателей обработки почвы (см. выражение 2.6).

На основании рисунков (2.18; 2.22) ширина захвата навесного фронтального плуга-рыхлителя  $B_{\text{п}}$  определяется по следующему выражению (2.21):

$$B_{\text{п}} = 0,25 b (n - 1), \text{ м} \quad (2.21)$$

где  $b$  - расстояние между рабочими органами в первом ряду плуга-рыхлителя, м;  $n$  - число рабочих органов, шт.

Используя формулы (2.20; 2.21), часовая производительность фронтального плуга-рыхлителя  $W_{\text{п}}$  определяется по следующему выражению (2.22):

$$W_{\text{п}} = 0,09 b (n - 1) v_{\text{п}}, \text{ га/ч} \quad (2.22)$$

Для определения тягового сопротивления  $R_{\text{п}}$  навесного фронтального плуга-рыхлителя (см. рисунок 2.18) используем выражение (2.16):

$$R_{\text{п}} = 7R_{\text{б}} + 2R_{\text{п}} + 6R_{\text{с}}, \text{ кН}$$

Мощность  $N_{\text{п}}$  затрачиваемая на выполнение технологического процесса основной безотвальной обработки почвы навесным фронтальным плугом-рыхлителем определяется по следующему выражению (2.23) [86, 95, 96]:

$$N_{\text{п}} = R_{\text{п1}} \cdot v_{\text{п}}, \quad (2.23)$$

или

$$N_{\text{п}} = (7R_{\text{б}} + 2R_{\text{п}} + 6R_{\text{с}}) \cdot v_{\text{п}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (2.24)$$

Энергоемкость  $\mathcal{E}_{\text{п}}$  выполнения технологического процесса основной безотвальной обработки почвы навесным фронтальным плугом-рыхлителем рассчитывается по следующей формуле (2.25) [86, 95, 96]:

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = N_{\text{п}} / W_{\text{п}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/га} \quad (2.25)$$

Используя результаты теоретических исследований, был произведен расчет основных эксплуатационных показателей навесного фронтального плуга-рыхлителя (приложение 5).

На рисунках (2.23; 2.24) представлены зависимости тягового сопротивления  $R_{\text{п}}$ , производительности  $W_{\text{п}}$ , затрачиваемой мощности  $N_{\text{п}}$  и

требуемой энергоёмкости  $\mathcal{E}_п$  навесного фронтального плуга-рыхлителя от скорости движения пахотного агрегата при основной безотвальной обработке почвы.

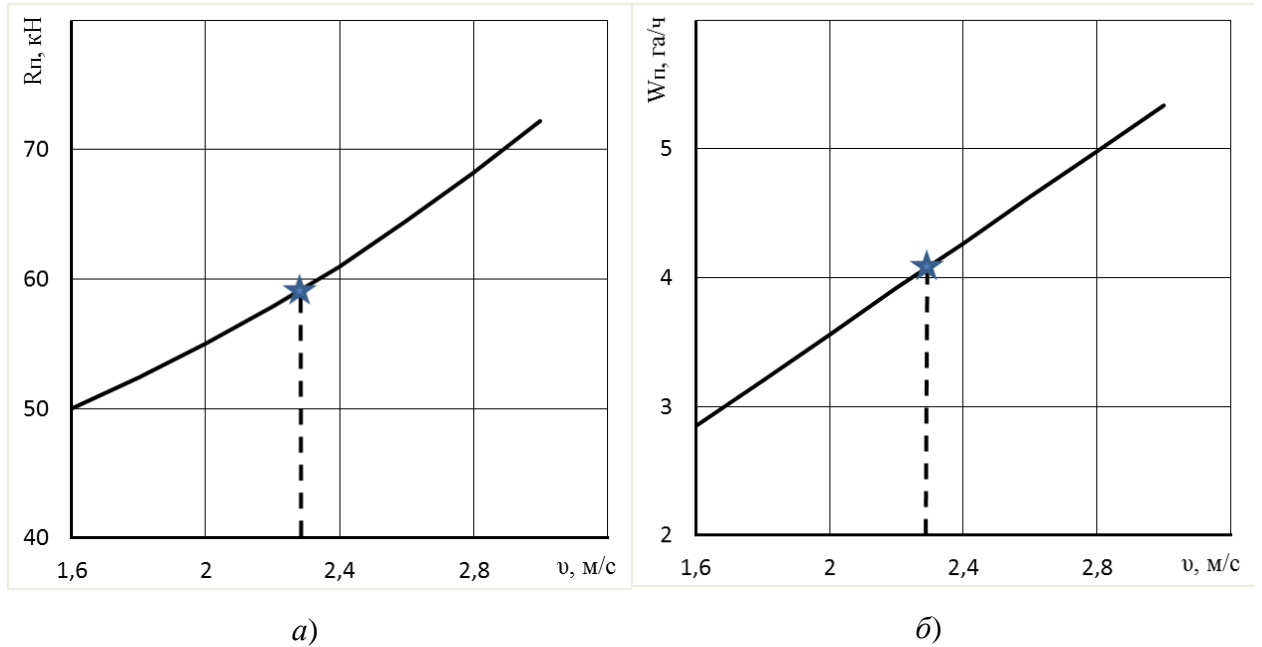


Рисунок 2.23 – Зависимость тягового сопротивления (а) и производительности (б) навесного фронтального плуга-рыхлителя от скорости движения пахотного агрегата при основной безотвальной обработке почвы (глубина обработки почвы 30 см).

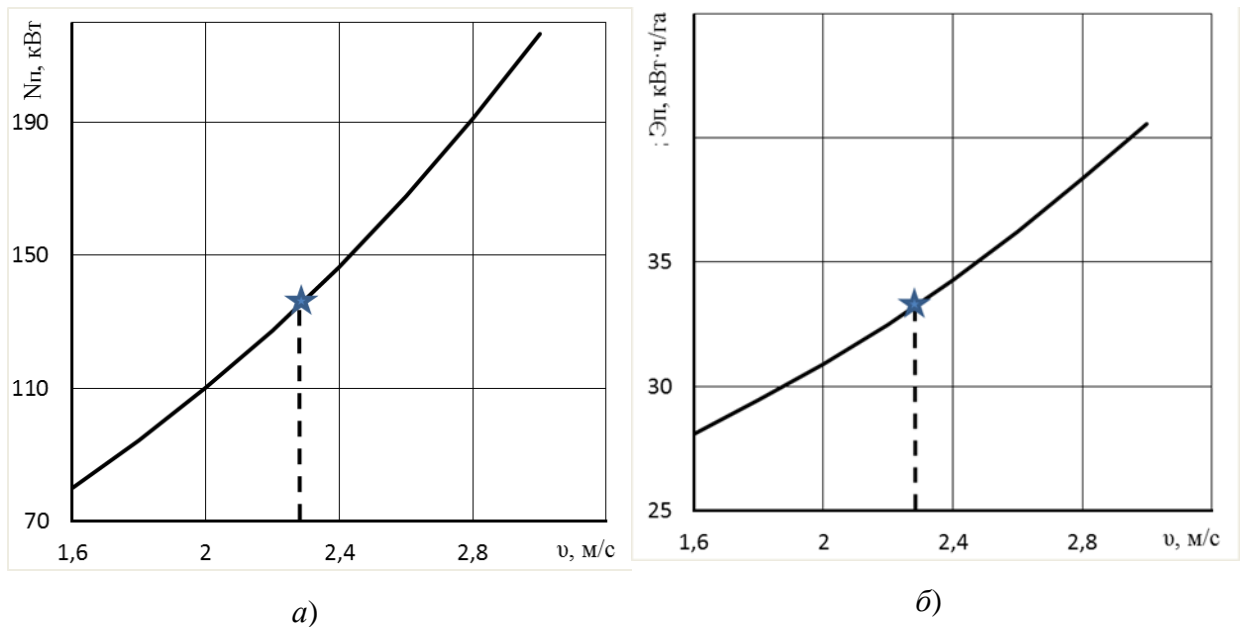


Рисунок 2.24 – Зависимость затрачиваемой мощности (а) навесного фронтального плуга-рыхлителя на основную безотвальную обработку почвы и энергоёмкости (б) навесного фронтального плуга-рыхлителя от скорости движения пахотного агрегата (глубина обработки почвы 30 см).

Анализ представленных зависимостей (см. рисунки 2.23; 2.24) показывает, что мощность и энергоёмкость технологического процесса основной безотвальной обработки почвы при работе навесного фронтального плуга-рыхлителя изменяется по нелинейной зависимости. При работе пахотного агрегата, состоящего из трактора К-701 и предлагаемого плуга-рыхлителя, работающего на скорости движения от 1,6 до 2,3 м/с затрачиваемая мощность находится в пределах от 80 до 130 кВт, а энергоёмкость на этих скоростях от 28 до 33 кВтч/га.

Оценивая энергоёмкость выполнения технологического процесса, можно заключить, что навесной фронтальный плуг-рыхлитель имеет высокие эксплуатационные показатели.

Оценку технологической эффективности разработанного навесного фронтального плуга-рыхлителя можно выполнить на основании выражения (2.6). Если принять ширину захвата плоскореза-глубокорыхлителя или лемешно-отвального плуга, комплектованного стойками СибИМЭ, равной ширине захвата разработанного навесного фронтального плуга-рыхлителя, то у плоскореза и плуга ширина захвата составит  $l_{\text{п}} = 0,5$  м. При этом у разработанного плуга-рыхлителя при ширине долота  $l_{\text{д}} = 0,07$  м и количестве рабочих органов 15 шт. длина «плужной подошвы» составит 1,05 м. Тогда по выражению (2.6)  $k_{\text{т}} = 0,21$ . Этот коэффициент показывает, что навесной фронтальный плуг-рыхлитель, можно принять, является высокоэффективным почвообрабатывающим орудием.

## **Выводы**

1. В результате анализа широко применяемых в России тракторов мощностью 200-400 кВт было установлено, что большинство этих тракторов относятся к тяговому классу 5.

2. Плоскорезы-глубокорыхлители, чизельные плуги, плуги-рыхлители, лемешно-отвальные плуги, комплектованные стойками СибИМЭ, имеют различные кинематические характеристики, влияющие на производительность

пахотного агрегата. Для получения максимальной производительности пахотного агрегата кинематическая длина навесного плуга-рыхлителя должна находиться в пределах от 2,0 до 2,5 м.

3. Используя результаты исследований известных почвообрабатывающих орудий, применяемых для основной безотвальной обработки почвы, разработан рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы, который является основой для разработки принципиальной и конструктивно-технологической схемы навесного фронтального плуга-рыхлителя.

4. Установлено, что для реализации разработанного технологического процесса необходимо использовать чизельные рабочие органы. Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа зависит от схемы взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым слоем почвы, при этом рабочий орган может производить блокированное (тяговое сопротивление 100 %), полублокированное (тяговое сопротивление 60-70 %) и свободное (тяговое сопротивление 40-50 %) резание. Получены теоретические выражения (2.7; 2.9; 2.15) для определения тягового сопротивления чизельного рабочего органа с учетом схем взаимодействия его с обрабатываемым слоем почвы.

5. Представлены два варианта принципиальных схем навесных фронтальных плугов-рыхлителей с шириной захвата 4,97 и 5,95 м для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 и получены аналитические выражения (2.16; 2.17) для определения тягового сопротивления этих орудий. Установлено, что для тракторов К-701 и К-744Р1 нужен навесной фронтальный плуг-рыхлитель выполненный по варианту 1 (см. рисунок 2.18) с шириной захвата 4,97.

6. На базе принципиальной схемы (вариант 1; см. рисунок 2.18) обоснована конструктивно-технологическая схема навесного фронтального плуга-рыхлителя с шириной захвата 5,0 м (см. рисунок 2.22) для агрегатирования с тракторами тягового класса 5, и получены эксплуатационно-технологические показатели работы плуга-рыхлителя при агрегатировании с этими тракторами.

### **3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **3.1. Программа проведения экспериментальных исследований**

Для проверки и подтверждения теоретических исследований была разработана следующая программа и методика экспериментальных исследований:

- определение в лабораторно-полевых условиях качественных показателей рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем;

- определение в лабораторно-полевых условиях энергетических показателей пахотного агрегата, состоящего из экспериментального фронтального плуга-рыхлителя и трактора К-701;

- определение в хозяйственных условиях эксплуатационно-технологических показателей работы экспериментального пахотного агрегата, выполняющего рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы, и оценка экономической эффективности его применения.

#### **3.2. Объект исследования**

Объектом исследования является рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы, выполняемый разработанным фронтальным плугом-рыхлителем.

#### **3.3. Оборудование и технические средства, используемые в процессе проведения экспериментальных исследований**

Для определения качественных и энергетических показателей рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы применялся экспериментальный навесной фронтальный плуг-рыхлитель

с условной маркой КОМБИ-5 (рисунок 3.1), а далее – ПБФР-5, который агрегатировался с трактором К-701 тягового класса 5 (рисунок 3.2) [97].



Рисунок 3.1 - Экспериментальный фронтальный плуг-рыхлитель: 1 – рама; 2 – навесное устройство; 3 - опорные колесо с механизмом регулировки глубины обработки почвы; 4 – чизельные рабочие органы с криволинейной стойкой и грудкой; 5 – чизельные рабочие органы с прямой стойкой



Рисунок 3.2 - Экспериментальный фронтальный плуг-рыхлитель (1) в агрегате с трактором К-701 (2) в транспортном положении

Экспериментальный фронтальный плуг-рыхлитель состоит из следующих основных узлов и механизмов (см. рисунок 3.1): рамы 1 с навесным устройством 2, опорных колёс 3 с механизмом регулировки глубины обработки почвы, чизельных 4 рабочих органов с криволинейной стойкой и грудкой, чизельных 5 рабочих органов с прямой стойкой и обтекателем (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Экспериментальный фронтальный плуг-рыхлитель (вид справа):  
1 – чизельные рабочие органы с криволинейной стойкой и грудкой (установлены на 1 и 2 рядах); 2 – чизельные рабочие органы с прямой стойкой и обтекателем (установлены на 3 и 4 рядах).

Рама экспериментального плуга-рыхлителя является несущим элементом всех узлов и механизмов и представляет собой сварную конструкцию из труб прямоугольного сечения. На передней части рамы установлено навесное устройство (соединяется осуществляется по трехточечной схеме), при помощи которого орудие агрегируется с трактором тягового класса 5 и выше. Также в нижней части рамы установлены кронштейны крепления рабочих органов.

В процессе работы экспериментальный плуг-рыхлитель опирается на два опорных колеса (рисунок 3.4) с механизмами регулирования глубины обработки, посредством которых обеспечивается регулирование глубины обработки. Механизм регулирования глубины обработки состоит из кронштейна, стойки с отверстиями, рукоятки с эксцентриком и пальца, фиксирующего стойку в кронштейне. Регулировка глубины обработки почвы осуществляется поднятием или опусканием опорных колес орудия, производится ступенчато с интервалом в 1 см.

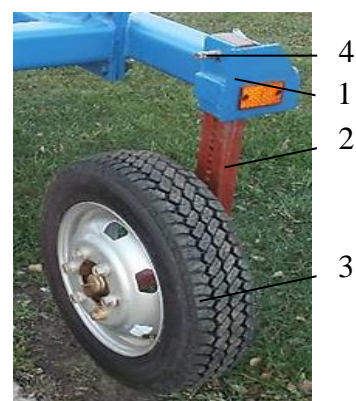


Рисунок. 3.4 – Опорное колесо с механизмом регулирования глубины обработки орудия: 1 - кронштейн; 2 - стойка; 3 - опорное колесо; 4 - рукоятка с эксцентриком.

Техническая характеристика экспериментального фронтального плуга-рыхлителя представлена в таблице 3.1.



**Таблица 3.1 - Техническая характеристика экспериментального фронтального плуга-рыхлителя**

Наименование показателя	Значение показателя
Тип орудия	Навесной
Агрегатируется трактором тягового класса	5-6
Ширина захвата орудия (конструктивная), м	5 (4,97)
Рабочие скорости, км/ч	6-10 (6,7-6,9)
Транспортная скорость, км/ч	до 25
Производительность в час, га:	
- основного времени	3,0-5,0 (3,35-3,45)
- эксплуатационного времени	2,1-3,5 (2,66-2,70)
Дорожный просвет, мм	450
Габаритные размеры, мм:	
- длина	2600
- ширина	5000
- высота	1760
Габаритные размеры агрегата (с трактором К-701) в рабочем положении, мм:	
- длина	10070
- ширина	5000
- высота	3500
Масса орудия (конструкционная), кг	2510
Количество рядов рабочих органов, шт.	
- чизельных с криволинейной стойкой и грудкой	2
- чизельных с прямой стойкой и обтекателем	2
Количество рабочих органов, шт.	
- чизельных с криволинейной стойкой и грудкой	7
- чизельных с прямой стойкой и обтекателем	8
Пределы регулирования рабочих органов по глубине, см	
- чизельных с криволинейной стойкой и грудкой	0-25
- чизельных с прямой стойкой и обтекателем	10-40
Ширина захвата долота (и грудки) рабочих органов, мм	70
Минимальный радиус поворота агрегата, м:	
- по крайней наружной точке	10,2
- по следу наружного колеса	8,0
Ширина колеи опорных колёс орудия, мм	4130
Расстояние между рабочими органами в первом ряду, мм	1400
Расстояние между смежными рабочими органами в ряду, мм	700
Расстояние между рабочими органами, мм	350
Расстояние между рабочими органами первого и второго ряда, мм	550
Расстояние между рабочими органами второго и третьего ряда, мм	857
Расстояние между рабочими органами третьего и четвертого ряда, мм	280
Расстояние от опорной поверхности рабочих органов до нижней плоскости рамы, мм:	
- чизельных с криволинейной стойкой и грудкой	700
- чизельных с прямой стойкой и обтекателем	830



Для выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы фронтальный плуг-рыхлитель оснащен следующими типами рабочих органов (рисунок 3.4), которые установлены в четыре ряда: чизельные с криволинейной стойкой и грудкой - на двух первых рядах, и чизельные с прямой стойкой и обтекателем - на двух последующих рядах.

Чизельные рабочие органы (рисунок 3.4, *а*) с криволинейной стойкой и грудкой обеспечивают полосовое рыхление пласта почвы на глубину до 25 см и частичное перемещение верхней части взрыхленного пласта на необработанную часть поверхности поля. Затем, следом идущие чизельные рабочие органы (рисунок 3.4, *б*) с прямолинейной стойкой и обтекателем, в совмещении с предыдущими, обеспечивают выполнение по ширине захвата орудия сплошное рыхление пахотного горизонта до 25 см и полосовое почвоуглубление до 40 см.

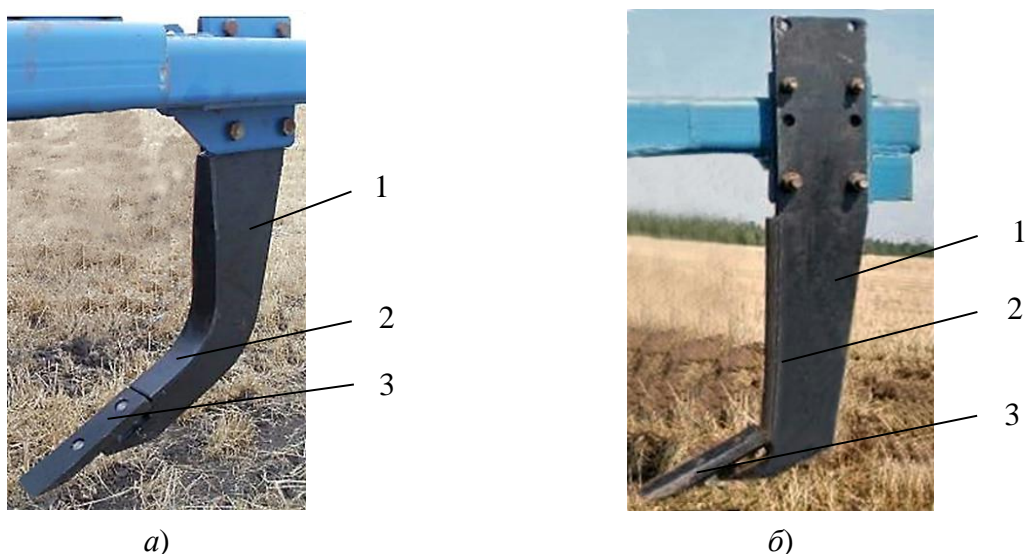


Рисунок 3.4 – Рабочие органы экспериментального фронтального плуга-рыхлителя: *а*) – чизельные с криволинейной стойкой 1, грудкой 2 и долотом 3; *б*) – чизельный с прямолинейной стойкой 1, обтекателем 2 и долотом 3.

Чизельные рабочие органы (см. рисунок 3.4, *а*) первого и второго ряда состоят из криволинейной стойки 1 с грудкой 2, установленной в средней части стойки сварным соединением, и долота 3, установленного в нижней части стойки болтовым соединением.

Чизельные рабочие органы (см. рисунок 3.4, б) второго и третьего ряда состоят из прямолинейной стойки 1 с обтекателем 2, установленным в средней части стойки сварным соединением, и долота 3, установленного в нижней части стойки болтовым соединением, и имеют два варианта установки на раме орудия: на одну глубину с рыхлительными органами и на 130 мм большую глубину. Для этого на стойке имеются технологические отверстия, обеспечивающие возможность дополнительного регулирования глубины обработки. К раме орудия стойки рабочих органов крепятся болтовым соединением.

Рабочие органы экспериментального фронтального плуга-рыхлителя изготавливались по основным конструктивным параметрам, представленными в разделе 2.

#### **3.4. Методика лабораторно-полевых исследований рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем**

Лабораторно-полевые исследования рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем с определением агротехнических и энергетических показателей проводили коллективно в условиях ФГБУ «Поволжская МИС», а также в условиях хозяйств Саратовской и Самарской областях, согласно программе и методам испытаний, изложенным в ГОСТ 20915-88, ГОСТ Р 52778-2007, ГОСТ 18509 – 88, ОСТ 10 2.18-2001, ОСТ 10 2.2-2002, РТМ 10 13.001 – 87 [98-103].

Исследования экспериментального плугом-рыхлителя проводили на агрономических фонах, характерных для данной зоны. Поле подбирали с ровным рельефом однородное по физико-механическим свойствам почвы.

В соответствии методики проведения исследований производили определение следующих показателей состояния почвы: механический состав и тип почвы, его название; вид предшествующей обработки; влажность (%) и твердость (МПа) почвы; типа рельефа и микрорельефа участка поля; высота (м) и масса (г/м<sup>2</sup>) растительных и пожнивных остатков.

Определение массы и высоты растительных и пожнивных остатков

выполняли взвешиванием и подсчётом их количества на пяти учетных площадках размером  $1\text{ м}^2$ , которые располагали по диагонали участка и на каждой производили по 10 подсчетов.

При проведении исследований экспериментальный агрегат двигался загонным способом с чередованием движений в свал и в развал по схеме (рисунок 3.5).

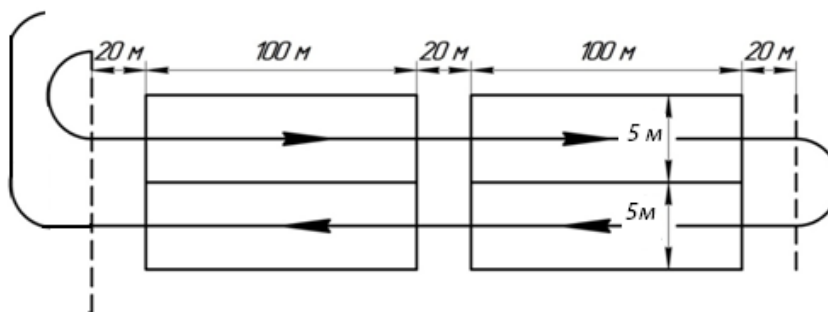


Рисунок 3.5 - Схема разметки и способ движения экспериментального агрегата на опытном участке

В процессе лабораторно-полевых исследований определялись следующие агротехнические показатели усовершенствованного технологического процесса, выполняемого экспериментальным пахотным агрегатом [84, 104]: скорость движения агрегата, м/с; рабочая ширина захвата орудия, м; отклонение от установочной ширины захвата орудия, м; глубина обработки рыхлительными и чизельными рабочими органами, м; среднее квадратическое отклонение глубины обработки рыхлительными и чизельными рабочими органами, м; профиль пласта почвы после прохода пахотного агрегата; крошение почвы, %; гребнистость поверхности поля, м; степень и глубину заделки растительных и пожнивных остатков, %; тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия, кН; удельное тяговое сопротивление рабочего органа, кН/м; удельные энергозатраты, кВт/га; буксование движителей трактора; коэффициент загрузки двигателя трактора; забивание и залипание почвой рабочих органов, между собой и между рядами их расположения на раме орудия.

### 3.4.1. Определение качественных показателей рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем

Определение качественных показателей рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы проводились на типичных фонах в одинаковых условиях, характерных для данной зоны. Выбирали поле с ровным микрорельефом и незначительными отклонениями по физико-механическим свойствам почвы. Перед первым проходом агрегата определяли влажность почвы в слоях 5...10, 10...15, 15...20, 20...30, 30...35 см, отбирая пробы почвы по диагонали участка. Повторность исследований влажности почвы проводили пятикратно.

Для определения влажности почвы [98, 105] выполняли отбор проб почвы, засыпая ее в бюксы (рисунок 3.6), затем их взвешивали с точностью до 0,01 г до и после высушивания в специальном сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ (рисунок 3.7; а, б) при температуре 105<sup>0</sup> в течение 6 часов.



Рисунок 3.6 – Фотография отбора проб почвы после прохода агрегата с экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем



а)

б)

Рисунок 3.7 – Высушивание проб почвы: а - шкаф сушильный ШС-80-01 СПУ; б - шкаф сушильный с почвой в бюксах ГОСТ 2393

Абсолютную влажность почвы  $A_{\text{вл.}}$  вычисляли по формуле (3.1) [105, 107]:

$$A_{\text{вл.}} = [(m_{\text{вл.}} - m'_{\text{сух.}}) / m'_{\text{сух.}}] \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

где  $m_{\text{вл.}}$  - масса образца влажной почвы в бюксе до сушки, г;  $m'_{\text{сух.}}$  - масса образца сухой почвы в бюксе после сушки, г.

Для определения твердости почвы использовали твердомер Ревякина (рисунок 3.8; а, б), полученные на миллиметровой бумаге твердомера динамограммы, обрабатывались с помощью планиметра.



а)

б)

Рисунок 3.8 – Фотографии: твердомер Ревякина (а) и измерение твердости почвы (б) твердомером Ревякина

Твердость почвы  $P'_{\text{поч.}}$  рассчитывали по следующей формуле (3.2):

$$P'_{\text{поч.}} = h' \cdot p'_{\text{пр.}} / s'_{\text{плун.}}, \quad (3.2)$$

где  $h'$  - величина средней ординаты динамограммы плотности почвы, см;



$p'_{\text{пр.}}$  - масштаб пружины, Н/см;  $s'_{\text{плун.}}$  - площадь поперечного сечения плунжера, см<sup>2</sup>.

Для исследований рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем, производили разбивку опытного участка по схеме представленной на рисунке 3.5. Ширина опытного участка составляла 10 м, длина 100 м, расстояние между экспериментальными участками 20 м. В начале опытного участка выполняли включение измерительного оборудования и приборов, а выключение - на конце участка. Скорость движения агрегата с экспериментальным почвообрабатывающим орудием измеряли переключением передач после полной остановки трактора на конце опытного участка. Время движения агрегата в пути фиксировали секундомером.

Скорость движения агрегата  $v_{\text{агр.}}$  (м/с) рассчитывали по следующей формуле (3.3):

$$v_{\text{агр.}} = S_{\text{агр.}} / t_{\text{агр.}}, \quad (3.3)$$

где  $S_{\text{агр.}}$  - пройденный путь агрегата, м;  $t_{\text{агр.}}$  - время прохождения агрегата деланки опытного участка, сек.

Для измерения рабочей ширины захвата экспериментального фронтального плуга-рыхлителя осуществляли замеры на каждом учетном проходе опытного участка. Измерения проводили при двух проходах орудия в 50 точках с интервалом не менее 1 м по ходу движения агрегата. Для этого, до учетного прохода агрегата, устанавливали 50 вешек на ширину захвата орудия, с увеличением на 1 м от края обработанной почвы. После прохода агрегата каждой учетной площади опытного участка выполняли измерения рулеткой от установленной вешки до края обработанной почвы. Количество измерений проводили не менее 100 раз. Погрешность измерений составляла  $\pm 1$  см. Ширину захвата вычисляли по разнице между замерами до прохода и после прохода экспериментального агрегата, а полученные данные обрабатывали методом математической статистики с получением среднего

значения ширины захвата и стандартного отклонения. Среднюю ширину захвата экспериментального плуга-рыхлителя вычисляли с округлением до первого десятичного знака.

Для измерения глубины обработки почвы после прохода рыхлительных и чизельных рабочих органов экспериментального фронтального плуга-рыхлителя применили следующее оборудование: мерные линейки, глубиномер и угольник. Эксперимент производили с повторностью не менее 50 раз, точность измерений составляла  $\pm 0,5$  см.

Для определения профиля обрабатываемого слоя почвы применяли метод поперечного профилирования (рисунок 3.9). При этом, перед проходом плуга-рыхлителя, на каждой учетной делянке устанавливали две опорные стойки, на которые перпендикулярно к направлению движения агрегата горизонтально укладывали координатную рейку, горизонтальность ее расположения контролировали уровнем. Вертикальное расстояние от поверхности поля до нижней стороны рейки замеряли линейкой по всей ширине захвата орудия с интервалом 5 см, при этом погрешность измерения составляла  $\pm 1,0$  см. После этого рейку снимали и агрегат совершал учетный проход опытного участка.



Рисунок 3.9 – Фотографии: *а* - профилирование обработанного слоя почвы экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем с чизельными рабочими органами; *б* - измерение расстояния между углублениями борозд после прохода рабочих органов

После прохода агрегата рейку устанавливали в исходное положение. Измерения совершали в той же последовательности. Постепенным удалением взрыхленного слоя почвы выполняли профилирование поверхности дна борозды (рисунок 3.9; *а, б*). Повторность измерения профилей производили четырехкратно, а полученные данные обрабатывались методом математической статистики.

Гребнистость поверхности поля определяли по результатам измерений высоты гребней, которые производили при помощи рейки и линейки. После прохода агрегата по опытному участку поля, по ширине захвата орудия накладывали рейку на вершины гребней в случайно выбранных местах. Измерения проводили от дна борозды между гребнями до нижней плоскости рейки не менее 40 раз, при этом погрешность измерений составляла не более  $\pm 5$  мм. Затем полученные данные обрабатывали методом математической статистики.

Для определения степени крошения почвы отбирали пробы в четырех точках опытного участка: в двух точках по ходу движения агрегата и в двух – в обратном направлении. Пробы отбирали с площадок  $0,25 \text{ м}^2$  (рисунок 3.10) на установленную глубину обработки не ранее, чем через час после прохода пахотного агрегата.



Рисунок 3.10 – Взятие проб для определения крошения обрабатываемого слоя почвы

Далее отобранные пробы распределяли на фракции, указанные в АТТ на испытываемое почвообрабатывающее орудие. Полученные фракции помещали на ситовой классификатор, у которого имелся набор решет с диаметрами отверстий, соответствующими размерам почвенной пробы, и постепенно их просеивали. После этого содержимое (фракции) каждого решета взвешивали на весах с погрешностью не более  $\pm 50$  г. По полученным



результатам взвешивания вычисляли массовую долю  $i$ -й фракции почвы  $k_i$  по формуле (3.4):

$$k_i = m_i \cdot 10^2 / m_{\text{пр.}}, \% \quad (3.4)$$

где  $m_i$  - масса  $i$ -ой фракции в пробе, кг;  $m_{\text{пр.}}$  - общая масса пробы, кг.

Согласно методике исследований [98, 105], подрезание растительных остатков (стерни и сорняков) определяли по массе подрезанных растительных остатков. Массу растительных остатков до прохода машины определяли путем их среза и взвешивания с площадок размером  $1 \times 1$  м в десятикратной повторности по диагонали участка и пересчета на учетную площадь. Погрешность взвешивания  $\pm 10$  г.

После прохода пахотного агрегата накладывали учетные рамки длиной 0,5 м и шириной, равной ширине захвата агрегата. Количество учетных площадок было четыре, две в прямом направлении агрегата, и две в обратном. В пределах учетных площадок состригали и взвешивали неподрезанные растительные остатки (рисунок 3.11.). Массовую долю не заделанных в почву растительных и пожнивных остатков  $G_{\text{п}}$  вычисляли по формуле (3.5):

$$G_{\text{п}} = (m_{\text{и}} - m_{\text{н}}) \cdot 100 / m_{\text{и}}, \% \quad (3.5)$$

где  $m_{\text{и}}$  – масса растительных остатков до прохода агрегата, кг;  $m_{\text{н}}$  – масса не подрезанных растительных остатков после прохода агрегата, кг.



Рисунок 3.11 - Взвешивание пожнивных и растительных остатков, собранных с исследуемой площади до прохода экспериментального фронтального плуга-рыхлителя

Для определения сохранения стерни до прохода пахотного агрегата на каждой повторности накладывают по две рамки длиной 0,5 м и шириной, равной ширине захвата орудия. В пределах каждой рамки собирали всю стерню и определяли её массу (рисунок 3.12) с погрешностью взвешивания  $\pm 10 \dots 50$  г. После прохода агрегата рамки накладывают в тех же местах первоначального расположения и учитывали стерню, оставшуюся в пределах рамки. Стерню с каждой рамки взвешивали, полученные данные обрабатывали методом математической статистики.



Рисунок 3.12 - Определение массы растительных остатков

Сохранение стерни  $C_c$  вычисляли по следующей формуле (3.6):

$$C_c = m_t 100 / G_d, \% \quad (3.6)$$

где  $m_t$  – средняя масса стерни с учетом площади после прохода орудия, кг;  $m_d$  – средняя масса стерни с учетной площадки до прохода орудия, кг.

Для испытаний фронтального плуга-рыхлителя разбивку опытного участка производили по схеме (см. рисунок 3.5). Длина опытного участка 100 м, ширина 5 м, интервал между участками 20 м. В начале и конце опытного участка выполняли включение и выключение регистрирующей аппаратуры. Переключение рабочих передач производили после остановки трактора на конце участка. Время движения измеряли секундомером, а скорость движения агрегата  $v$  рассчитывали по общеизвестной формуле (3.6):

$$v = S / t, \text{ м/с} \quad (3.6)$$

где  $S$  – пройденный путь делянки, м;  $t$  – время прохождения делянки участка, с.

### 3.4.2. Определение энергетических показателей рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы

Для определения затрат энергии на выполнение рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы использовали пахотный агрегат, состоящий из трактора К-744Р1 «Кировец» тягового класса 5 и экспериментального фронтального плуга-рыхлителя (КОМБИ-5), исследования которого выполняли в условиях ФГБУ «Поволжская МИС» (рисунок 3.13) [97, 102, 106, 107].



Рисунок 3.13 - Фотографии исследований пахотного агрегата: 1 – трактор К-9430 с тензобалкой; 2 – трактор К-744Р1 агрегируемый с экспериментальным фронтальным плугом-рыхлителем; 3 – трос

При этом дополнительно использовали трактор К-9430 «Кировец» тягового класса 8 оснащенный тензобалкой, которая представляет собой брус сечением 100×100 мм изготовленный из стали марки 30ХГСА (рисунок 3.14). На тензобалке установлено 4 пленочных тензорезистора типа 2ФКПА (рисунок 3.15). Монтаж производили на клей ВЛ-931, снаружи тензорезисторы покрашены [106, 108]. Пахотный агрегат буксировался дополнительным трактором по средством троса и фаркопа.



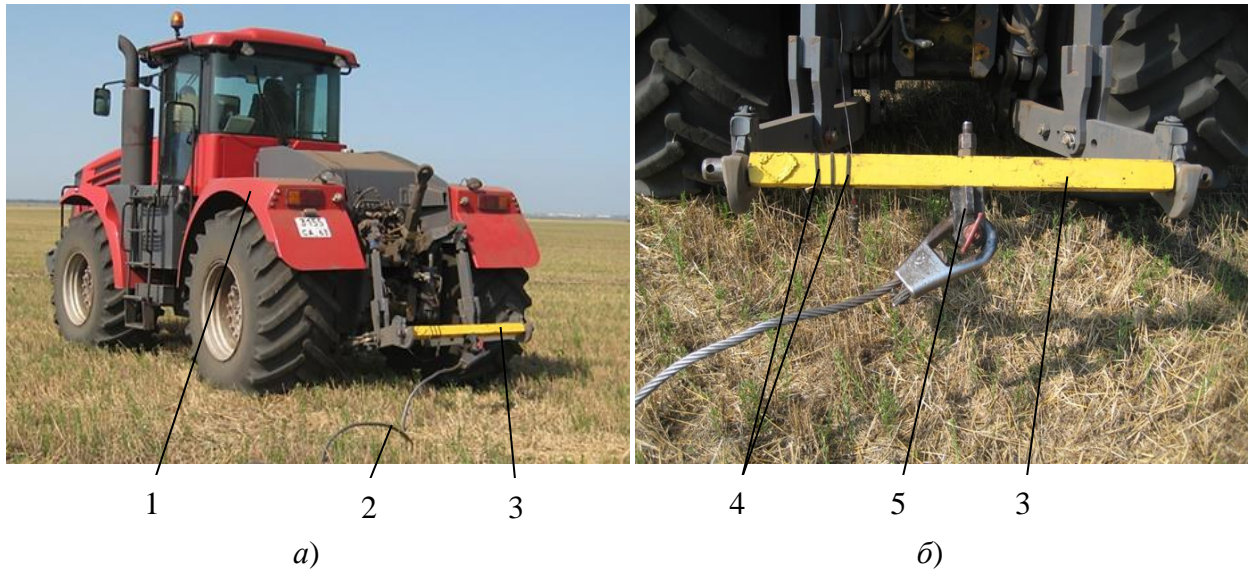


Рисунок 3.14 – Фотографии (а и б) трактора К-9430 (1) с тензобалкой (3): 2 – трос; 4 – пленочные тензорезисторы типа 2ФКПА; 5 – фаркоп

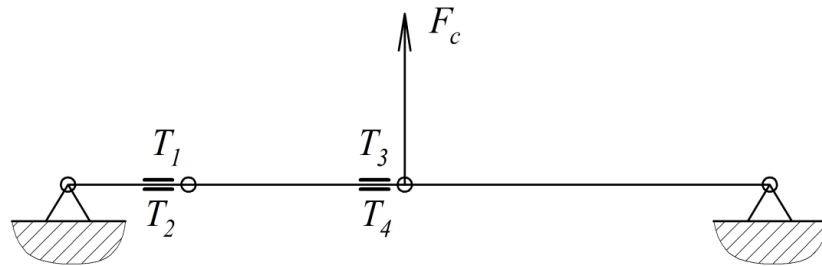


Рисунок 3.15 - Схема тензометрической балки:  $T1-T4$  – тензорезисторы;  $F_c$  - приложенная сила сопротивления машины

Тензорезисторы соединены по мостовой схеме (рисунок 3.16).

К схеме подводится напряжение источника питания  $U_n$ , снимается измененное в зависимости от деформации балки напряжение  $U_m$  (3.7).

$$U_m \approx \frac{U_n \cdot \Delta R}{2R}, \quad (3.7)$$

где  $U_m$  - напряжение моста, В;  $U_n$  – напряжение источника питания, В;  $\Delta R$  – изменение сопротивления тензорезисторов в ходе испытаний, Ом;  $R$  – паспортное сопротивление тензорезистора, Ом.

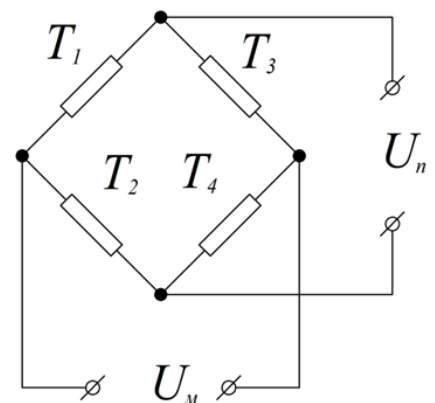


Рисунок 3.16 – Мостовая схема подключения тензорезисторов:  $T1-T4$  – тензорезисторы;  $U_n$  – напряжение источника питания, В;  $U_m$  – напряжение, снимаемое с моста тензорезисторов, В

Для обеспечения точности измерений тензобалка должна работать в пределах пропорциональности (упругих деформаций) в интересующем диапазоне усилий. Размеры и материал балки должны быть подобраны таким образом, чтобы при максимальной измеряемой силе напряжения в ней составляли не менее 0,05-0,06 Гпа [106, 108].

Перед началом исследований балку тарировали в диапазоне расчетных усилий от 50 до 100 кН. После выполнения 3-х циклов нагружения вычисляли средние значения показаний прибора во всех точках.

Затем выполняли буксирование трактора К-744Р1 с фронтальным плугом-рыхлителем трактором К-9430 в транспортном положении [97]. При этом все полученные значения фиксировались датчиками тензобалки и записывались информационно-измерительной системой ИП-238 расположенной в кабине трактора К-9430. Далее орудие переводилось в рабочее положение и буксировалось несколько раз на различных скоростях движения. Полученные значения также фиксировались датчиками тензобалки и записывались системой ИП-238. Вычитая разницу между пополученными значениями, были определены значения показателей работы пахотного агрегата записанные системой ИП-238.

Информационно-измерительная система ИП-238 предназначена для энергитической, эксплуатационно-технологической оценок машин и тяговых испытаний тракторов. Обеспечивает прием дискретных и аналоговых сигналов от первичных преобразований, накопление информации и расчет показателей в соответствии с ОСТ 10.2.2 – 2002 [102], элементов времени смены по ГОСТ Р52778–2007 [99], тяговых показателей тракторов по ГОСТ 7057 - 2001 [107] и стандартам ОЕСД. Система ИП-238 состоит из (рисунок 3.17) усилителя сигнала 2, преобразователя аналогового сигнала в цифровой 3 и персонального компьютера с установленным на него программным обеспечением 1 [97].

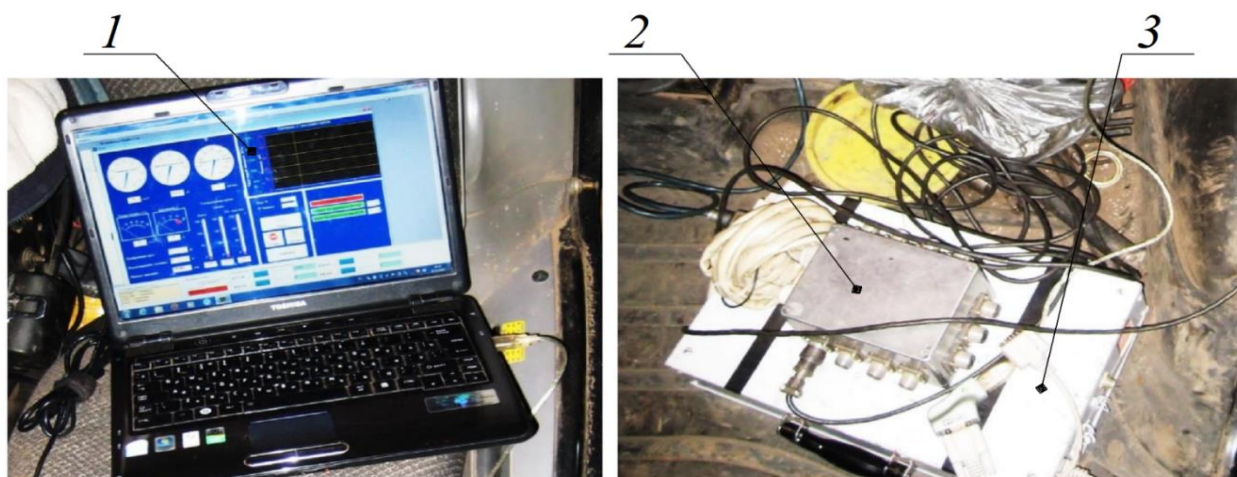


Рисунок 3.17 - Регистрирующее устройство: 1 - персональный компьютер; 2 - усилитель; 3 - аналогово-цифровой преобразователь

Основные технические данные информационно-измерительной системы ИП-238 приведены в таблице (3.2).

**Таблица 3.2 - Основные технические данные информационно-измерительной системы ИП-238**

Наименования показателей	Значение показателей
Количество измерительных каналов, шт: аналоговых дискретных	4 8
Количество масштабных ступеней, шт	2
Пределы измерения аналоговых сигналов, В: 1-я ступень усиления АЦП 2-я ступень ... 3-я ступень ...	0 ÷ +10 0 ÷ +5 0 ÷ +2,5
Разрешение, мВ: 1-я ступень усиления АЦП 2-я ступень ... 3-я ступень ...	2,44 1,22 0,61
Рабочий диапазон частот измерения дискретных каналов, Гц	1 ÷ 300
Погрешность измерения дискретных сигналов в рабочих диапазонах влияющих величин, ед.	± 1
Диапазон задания длительности опыта, с	1 ÷ 900
Шаг задания длительности опыта, с	0,1
Мощность, потребляемая аппаратурой, Вт	Не более 50
Питание аппаратуры, В	11-14
Рабочий диапазон температур, °С	0...+50
Масса, кг	Не более 5

В результате производились замеры необходимых параметров для дальнейшего расчёта затрат энергетических показателей пахотного агрегата по формулам [102, 105]:

Мгновенная скорость трактора  $v_{\text{мг}}$  в момент работы:

$$v_{\text{мг}} = I_{\text{пс}} \cdot K_{\text{д}} \cdot 3,6, \text{ км/ч} \quad (3.8)$$

где  $I_{\text{пс}}$  – число импульсов датчика пути в  $\text{с}^{-1}$ ;  $K_{\text{д}}$  – коэффициент калибровки датчика пути,  $\text{м}^4$ .

Средняя скорость агрегата  $v_{\text{ср}}$  за опыт:

$$v_{\text{ср}} = I_{\text{пс}} \cdot K_{\text{д}} \cdot 3,6 / T_{\text{оп}}, \text{ м/с} \quad (3.9)$$

где  $T_{\text{оп}}$  – продолжительность опыта, с.

Мгновенное буксование движителей трактора  $\sigma_{\text{мгн}}$  при работе:

$$\sigma_{\text{мгн}} = \sum_{i=1}^n (1 - K\delta_i \cdot I_{\text{п}} / I_{\text{кci}}) \cdot 100 / n_{\text{дв}}, \% \quad (3.10)$$

где  $K\delta_i$  – коэффициент калибровки датчика по буксованию  $i$ -го движителя;  $n_{\text{дв}}$  – количество движителей, шт.;  $I_{\text{кci}}$  – частота импульсов, полученных с  $i$ -го движителя,  $\text{с}^{-1}$ .

Среднее буксование движителей  $\sigma_{\text{ср}}$  за опыт:

$$\sigma_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n (1 - K\delta_i \cdot I_{\text{п}} / I_{\text{ки}}) \cdot 100 / n_{\text{дв}}, \% \quad (3.11)$$

где  $I_{\text{ки}}$  – количество импульсов, полученных с  $i$ -го движителя за опыт, имп.

Мгновенное тяговое усилие  $P_{\text{мг.кр}}$  на крюке трактора при работе:

$$P_{\text{мг.кр}} = U_{\text{ср}} \cdot K_{\text{к}}, \text{ кН} \quad (3.12)$$

где  $U_{\text{ср}}$  – среднее значение показаний тензометрических датчиков, В;  $K_{\text{к}}$  – коэффициент калибровки тензометрических датчиков усилителя, кН/В.

Среднее тяговое усилие  $P_{\text{ср.кр}}$  на крюке трактора за опыт:

$$P_{\text{ср.кр}} = U_{\text{ср.о}} \cdot K_{\text{к}}, \text{ кН} \quad (3.13)$$

где  $U_{\text{ср.о}}$  – среднее значение показаний с тензометрических датчиков за опыт, В.

Средняя тяговая мощность трактора  $N_{\text{ср}}$  за опыт:

$$N_{\text{ср}} = P_{\text{ср.кр}} \cdot v_{\text{ср}}, \text{ кВт} \quad (3.14)$$

Средняя частота вращения вала отбора мощности  $n_{\text{вом ср}}$  трактора:

$$n_{\text{вом ср}} = I_{\text{вом}} \cdot K_{\text{вом}} / T_{\text{оп}}, \text{ с}^{-1} \quad (3.15)$$

где  $I_{\text{ВОМ}}$  – количество импульсов, полученных с датчика оборотов ВОМ трактора за опыт, шт.;  $K_{\text{ВОМ}}$  – коэффициент датчика оборотов ВОМ трактора,  $\text{с}^{-1}$ .

Средняя частота вращения коленчатого вала двигателя  $n_{\text{ср.д}}$  трактора:

$$n_{\text{ср.д}} = n_{\text{ВОМ ср}} \cdot K_{\text{ВОМ тр}}, \text{ с}^{-1} \quad (3.16)$$

где  $K_{\text{ВОМ тр}}$  – коэффициент, учитывающий передаточное число трансмиссии от коленчатого вала двигателя к ВОМ.

Часовой расход топлива  $G_{\text{ч}}$  за опыт:

$$G_{\text{ч}} = Q_{\text{см}} / T_{\text{см}}, \text{ кг} \quad (3.17)$$

где  $Q_{\text{см}}$  – расход дизельного топлива за полную смену,  $\text{кг/ч}$ ;  $T_{\text{см}}$  – время смены, ч;

Удельный расход топлива  $g$  за опыт:

$$g = G_{\text{ч}} \cdot 1000 / N_{\text{ср}}, \text{ г/кВт}\cdot\text{ч} \quad (3.16)$$

### **3.4.3. Эксплуатационно-технологическая оценка работы экспериментального фронтального плуга-рыхлителя**

Эксплуатационно-технологическую оценку проводили согласно методике, изложенной в ГОСТ Р52778-2007 [99] и ГОСТ 24057-88 [105] при выполнении основной обработки почвы. Условия проведения испытаний определяли по методике, изложенной в ГОСТ 20915-88 [98].

Для определения сменной производительности пахотного агрегата изначально на опытном поле определяли длину гона и выбирали передачу, обеспечивающую оптимальную загрузку двигателя при установленной глубине обработки почвы и количестве рабочих органов орудия. Обработку почвы и отсчёт времени работы пахотного агрегата начинали от намеченного прохода. Продолжительность рабочей смены пахотного агрегата составляла 7 часов.

Коэффициент использования времени смены определяли путем хронометража работы агрегата. Для этого полученные значения хронометража вносили в бланк учета времени смены. По окончании времени смены измеряли ширину обработанного участка поля на заданной длине гона и определяли ширину обработанной площади. По полученным результатам работы агрегата



при трех сменах рассчитывали среднее значение обработанной площади поля  $S_{\text{ср}}$  по следующему выражению (3.18):

$$S_{\text{ср}} = (S_1 + S_2 + S_3) / 3, \text{ га} \quad (3.18)$$

где  $S_1, S_2, S_3$  – соответственно обработанная площадь в первую, во вторую и в третью смену, га.

Сменная производительность  $W_{\text{см}}$  рассчитывалась по следующей формуле (3.19):

$$W_{\text{см}} = S_{\text{ср}} / T_{\text{см}} \quad (3.19)$$

где  $T_{\text{см}}$  – время смены работы агрегата, ч.

Определение погектарного расхода топлива пахотного агрегата выполняли путем измерения израсходованного объема топлива за смену. В начале смены топливозаправщиком (рисунок 3.18) производили полную заправку топливного бака трактора дизельным топливом, по завершении смены двигатель трактора останавливали и совершали дозаправку топливом.



Рисунок 3.18 – Топливозаправщик для обеспечения заправки топливного бака трактора в начале смены и дозаправки в конце смены

Расход дизельного топлива за смену  $Q_{\text{см}}$  определяли по следующему выражению (3.20):

$$Q_{\text{см}} = (Q_{\text{пол}} - Q_{\text{ост}}) / \rho_{\text{дт}}, \text{ кг/см} \quad (3.20)$$

где  $Q_{\text{пол}}, Q_{\text{ост}}$  – соответственно объем топлива полного бака трактора, объем топлива оставшегося в конце смены,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{дт}}$  – плотность дизельного топлива,  $\text{кг/м}^3$ .

По формулам (3.20) и (3.21) определяли погектарный расход топлива по выражению (3.21):

$$Q_{га} = Q_{см} / W_{см} \quad (3.21)$$

Согласно ГОСТ 24057-88 определяли технологические показатели работы пахотного агрегата.

### 3.5. Методика обработки результатов исследований

При разработке методики обработки результатов исследований были учтены положения ГОСТов и рекомендации [84, 98, 109]. Определение оценок и доверительных границ проводили в соответствии с ГОСТ 11.0004-74 «Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения» [110], а также ГОСТ 11.006–74 «Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим» [111].

Доверительную вероятность сходимости полученных результатов теоретического исследования с результатами экспериментального исследования оценивали по критерию  $\chi^2$  ГОСТ 11.0004-74 [110, 111].

Несмещенной оценкой для генерального среднего  $\alpha$  нормального распределения (результатов теоретических исследований) является математическое ожидание  $\bar{x}$ , которое определяли по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (3.22)$$

Вычисляли размах  $x_n - x_1$ , после чего определяли размер интервала  $h$  по формуле:

$$h = \frac{x_n - x_1}{r}, \quad (3.23)$$

где  $x_1 \dots x_n$ , результаты наблюдений исследуемой случайной величины;  $r$  – число интервалов.

Число интервалов  $r$  выбирали в зависимости от объема выборки  $n$ . Среднее арифметическое значение исследуемой величины вычисляли по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^r (j - 0,5) m_j, \quad (3.24)$$

Среднее квадратическое отклонение вычисляли по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^r ((j - 0,5) - \bar{x})^2 \cdot m_j}, \quad (3.25)$$

Величина  $y_j$  вычисляется по следующему выражению:

$$y_j = -(((j - 0,5) - \bar{x}) / S), \quad (3.26)$$

Вероятность попадания данных полученных в результате экспериментальных исследований в  $j$ -й интервал.

$$p_j = F(y_j) - F(y_j - 1), \quad (3.27)$$

где  $j = 2, \dots, r$ .

По полученным данным вычисляли значение  $\chi^2$  используя формулу (3.22):

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^r \frac{(m_j - np_j)^2}{np_j}, \quad (3.28)$$

Задаемся доверительной вероятностью того, что величина  $\chi^2$ , полученная вследствие случайных отклонений значений распределения величин полученных в результате экспериментальных исследований от соответствующих значений полученных в результате теоретических исследований, будет меньше значения  $(\chi^{\gamma})^2$ , установленного для доверительной выбранной доверительной вероятности. По табличным данным для доверительной вероятности и числа степеней свободы  $k = r - 1$ , находят величину  $(\chi^{\gamma})^2/k$ , вычисляют  $(\chi^{\gamma})^2$  и сравнивают ним вычисленную по данным величину  $\chi^2$ . Если значение критерия  $\chi^2$  меньше  $(\chi^{\gamma})^2$ , то результаты экспериментального исследования для принятой доверительной вероятности считаются достоверными, в противном случае – не достоверными [111].

В ходе проверки результатов экспериментальных исследований принимали значение доверительной вероятности равной 0,95.

## **4. РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАВЕСНОГО ФРОНТАЛЬНОГО ПЛУГА-РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ АГРЕГАТИРОВАНИЯ С ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАССА 5**

### **4.1. Условия проведения исследований**

Лабораторно-полевые исследования рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого экспериментальным навесным фронтальным плугом-рыхлителем с условной маркой КОМБИ-5 (см. рисунок 3.1), проводились в период с 14.09.2013 по 26.11.2014 г. на Поволжской МИС (п. Усть-Кинельский, Кинельского района Самарской области) полях Поволжского НИИСС (Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства) с объемом работ 152 ч. В процессе исследований опытный фронтальный плуг-рыхлитель КОМБИ-5 агрегатировался с трактором тягового класса 5 модели К-701 (см. рисунок 3.2).

Для реализации рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы навесной фронтальный плуг-рыхлитель оснащен чизельными рабочими органами, установленных на раме в четыре ряда (см. рисунок 3.3): чизельные с криволинейной стойкой и грудкой – на 1 и 2 рядах (7 шт.), и чизельные с прямой стойкой и обтекателем (аналог рабочих органов орудия ПБК-4,8 (Ч) [75]) – на 3 и 4 рядах (7 шт.).

Лабораторно-полевые исследования экспериментального пахотного агрегата проводились на основной безотвальной обработке почвы по стерне ячменя при глубине обработки 0,30 м на двух скоростях движения. Влажность почвы в обрабатываемых слоях 0...0,1 м составляла 10,9 %; 0,1...0,2 м – 13,3 %; 0,2...0,3 м – 14,7 %; 0,3...0,4 м – 14,7 % (по АТТ до 30 %). Твердость почвы в этих слоях соответственно составляла: 2,1; 3,8; 4,6; 4,8 МПа (по АТТ до 4,0 МПа) [112]. Условия исследований характеризовались как экстремальные по влажности и твердости, т.к. влажность почвы не превышала 14,7 %, а твердость почвы составляла 2,1-4,8 МПа и была выше требуемых по АТТ.

Рельеф поля, где проводилось исследование, был ровный с уклоном до  $3^\circ$ , микрорельеф слабовыраженный. По механическому составу почва была однородной – чернозем обыкновенный среднесуглинистый, без предшествующей обработки. Высота сорных растений и пожнивных остатков составляла 13,9 см. Масса растительных и пожнивных остатков составляла  $648,3 \text{ г/м}^2$  [112].

#### **4.2. Экспериментальные исследования рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы пахотным агрегатом К-701+КОМБИ-5**

Агротехническая и энергетическая оценка выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы с использованием пахотного агрегата К-701+КОМБИ-5 (рисунок 4.1) проводилась при лабораторно-полевых исследованиях.



Рисунок 4.1 Общий вид пахотного агрегата, состоящего из трактора К-701 и навесного фронтального плуга-рыхлителя КОМБИ-5, на основной безотвальной обработке почвы

#### 4.2.1. Результаты и анализ агротехнических показателей при лабораторно-полевых исследованиях

Основными агротехническими показателями при основной безотвальной обработке почвы являются: глубина обработки, крошение почвы, глубина борозд, подрезание пожнивных остатков и сорных растений, сохранение стерни.

Агротехнические показатели, полученные при лабораторно-полевых исследованиях рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого пахотным агрегатом К-701+КОМБИ-5, представлены в таблице 4.1 [112].

**Таблица 4.1 - Агротехнические показатели лабораторно-полевых исследований рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы пахотным агрегатом К-701 + КОМБИ-5**

Наименование показателя	Значение показателя	
Скорость движения, м/с	1,86	2,0
Ширина захвата (установочная), м	5	
Глубина обработки (установочная), см	30	
Глубина обработки чизельными рабочими органами с криволинейной стойкой и грудкой, см	29,7	29,5
- среднее квадратическое отклонение, ± см	1,9	2,0
- коэффициент вариации, %	6,4	6,8
Глубина обработки чизельными рабочими органами с прямой стойкой и обтекателем, см	30	29,2
- среднее квадратическое отклонение, ± см	1,9	2,0
- коэффициент вариации, %	6,3	7,9
Крошение почвы, %, размер фракций до 50 мм	55,3	55,8
Сохранение стерни, % не менее	47,9	48,3
Подрезание пожнивных остатков и сорных растений, %	100	100
Глубина борозд, см, не более	6,2	6,1
Содержание эрозионно-опасных частиц в слое 0-5 см, %	Не наблюдалось	
Забивание рабочих органов почвой и растительными остатками	Не наблюдалось	

Анализ полученных результатов (см. таблица 4.1) лабораторно-полевых исследований показывает, что навесной фронтальный плуг-рыхлитель КОМБИ-5 обеспечивал глубину обработки чизельными рабочими органами (1 и 2 ряд) с прямой стойкой и обтекателем 29,5-29,7 см, а чизельными рабочими



органами (3 и 4 ряд) с прямой стойкой и обтекателем 29,2-30 см. Глубина обработки почвы по ширине захвата орудия была равномерной со средним квадратическим отклонением  $\pm 1,9 \dots 2,0$  см (по АТТ не более  $\pm 2$  см). Несмотря на экстремальные условия исследований с низкой влажностью и высокой твердостью почвы, качество крошения ее было достаточно высоким. Комки почвы размером до 50 мм составляли 55,3-55,8 %, что удовлетворяет АТТ (50+10 %). Подрезание пожнивных остатков и сорных растений было полным. После прохода экспериментального плуга-рыхлителя поверхность пашни оставалась выровненной. При этом глубина борозд составляла 6,1-6,2 см, что соответствует АТТ (не более 7 см). Процент сохранения стерни (47,9-48,3 %) так же удовлетворял АТТ (не менее 30%). Содержание эрозионно-опасных частиц в слое 0-5 см не возрастало. Залипания поверхностей рабочих органов почвой и забивания межстоечного пространства растительными остатками не наблюдалось [112].

Исследование профиля обрабатываемого слоя почвы (рисунок 4.2) показал, что высота гребней на дне обрабатываемого слоя находился в пределах 5-12 см, т.е. практически дно имеет плоскую форму.

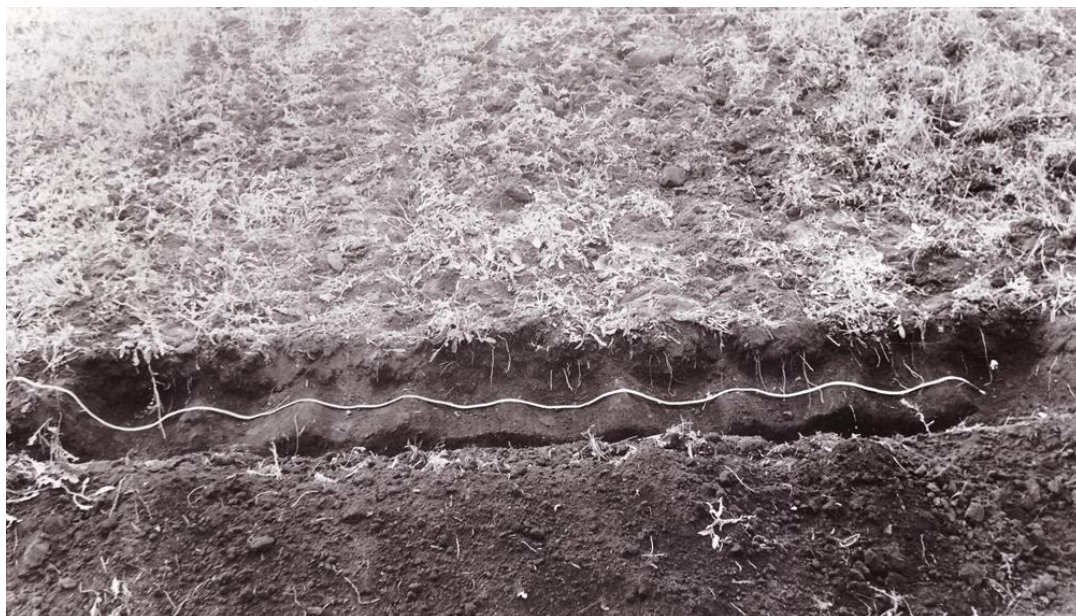


Рисунок 4.2 – Фотография профиля обработанного слоя почвы

В итоге, экспериментальный плуг-рыхлитель устойчиво выполняет рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы по всем агротехническим показателям. Агротехническая оценка проводилась по СТО АИСТ 104.6–2003 [3].

#### **4.2.2. Результаты и анализ энергетических показателей при лабораторно-полевых исследованиях**

Энергетическая оценка навесного фронтального плуга-рыхлителя проводилась с целью определения затрат энергии на выполнение технологической операции с трактором тягового класса 5 модели К-701. В процессе исследований плуга-рыхлителя КОМБИ-5 определяли тяговое сопротивление, мощность трактора, затрачиваемую на тягу плуга-рыхлителя, часовую производительность за время основной работы, энергоёмкость выполнения технологического процесса агрегатом [97].

Основные энергетические показатели определялись согласно [102, 107], почвенные условия проведения исследований те же, что и при агротехнической оценке.

Оценка энергетических показателей пахотного агрегата К-701+КОМБИ-5 производилась при установочной глубине обработки 30 см. Результаты исследований энергетических показателей представлены в приложении (6).

На рисунке (4.3) представлены экспериментальные зависимости тягового сопротивления  $R_{пл}$  фронтального плуга-рыхлителя КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения агрегата при обработке почвы на глубину 30 см (приложение 6).

Анализ зависимости (см. рисунок 4.3) показывает, что тяговое сопротивление фронтального плуга-рыхлителя КОМБИ-5 изменяется нелинейно. При глубине обработки почвы 0,30 м получено тяговое сопротивление 52,6-61,6 кН при скорости движения 1,72-2,52 м/с соответственно. Загрузка пахотного агрегата достигла значения 90 %.



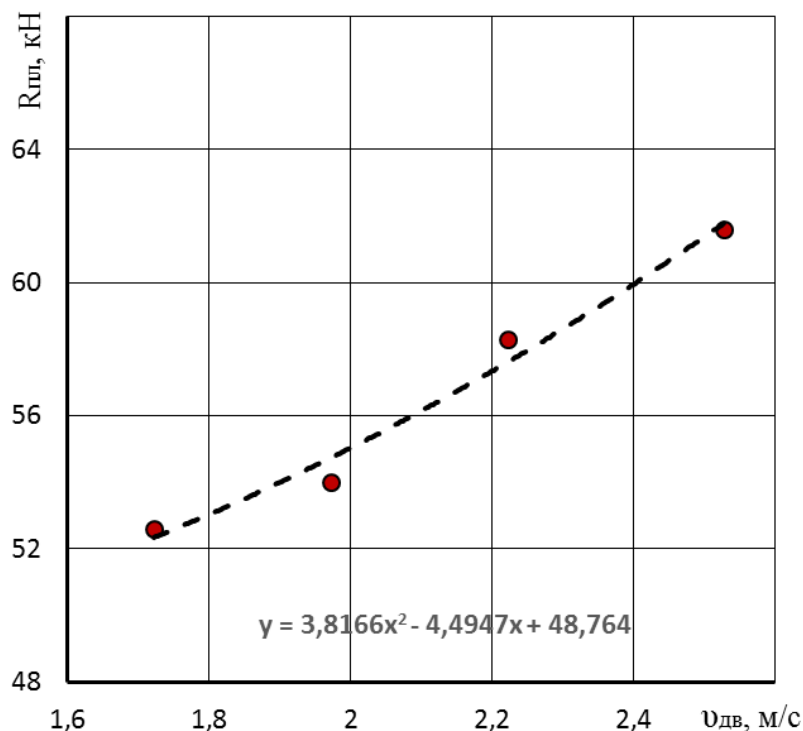


Рисунок 4.3 - Зависимость тягового сопротивления  $R_{пл}$  фронтального плуга-рыхлителя от скорости  $v_{дв}$  движения при глубине обработки 0,30 м

В результате, получено максимальное тяговое сопротивление 61,6 кН (входит в предел 54,0-72,0 кН согласно ГОСТ 27021-86 [84]) на скорости 2,52 м/с и глубине обработки 0,30 м, что соответствует тяговым характеристикам тракторов с номинальным усилием более 60 кН, т.е. по тяговому сопротивлению навесной фронтальной плуг-рыхлитель КОМБИ-5 соответствует тракторам тягового класса 5.

На рисунке (4.4) представлена зависимость мощности  $N_{пл}$  потребляемой фронтальным плугом-рыхлителем КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения агрегата при установочной глубине обработки 0,30 м (приложение б).

Анализ зависимостей (см. рисунок 4.4) показывает, что затраты мощности на выполнение рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы пахотным агрегатом К-701+КОМБИ-5 изменяются нелинейно. Можно заключить, что при глубине обработки 0,30 м плугом-рыхлителем трактор К-701 загружен на 90%. То есть, при обработке почвы на данную глубину имеется запас мощности трактора для увеличения скорости движения пахотного агрегата.

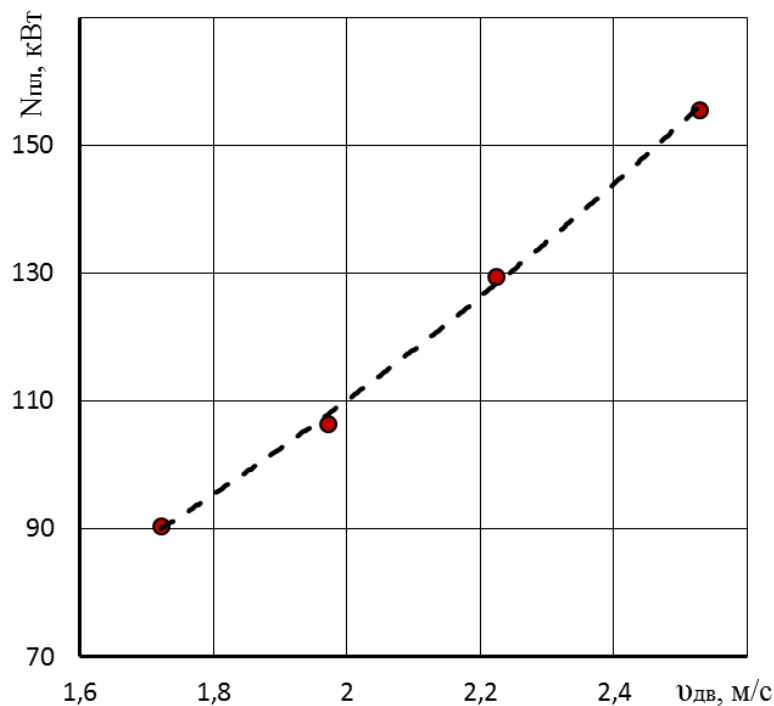


Рисунок 4.4 - Зависимость мощности  $N_{плл}$  потребляемой фронтальным плугом-рыхлителем КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения при глубине обработки 0,30 м

На рисунке (4.5) представлена экспериментальная зависимость производительности  $W_{агр}$  пахотного агрегата К-701+КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения при обработке почвы на глубину 30 см (приложение б).

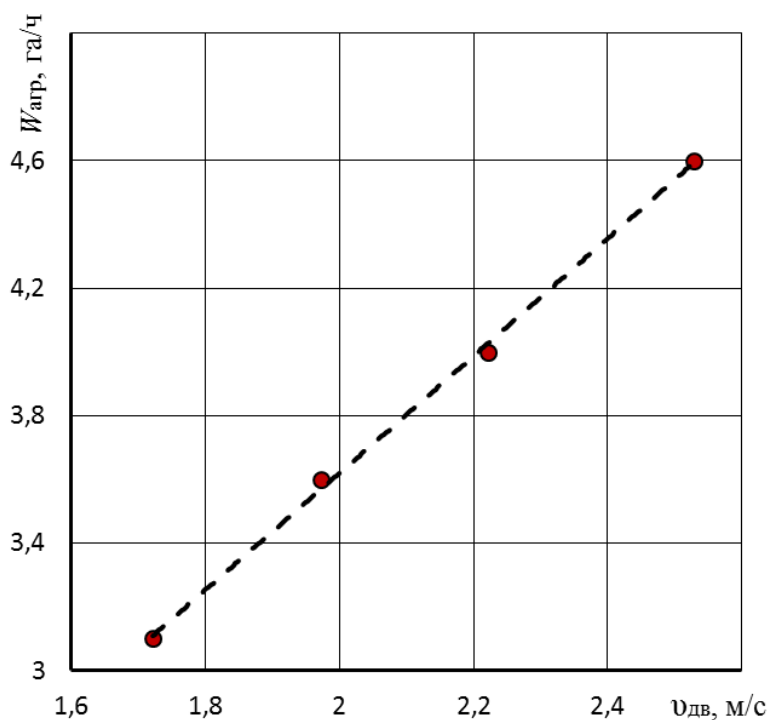


Рисунок 4.5 - Зависимость производительности  $W_{агр}$  пахотного агрегата К-701+КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения при обработке почвы на глубину 30 см

Анализ зависимости (см. рисунок 4.5) производительности  $W_{пл}$  пахотного агрегата К-701+КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения показывает, что часовая производительность изменяется линейно.

На рисунке (4.6) представлены зависимости энергоёмкости  $\mathcal{E}$  выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы выполняемого пахотным агрегатом К-701+КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения (приложение 6).

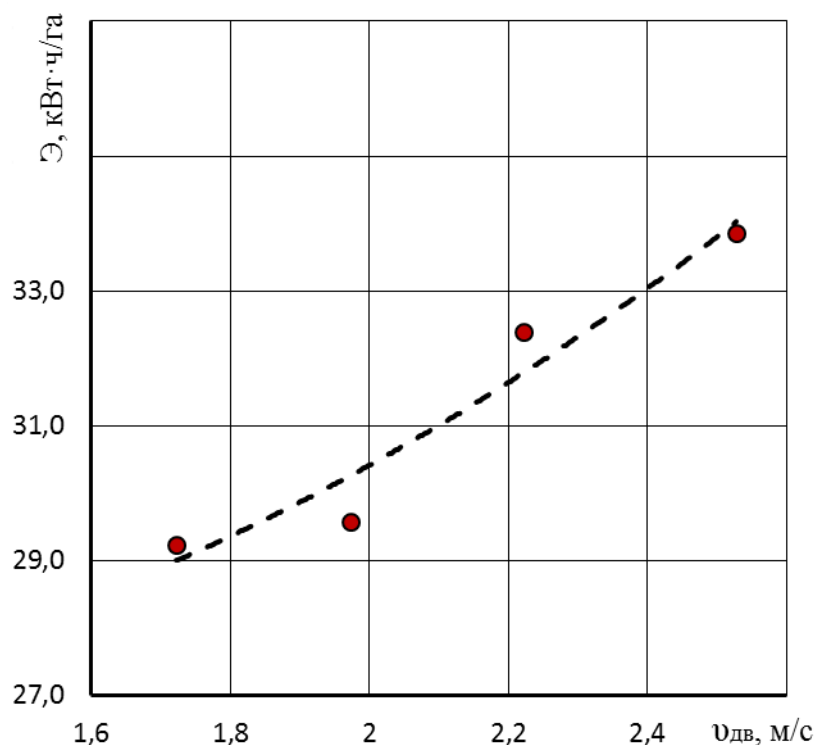


Рисунок 4.6 – Зависимость энергоёмкости  $\mathcal{E}$  выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы пахотным агрегатом К-701+КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения при установочной глубине обработки почвы 0,30 м

Анализ зависимости (см. рисунок 4.6) показывает, что энергоёмкость  $\mathcal{E}$  выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы пахотным агрегатом К-701+ КОМБИ-5 при глубине обработки 0,30 м в диапазоне изменения скоростей от 1,72–2,52 м/с изменяется нелинейно.

### 4.3. Оценка достоверности результатов теоретических и экспериментальных исследований

Оценку сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований производили по методике, изложенной в подразделе (3.5). Для проведения оценки достоверности результатов исследований выполнили сравнение результатов экспериментальных исследований (приложение 6) с результатами теоретических исследований (приложение 5).

На рисунке (4.7) представлены теоретическая и экспериментальная зависимости тягового сопротивления  $R_{пл}$  фронтального плуга-рыхлителя КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения агрегата при глубине обработки 0,30 м.

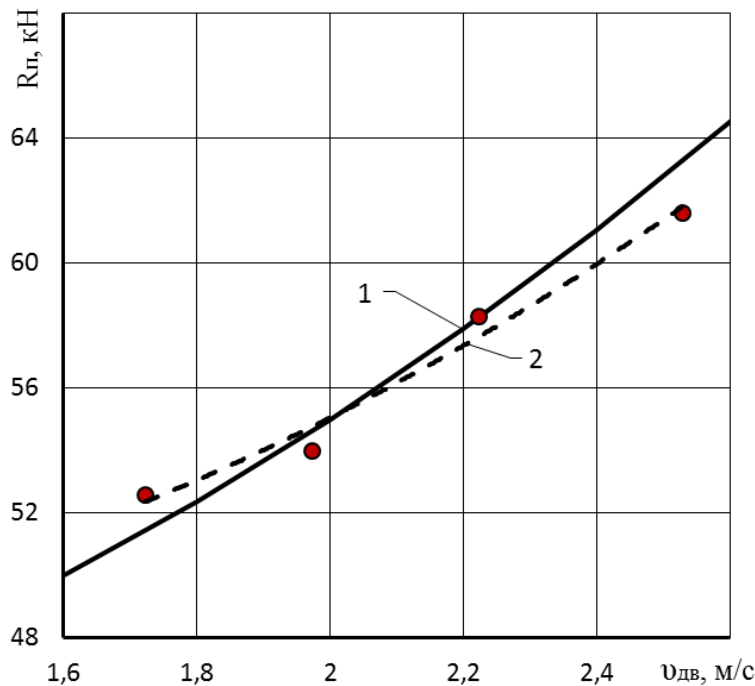


Рисунок 4.7 – Зависимости тягового сопротивления  $R_{пл}$  фронтального плуга-рыхлителя КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения агрегата при глубине обработки 0,30 м: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная.

На рисунке (4.8) представлены теоретическая (поз. 1) и экспериментальная (поз. 2) зависимости мощности  $N_{пл}$  затрачиваемой фронтальным плугом-рыхлителем КОМБИ-5 на выполнение рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы в зависимости от скорости  $v_{дв}$  движения агрегата при глубине обработки 0,30 м.

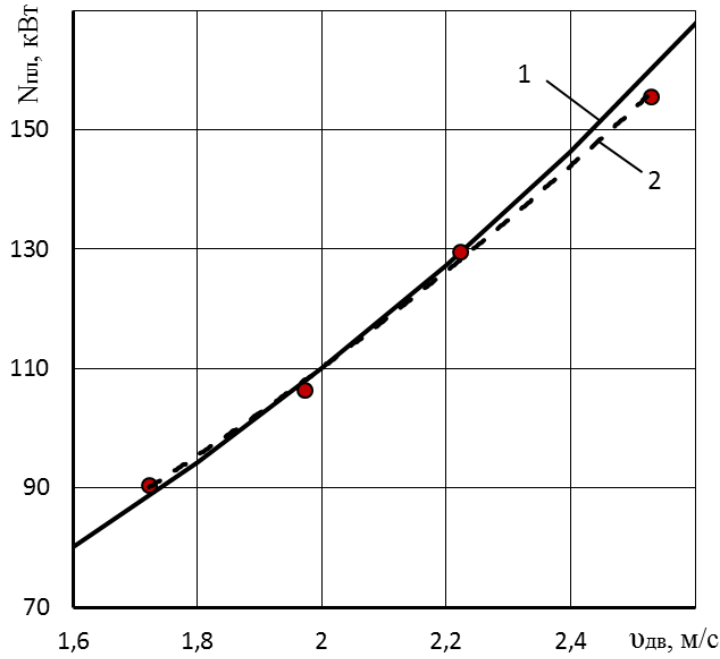


Рисунок 4.8 – Зависимости мощности  $N_{пл}$  затрачиваемой фронтальным плугом-рыхлителем КОМБИ-5 на выполнение рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы в зависимости от скорости  $v_{дв}$  движения агрегата при глубине обработки 0,30 м: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная.

На рисунке (4.9) представлена зависимость производительности  $W_{агр}$  пахотного агрегата К-701+КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения при обработке почвы на глубину 30 см.

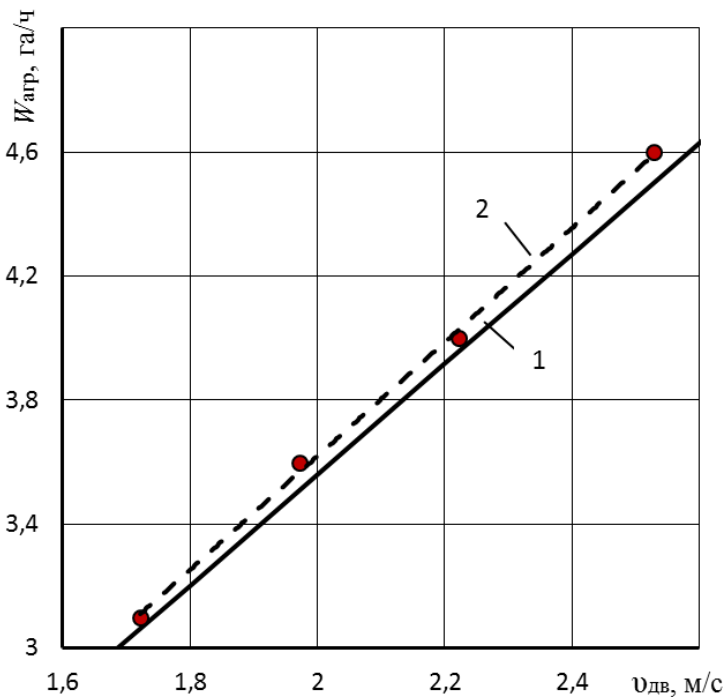


Рисунок 4.9 – Зависимость производительности  $W_{агр}$  пахотного агрегата К-701+КОМБИ-5 от скорости  $v_{дв}$  движения при обработке почвы на глубину 30 см: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная.

На рисунке (4.10) представлена зависимость энергоемкости  $\mathcal{E}$  выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы фронтальном плугом-рыхлителем КОМБИ-5 от скорости  $v_{\text{дв}}$  движения агрегата при обработке почвы на глубину 30 см.

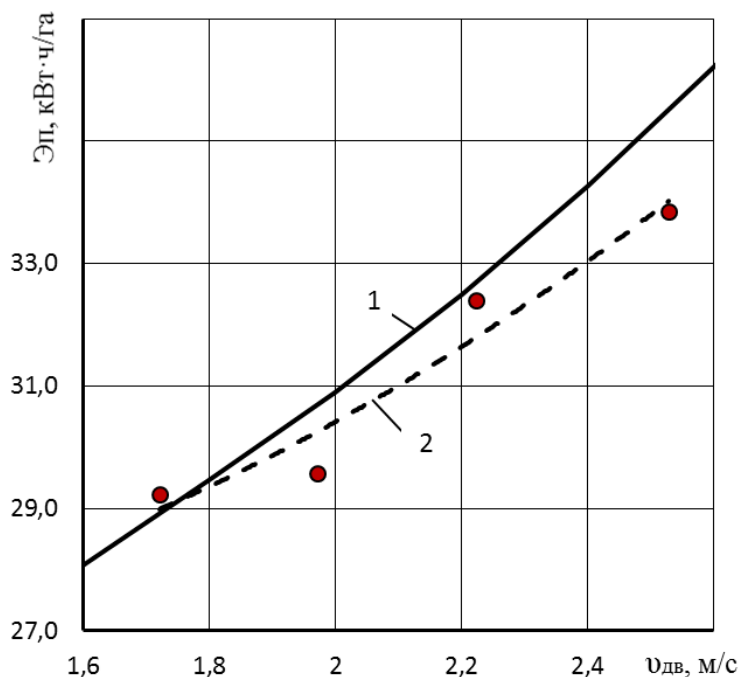


Рисунок 4.10 – Зависимость энергоемкости  $\mathcal{E}$  выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы фронтальном плугом-рыхлителем КОМБИ-5 от скорости  $v_{\text{дв}}$  движения агрегата при обработке почвы на глубину 30 см: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная.

Анализ закономерностей изменения теоретических зависимостей тягового сопротивления и энергозатрат с высокой вероятностью совпадают с экспериментальными зависимостями, а закономерность изменения зависимостей на основании критерия  $\chi^2$  согласуется с доверительной вероятностью 0,95.

## Выводы

1. Исследования экспериментального фронтального плуга-рыхлителя КОМБИ-5 агрегируемого с трактором тягового класса 5 модели К-701 в

лабораторно-полевых условиях показали, что качественные показатели технологического процесса глубины обработки почвы и скорости движения пахотного агрегата полностью соответствуют АТТ, предъявляемым к основной безотвальной обработке почвы. При глубине обработки 0,30 м получено тяговое сопротивление 52,6-61,2 кН при скорости движения 1,72 – 2,52 м/с соответственно, загрузка агрегата достигала значения 90%.

2. Полученные результаты при определении тягового сопротивления, затрачиваемой мощности, производительности и энергоемкости технологического процесса, выполняемого фронтальным плугом-рыхлителем КОМБИ-5, показали, что изменение теоретических и экспериментальных зависимостей совпадает с высокой вероятностью, при этом доверительная вероятность составляет 0,95.

## 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАВЕСНОГО ФРОНТАЛЬНОГО ПЛУГА-РЫХЛИТЕЛЯ ПБФР-5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПБФР-5 АГРЕГАТИРУЕМОГО С ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАССА 5

### 5.1. Исследование эффективности применения навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 в хозяйствах Самарской области

Исследования и испытания плуга-рыхлителя ПБФР-5 проводились на полях хозяйств Поволжской НИИСС Кинельского района и ООО «Спецхоз» Похвистневского района Самарской области в 2014 г.

Условия испытаний характеризовались как экстремальные по влажности и твердости. Влажность почвы на полях Поволжской НИИСС не превышала 14,7 %. При этом твердость составляла – 2,1...4,8 МПа и была выше требуемой (до 4 МПа) [112]. На полях ООО «Спецхоз» влажность почвы составляла 15,4...21,5 %, при этом твердость – 2,2...4,4 МПа.

Навесной плуг-рыхлитель ПБФР-5 агрегатировался с тракторами К-701 и John Deere 8295R. Результаты исследований пахотных агрегатов представлены в таблице 5.1.

**Таблица 5.1 – Эксплуатационно-технологические показатели пахотных агрегатов**

Показатель	Значение показателя	
	Поволжской НИИСС (фон 1)	ООО «Спецхоз» (фон 1)
Состав агрегата	К-701+ПБФР-5	John Deere 8295R +ПБФР-5
Скорость движения, м/с	1,92	1,86
Ширина захвата, м	5,0	5,0
Глубина обработки рабочими органами, см:		
- рыхлительными	29,5	32,5
- чизельными	29,2	33,0
Крошение почвы, размер комков до 50 мм	55,8	55,8
Сохранение стерни, %	48,3	49,7
Производительность за 1 ч га:		
- основного времени	3,45	3,35
- сменного времени	2,70	2,66
- эксплуатационного времени	2,70	2,66



Окончание таблицы 5.1

Удельный расход топлива за время сменной работы, кг/га	14,75	14,47
Коэффициент надежности технологического процесса	0,99	0,99
Забивание и залипание рабочих органов	Не наблюдалось	

Анализ таблицы (5.1) показывает, что средняя рабочая скорость агрегата на фоне 1 составляла 1,91 м/с, а на фоне 2 – 1,86 км/ч. При этом производительность за 1 час основного времени составляла 3,45 и 3,35 га соответственно. Агрегат надежно выполнял технологический процесс. Коэффициент надежности получен равным 0,99. Удельный расход топлива на фоне 1 составил 14,75 кг/га, а на фоне 2 – 14,47 кг/га.

На основании изложенного, можно заключить, что навесной фронтальной плуг-рыхлитель ПБФР-5 имеет высокие эксплуатационно-технологические показатели работы. При испытаниях в хозяйствах Поволжской НИИСС и ООО «Спецхоз» плугом-рыхлителем ПБФР-5, в целом, было обработано 370 га пашни. В этом же году плуг-рыхлитель ПБФР-5 под маркой КОМБИ-5 был представлен на 14 Поволжской агропромышленной выставке (г. Самара), где был удостоен дипломом и золотой медалью (приложение 7).

## **5.2 Применение навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 на основной обработке почвы в хозяйствах Саратовской области**

Хозяйственные исследования и испытания навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 проводились в 2013-2016 гг. на полях хозяйств: УНПО «Поволжье» Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова (с. Степное, Энгельсский район, Саратовская область) и АО «Агрофирма «Волга»» (с. Звонаревка, Марковский район, Саратовская область).

В июле 2013 г. были проведены предварительные испытания фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 в УНПО «Поволжье» Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова. Опытный образец был изготовлен на ОАО «Орбита-М» Энгельсского района Саратовской области. Опытный образец агрегатировался с трактором К-701 (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Пахотный агрегат, состоящий из трактора К-701 и навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5

Испытания проводились на поле после уборки озимой ржи. Почва – чернозем среднесуглистый. Влажность почвы находилась в пределах 21,3-24,6 %, при этом твердость почвы составляла – 1,9...2,5 МПа. Установленная глубина обработки почвы составляла 30 см. В результате испытаний было установлено:

- Агрегат, состоящий из трактора К-701 и фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 устойчиво работал на передачах трактора 2/2 и 3/2 (2,3-2,9 м/с), при этом глубина обработки составляла 29,1 и 28,6 см соответственно.

- Плуг-рыхлитель ПБФР-5 хорошо заглублялся в почву (путь заглубления 2-4 м) и копировал рельеф поля.

- При работе плуга-рыхлителя ПБФР-5, было установлено, что он интенсивно крошит почву с перемешиванием на поверхности поля раскрошенной почвы и стерни, образуя мульчирующий слой. Сохранность стерни составляло 35-40 %, а крошение находилось в пределах 74-82 %.

- А также, было установлено, что для снижения забиваемости стоек рабочих органов 3 и 4 ряда плуга-рыхлителя почвой и растительными остатками, необходимо изменить их форму.

В августе 2013 г. на полях АО «Агрофирма «Волга»» проводились испытания плуга-рыхлителя ПБФР-5. Почва по механическому составу –

темно-каштановая, суглинистая. Влажность почвы по горизонту 0-30 см составляла 18,2-22,5 %, при этом твердость почвы находилась в пределах 2,4-3,7 МПа. Фон – стерня озимой пшеницы высотой до 25 см. Плуга-рыхлитель ПБФР-5 агрегатировался с трактором К-701 (рисунок 5.2 и 5.3).



Рисунок 5.2 – Пахотный агрегат, состоящий из трактора К-701+ПБФР-5



Рисунок 5.3 – Поле, обработанное пахотным агрегатом К-701+ПБФР-5

Обработка проводилась на глубину 29,2 см, при этом скорость движения составляла 2,78 м/с. Поверхность поля после обработки была выровненная (см. рисунок 5.3). Плуг хорошо копировал рельеф местности. На поверхности поля был образован мульчирующий слой, состоящий из стерни и раскрошенной почвы. За время испытаний производительность пахотного агрегата составляла 3,1-3,6 га/ч при расходе топлива 13-16 кг/га.

Всего за период с 2014-2016 гг. в АО «Агрофирма «Волга»» навесным фронтальным плугом-рыхлителем ПБФР-5 было обработано 2600 га пашни (приложение 8). За все время работы плуга-рыхлителя ПБФР-5 было произведено 2 замены долот рабочих органов.

### **5.3 Экономическая оценка применения навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 для агрегатирования с тракторами тягового класса 5**

Методика экономической оценки навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 агрегируемого с тракторами тягового класса 5 представлена в приложении (9).

#### **5.3.1 Результаты экономической оценки применения плуга-рыхлителя ПБФР-5**

Экономическая оценка навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 выполнялась на основе эксплуатационно-технологических испытаний в сравнении с известным навесным чизельным плугом ПЧ-4,5. Плуг-рыхлитель ПБФР-5 шириной захвата 5,0 м (см. рисунок 2.19) агрегатировался трактором К-701.

Исходные данные для определения экономической эффективности применения чизельного плуга ПЧ-4,5 и ПБФР-5, на основании исследований, проведенных в главах 1, 2 и 5, представлены в таблице 5.2.

**Таблица 5.2 - Исходные данные для определения экономической эффективности применения ПБФР-5**

Наименование показателя	Значение показателя	
	К-701+ ПЧ-4,5	К-701+ ПБФР-5
Скорость движения агрегата, м/с	2,22	2,3
Глубина обработки, м	0,30	0,30
Ширина захвата орудия, м	4,5	4,97
Коэффициент использования мощности двигателя	0,79	0,79
Коэффициент использования времени смены	0,85	0,85

На основании методики экономической оценки ПБФР-5 агрегируемого с тракторами тягового класса 5, согласно ОСТ 10 2.18-2001. «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки» [101] и рекомендаций [104] (см. приложение 9), и таблицы 5.2, с использованием персонального компьютера в программе Microsoft Office Excel, был произведен расчет экономической эффективности применения ПБФР-5 в сравнении с чизельным плугом ПЧ-4,5 (приложение 10). Расчет экономической эффективности был выполнен в ценах 2016 г., основные показатели экономической эффективности применения плуга-рыхлителя ПБФР-5 в сравнении с чизельным плугом ПЧ-4,5 приведены в таблице 5.3.

**Таблица 5.3 – Основные показатели экономической эффективности применения плуга-рыхлителя ПБФР-5 в сравнении с известным чизельным плугом ПЧ-4,5**

Наименование показателя	Значение показателя	
	К-701+ ПЧ-4,5	К-701+ ПБФР-5
Производительность, га/ч	3,06	3,5
Затраты труда, чел. ч/га	0,33	0,29
Снижение затрат труда, %	-	12,1
Себестоимость работ, руб/га	1027,19	863,04
Снижение себестоимости работ, %	-	16,0
Годовая экономия затрат, руб	-	287263
Срок окупаемости ПБФР-5, год	-	1,3

Анализ таблицы 5.3 показывает, что степень снижения затрат труда по плугу-рыхлителю ПБФР-5 в сравнении с чизельным плугом ПЧ-4,5 составила

12,1 % за счет более высокой эксплуатационной производительности пахотного агрегата с трактором тягового класса 5 (К-701). При это себестоимость основной безотвальной обработки почвы новым фронтальным плугом-рыхлителем на 16,0 % ниже, чем чизельным плугом ПЧ-4,5. Разница в полных затратах средств способствовала получению годового приведенного экономического эффекта для ПБФР-5 в размере 287263 рубля. Срок окупаемости нового плуга-рыхлителя ПБФР-5 составляет 1,3 года.

### **Выводы**

Исследования эффективности применения нового навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5, проводимых на полях хозяйств Поволжской НИИСС и ООО «Спецхоз», показали, что ПБФР-5, агрегируемый с трактором К-701 и John Deere 8295R, обеспечивает часовую производительность 3,35-3,45 га/ч при расходе топлива 14,47-14,75 кг/га было обработано 370 га пашни, что подтверждает высокую эффективность предлагаемого почвообрабатывающего орудия.

Плуг-рыхлитель ПБФР-5 использовался для основной безотвальной обработки почвы в Энгельском и Марксовский районах Саратовской области. В 2014-2016 гг. в АО «Агрофирма «Волга»» плугом-рыхлителем ПБФР-5 было обработано 2600 га пашни с высокими агротехническими и эксплуатационно-технологическими показателями.

Себестоимость основной безотвальной обработки почвы навесным фронтальным плугом-рыхлителем ПБФР-5, агрегируемого с тракторами тягового класса 5, на 16,0 % ниже, чем чизельным плугом ПЧ-4,5.

При этом годовой экономический эффект от внедрения плуга-рыхлителя ПБФР-5 составил 287263 рубля. В итоге, можно заключить, что для получения высоких эксплуатационно-технологических показателей работы пахотного агрегата, состоящего из трактора тягового класса 5 российского или зарубежного производства, необходимо иметь навесной фронтальный плуг-рыхлитель ПБФР-5 с шириной захвата 5,0 м.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ тракторов мощностью 200-400 кВт и почвообрабатывающих орудий для основной безотвальной обработки почвы показал, что тракторы значительно отличаются по массе, мощности и крюковому усилию, а известные почвообрабатывающие орудия имеют различную конструкцию, кинематическую длину и тяговое сопротивление. Установлено, что большинство тракторов входящих в диапазон мощностей 200-400 кВт относятся к тяговому классу 5 с крюковым усилием 45-54 кН. Для агрегатирования с этими тракторами на базе разработанного технологического процесса основной безотвальной обработки почвы и чизельных рабочих органов, выполняющих блокированное, полублокированное и свободное резание, обоснована конструктивно-технологическая схема навесного фронтального плуга-рыхлителя. Для эффективной работы этих тракторов на заданной скорости движения необходимо, чтобы крюковое усилие трактора соответствовало тяговому сопротивлению почвообрабатывающего орудия.

2. Разработанный рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы включает: крошение обрабатываемого слоя почвы с образованием щелей; мульчирующий слой на дневной поверхности поля, состоящий из раскрошенной почвы и не зерновой части урожая; разуплотнение «плужной подошвы». Этот процесс реализуется чизельными рабочими органами, расположенными в четыре ряда с определенным расстоянием между рядами и рабочими органами. Установлено, что чизельный рабочий орган в зависимости от расположения его в ряду выполняет блокированное (тяговое сопротивление 100 %), полублокированное (тяговое сопротивление 60-70 %) и свободное (тяговое сопротивление 40-50 %) резание.

3. На базе рационального технологического процесса, аналитических и эмпирических выражений разработаны две принципиальные схемы навесных

фронтальных плугов-рыхлителей с шириной захвата 4,97 и 5,95 м для агрегатирования с тракторами тягового класса 5.

4. Используя принципиальную схему плуга-рыхлителя шириной захвата 4,97 м, которая является оптимальной для тракторов тягового класса 5, была разработана конструктивно-технологическая схема навесного фронтального плуга-рыхлителя, состоящего из рамы, двух опорных колес с механизмом регулирования глубины обработки почвы и пятнадцати чизельных рабочих органов, расположенных на раме в четыре ряда с расстоянием между рядами 0,5 м, при этом расстояние между рабочими органами составляет 0,35 м. Длина долота чизельного рабочего органа составляет 0,31 м; ширина долота 0,07 м; угол постановки долота ко дну обрабатываемого пахотного слоя  $27^\circ$ .

5. Теоретически определено, что пахотный агрегат, состоящий из трактора К-701 и плуга-рыхлителя ПБФР-5 с шириной захвата 5 м, на допустимой по агротехническим требованиям скорости 2,3 м/с и полной загрузке трактора достигает максимальную часовую производительность 4,1 га/ч, при этом энергоемкость процесса обработки почвы составляет 33 кВтч/га.

6. Экспериментальными исследованиями технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого разработанным плугом-рыхлителем, установлено, что показатели качества безотвальной обработки почвы полностью соответствуют агротехническим требованиям, при этом происходит разуплотнение «плужной подошвы». Закономерности изменения тягового сопротивления плуга-рыхлителя, производительности и энергозатрат пахотного агрегата с высокой вероятностью совпадают с экспериментальными зависимостями, и на основании критерия  $\chi^2$  согласуются с доверительной вероятностью 0,95.

7. Исследования эффективности применения плуга-рыхлителя ПБФР-5 с тракторами К-701 и John Deere 8295R в хозяйственных условиях показали, что при обработке почвы, находящейся в экстремальных условиях (влажность не превышала 14,7 %, а твердость составляла 2,1-4,8 МПа), при глубине



обработке 29,5 и 32,5 см агрегаты обеспечивают производительность 3,45 и 3,35 га/ч, удельный расход дизельного топлива 14,75 и 14,47 кг/га. При обработке почвы отвечающей АТТ агрегатом К-701+ ПБФР-5 сохранность стерни составляла 35-40 %, крошение почвы находилась в пределах 74-82 %, производительность пахотного агрегата составляла 3,1-3,7 га/ч, расход топлива 13-16 кг/га. Себестоимость обработки почвы по сравнению с известным чизельным плугом ПЧ-4,5 ниже на 16,0 %. Годовой экономический эффект от применения предлагаемого плуга-рыхлителя ПБФР-5 составляет 287263 рубля.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сборник агротехнических требований на сельскохозяйственные машины / ЦНИИТЭИ. – М., 1981. Т. 27. – 295 с.
2. Сборник агротехнических требований на сельскохозяйственные машины / ЦНИИТЭИ. – М., 1983. Т. 39. – 253 с.
3. СТО АИСТ 104.6–2003. Стандарт организации. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения. Общие требования. – Режим доступа: [mcsx.ru>documents/file\\_document/v7\\_show/...](http://mcsx.ru/documents/file_document/v7_show/...)
4. Панов И.М. Современное состояние и перспективы развития почвообрабатывающих и посевных машин // Исследования и разработка почвообрабатывающих и посевных машин: сб. науч. тр. – М.: ВИСХОМ, 1988. – С. 3-6
5. Кряжнов В.М., Спиринов А.П., Сизов О.А. Энергосберегающие технологии в земледелии. – М.: Информагротех, 1998. – 36 с.
6. Лобачевский Я.П. Современные почвообрабатывающие технологии. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 1999. – 39 с.
7. Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники: науч. издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 416 с.
8. Буряков А.Т. Перспективные машины и технологии – основа высокоэффективного сельскохозяйственного производства / А.Т. Буряков, В.Г. Просвирин // Земледелие, 2001. - №1. – С. 2-4.
9. Анискин В.И. Научные основы перспективного технического обеспечения устойчивого производства зерна в засушливых условиях / Научные труды ВИМ. – М., 2000. – Т. 13. – С. 26-32.
10. История тракторостроения Кировского завода [Электронный ресурс]. Петербургский тракторный завод / История. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://kirovets-ptz.com/rus/s/20/istoriya.html>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

11. Трактор «Кировец»: история и современность [Электронный ресурс]. Кировский завод / Производство / Сельскохозяйственное и промышленное машиностроение. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: [http://kzgroup.ru/rus/m/1957/traktor\\_kirowets:istoriya\\_i\\_sowremennosty.html](http://kzgroup.ru/rus/m/1957/traktor_kirowets:istoriya_i_sowremennosty.html). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ., нем.

12. Кировец серии К-744Р [Электронный ресурс]. Петербургский тракторный завод / Продукция / Сельскохозяйственные тракторы. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: [http://kirovets-ptz.com/rus/catitem/1/kirowets\\_serii\\_k-744r.html](http://kirovets-ptz.com/rus/catitem/1/kirowets_serii_k-744r.html). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

13. Трактор «Кировец» К-701, К-700А, К-700, К-744: "Техническое описание и инструкция по эксплуатации" [Электронный ресурс]. Кировец.ру / Статьи и инструкции. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: [http://www.kirovets.ru/articles/\\_s20.html](http://www.kirovets.ru/articles/_s20.html). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

14. О холдинге «МТЗ-ХОЛДИНГ» [Электронный ресурс]. ОАО «Минский тракторный завод». – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/company/>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ., франц., нем., исп., португ.

15. Руководства по эксплуатации [Электронный ресурс]. ОАО «Минский тракторный завод» / Сервис и запчасти. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/en/service/operation-manual/>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ., франц., нем., исп., португ.

16. О Нас [Электронный ресурс]. ЗАО «Агротехмаш». – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://terrion.ru/about>. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

17. TERRION АТМ 5280 [Электронный ресурс]. ЗАО «Агротехмаш» / Техника / Тракторы. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://terrion.ru/tehnika/product/atm5280>. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

18. TERRION АТМ 7360 [Электронный ресурс]. ЗАО «Агротехмаш» / Техника / Тракторы. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://terrion.ru/tehnika/product/atm7360>. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

19. John Deere в России [Электронный ресурс]. John Deere / О компании. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: [http://www.deere.ru/ru\\_RU/our\\_company/about\\_us/john\\_deere\\_russia/john\\_deere\\_russia.page?](http://www.deere.ru/ru_RU/our_company/about_us/john_deere_russia/john_deere_russia.page?). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
20. John Deere в мире [Электронный ресурс]. John Deere / О компании. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: [http://www.deere.ru/ru\\_RU/our\\_company/about\\_us/worldwide\\_locations/worldwide\\_locations.page?](http://www.deere.ru/ru_RU/our_company/about_us/worldwide_locations/worldwide_locations.page?). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. и др.
21. Тракторы John Deere серии 8R [Электронный ресурс]. John Deere / Продукция / Тракторы. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: [http://www.deere.ru/ru\\_RU/products/equipment/tractors/8r\\_series/8r\\_series\\_cis.page?](http://www.deere.ru/ru_RU/products/equipment/tractors/8r_series/8r_series_cis.page?). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. и др.
22. О New Holland [Электронный ресурс]. New Holland Agriculture. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://agriculture1.newholland.com/apac/ru/o-kompanii/new-holland>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. и др.
23. New Holland в мире [Электронный ресурс]. New Holland Agriculture / О New Holland. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://agriculture1.newholland.com/apac/ru/o-kompanii/new-holland/new-holland-y-mire>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. и др.
24. New Holland T8 [Электронный ресурс]. New Holland Agriculture / Продукция / Сельскохозяйственные тракторы. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://agriculture1.newholland.com/apac/ru/produkcija/produkty/sel-skohozjajstvennye-traktory/t8>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. и др.
25. New Holland T9 [Электронный ресурс]. New Holland Agriculture / Продукция / Сельскохозяйственные тракторы. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://agriculture1.newholland.com/apac/ru/produkcija/produkty/sel-skohozjajstvennye-traktory/t9>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. и др.
26. О компании Case IH [Электронный ресурс]. Case IH Agriculture. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <https://www.caseih.com/apac/ru-mo/about-case-ih>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. и др.

27. О компании [Электронный ресурс]. Ростсельмаш / Наша компания. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <https://rostselmash.com/company/about/>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

28. Тракторы серии 4WD (395-620 л.с.) [Электронный ресурс]. Ростсельмаш / Продукция / Тракторы. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: [https://rostselmash.com/products/tractors/4WD\\_395\\_620/](https://rostselmash.com/products/tractors/4WD_395_620/). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

29. Трактор Versatile 2375 от Ростсельмаш: новый вектор развития [Электронный ресурс]. Agro2b.ru / Компании / Производители техники. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: <http://agro2b.ru/ru/news/37402-tractor-versatile-2375-rostselmash-novyj-vektor.html>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

30. «Ростсельмаш» перевёл в Ростов производство канадского трактора [Электронный ресурс]. АГРОВЕСТНИК / Новости предприятий. – Электрон. дан., 2017. – Режим доступа: [https://agrovesti.net/novosti\\_predpriyatij/rostselmash\\_perevel\\_v\\_rostov\\_proizvodstvo\\_kanadskogo\\_traktora.html](https://agrovesti.net/novosti_predpriyatij/rostselmash_perevel_v_rostov_proizvodstvo_kanadskogo_traktora.html). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

31. Плишкин А.А., Блонштейн Э.В. Комплексная защита почв от ветровой эрозии. – М.: Колос, 1976. – 183 с.

32. Краснощеков Н.В. Машины для защиты почв от ветровой эрозии. – М: Россельхозиздат, 1972. – 224 с.

33. Кузьмин Г.П., Спирин А.П. Новые почвозащитные машины // Земледелие. - 1994. - №11. – С. 53-56.

34. Чмиль А.Н., Селезнев А.А., Кенжебекова Н.Д. Глубокое рыхление почвы в Северном Казахстане // Земледелие. - 1992. - №11-12. - С. 21-22.

35. Современные сельскохозяйственные машины и оборудование для растениеводства (конструкции и основные тенденции развития): По материалам Международного салона сельскохозяйственной техники СИМА-2001. – М.: ИНФРА-М, 2001. - С. 152.

36. Дьяков В.П. Влияние параметров скоростных рабочих органов на качество обработки почвы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1987. - №3. - С. 19-21.

37. Еськов А.И., Пликутин Н.Г., Скобликов В.Ф. Технология мелиорации и машины для обработки солонцовых почв // Земледелие. - 1991. - №11. - С. 56-58.
38. Кушнарев А.С. Рабочие органы для почвозащитных технологий // Механизация и электрификация с.-х. – 1984. - №5. – С. 37-39.
39. Панов И.М., Орлов Н.М. Основные пути снижения энергозатрат при обработке почвы // Тракторы и сельхозмашины. - 1987. - №8. - С. 27-30.
40. Бойков В.М., Юдкин В.В., Катрич А.И. Усовершенствованный плоскорез-глубококорыхлитель // Степные просторы. – 1987. - №8. – С. 45-46.
41. Бледных В.В., Свечников П.Г. Рабочий орган культиватора-плоскореза-глубококорыхлителя с переменным углом резания // Механизация и электрификация с.-х. – 1984. - №5. – С. 18-29.
42. Бледных В.В., Свечников П.Г. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы // Техника в сельском хозяйстве. – 1984. - №5. – С. 25-26.
43. Бойков В.М. Повышение эффективности процесса обработки почвы плоскорезом-глубококорыхлителем с регулируемой шириной захвата // Дис. ... канд. тех. наук. - Саратов, 1987. – 172 с.
44. Юдкин В.В., Бойков В.М. Плоскорез-глубококорыхлитель с регулируемой шириной захвата // Земледелие. – 1983. - №4. - С. 15-17.
45. Юдкин В.В., Бойков В.М. Тяговое сопротивление плоскорезов-глубококорыхлителей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1984. - №5. - С. 15.
46. Огрызков Е.П., Огрызков В.Е., Кобяков И.Д. Экологическая пригодность лапы глубококорыхлителя // Тракторы и сельхозмашины. - 1992. - №8-9. – С. 22-24.
47. Огрызков Е.П., Огрызков В.Е., Кобяков И.А. Экологический аспект работы лаповых глубококорыхлителей // Техника в сельском хозяйстве. – 1993. - №5-6. – 184 с.
48. Лившиц М.В. Влияние геометрии плоскорезных орудий на качество обработки почвы // Техника в сельском хозяйстве. – 1979. - №8. – С. 15-16.

49. Ревякин Е.Л., Просвирин В.Г. Система орудий для чизельной обработки почвы // Земледелие. -1990. - №4. - С. 51-55.
50. Бойков В.М., Иванов Ю.В. Новые плуги-рыхлители ПБ-5, ПБ-9. - Саратов: Издательство СГУ, 2001. – 32 с.
51. Бойков В.М., Иванов Ю.В., Павлов А.В. Новые плуги рыхлители // Степные просторы. - 1994. - №6. - С. 23-23.
52. Кексель И.П. Опираясь на почвозащитную систему земледелия // Земледелие. - 1994. - №9. - С. 8-10.
53. Любимов А.И., Рахимов Р.С., Рахимов З.С. Эффективность плоскорезов-щелевателей // Земледелие. - 1989. - №6. - С. 56-58.
54. Поликутин Н.Г. и др. Экспериментальное исследование процессов подъема и заглубления глубокорыхлителя КПП-2.2: Сб. научн. тр. ЧИМЭСХ. – Вып. 89. – 1979. – С.143-147.
55. Рябов Е.И., Белозеров А.М., Бурыйкин С.И. Почвозащитная система земледелия на основе минимальной обработки // Земледелие. – 1992. - №1. - С. 31-35.
56. Картамышев Н.И., Посохов А.В., Бардунова И.Т. Почвозащитные технологии и система машин для районов подверженных водной эрозии // Механизация и электрификация с.-х. – 1982. - №7. – С. 4-6.
57. Кушнарев А.С. Механика почв: Задачи и состояние работ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1987. - №3. - С. 9.
58. Целуйко А.С. Резервы экономии топлива на основных полевых работах// Механизация и электрификация с.-х. – 1990. - №1. – С.7-8.
59. Гордеев А.М., Вьюгина С.И., Белокопытов В.Н. Эффективность разуплотнения // Земледелие. - 1990. - №2. - С. 34-35.
60. Жук Я.М., Рубин В.Ф. О сопротивлении почв различным деформациям: Сб. научн. исслед. раб. ВИСХОМ. – Вып.3. – 1940. – С. 35-37.
61. Иванов Н.И. Сопротивление материалов. Л.: ОГИЗ, 1942. – 646 с.
62. Бойков В.М., Аникин А.А., Елютин С.Б. и др. Саратовский чизель / В.М. Бойков, А.А. Аникин, С.Б. Елютин, В.Я. Паравин // Степные просторы. – 1987. - №4. - С. 41.

63. Тряпицин Д.А. Чизельные орудия с наклонными стойками рабочих органов / Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение: Экспрессинформ. - М.: ЦНИИТЭИ, 1986. - Вып. 12. – 7 с.

64. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Госстройиздат, 1951. – 528 с.

65. Грибановский А.П., Бидлингмайер Р.В. Комплекс противоэрозионных машин (теория, проектирование). - Алма-Ата: Кайнар, 1990. – 256 с.

66. Бурченко П.Н. Основные технологические параметры почвообрабатывающих машин нового поколения: Сб. научн. тр. ВНИИМСХ. – М., 1989. - Том 120. – С. 12-27.

67. Сельскохозяйственная техника / Каталог. - Том I. - М.: Информагротех, 1991. –364 с.

68. Тряпицын Д.А. Эффективность применения орудий типа «Параплау» при минимальной обработке почвы // Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение: Экспрессинформ. – М.: ЦНИИТЭИ, 1986. – Вып. 12. – 22 с.

69. Иванов Ю.В. Совершенствование технологического процесса основной безотвальной обработки почвы // Дис. ... канд. тех. наук. - Саратов, 2002. – 138 с.

70. Горячкин В.П. Собрание сочинений. – изд. II. Том II. – М.: Колос, 1968. – 455 с.

71. Яковлев В.Х. Основная обработка солонцов // Земледелие. – 1984. - №5. - С. 30-31.

72. Уфаев А.Г. Повышение эффективности технологии основной обработки почвы совершенствованием рабочих органов плугов общего назначения // Диссер. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Саратов, 2008. – 163 с.

73. Антонец С.С. Новое в бесплужной обработке почвы// Земледелие. - 1989. - №1. - С. 38-40.

74. Петров В.А. Совершенствование технологического процесса мелкой мульчирующей обработки почвы путём разработки нового почвообрабатывающего орудия с комбинированными рабочими органами // Диссер. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Саратов, 2009. – 174 с.



75. Нестеров Е.С. Разработка комбинированного технологического процесса и почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы // Диссер. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Саратов, 2011. – 149 с.

76. Чернышкин В.В. Совершенствование технологического процесса и почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы // Диссер. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Саратов, 2013. – 153 с.

77. Окас К. Анализ результатов работы почвообрабатывающих орудий ПБК-5,4, ПБК-4,8 (Ч) и КОМБИ-6 / В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, К. Окас // Научная мысль: XXIX Международный научно-технический семинар имени Михайлова В.В. «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники». – Саратов: ООО «Амирит», 2016. – №5. – С. 70-79

78. Окас К. Оценка эффективности применения почвообрабатывающего орудия ПБК-4,8 (Ч) / В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, О.В. Саяпин, К. Окас // Материалы межд. науч. конф., посвящённой 75-летию со дня рождения проф. Рыбалко А.Г. Под. ред. Дёмина Е.Е. – Саратов: Издательство «КУБиК», 2011. – С. 15-19.

79. Окас К. Почвообрабатывающее орудие ПБК-4,8 (Ч) / В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, О.В. Саяпин, К. Окас // Материалы межд. науч. конф., посвящённой 75-летию со дня рождения проф. Рыбалко А.Г. Под. ред. Дёмина Е.Е. – Саратов: Издательство «КУБиК», 2011. – С. 19-22.

80. Окас К. Конструктивно-технологическая схема почвообрабатывающего орудия ПБК-4,8 (Ч) / В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, К. Окас // Основы рационального природопользования: Материалы V международной научно-практической конференции. Под общ. ред. В.В. Афолина. – Саратов: ООО Издательский центр «Наука», 2016. – С. 293-297.

81. Окас К. Энергетические показатели работы почвообрабатывающего орудия ПБК-5,4 / В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, К. Окас // Основы рационального природопользования: Материалы V международной научно-практической конференции. Под общ. ред. В.В. Афолина. – Саратов: ООО Издательский центр «Наука», 2016. – С. 311-313.

82. Окас К. Почвообрабатывающее орудие КОМБИ-6 и его использование / В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, К. Окас // Основы рационального природопользования: Материалы V международной научно-практической конференции. Под общ. ред. В.В. Афонина. – Саратов: ООО Издательский центр «Наука», 2016. – С. 318-321.

83. Окас К. Анализ исследований технологического процесса основной обработки почвы орудия КОМБИ-6 / В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, К. Окас // Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию профессора Рыбалко А.Г. - Саратов: ООО «ЦеСАин», 2016. – С. 41-48.

84. ГОСТ 27021-86 «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы». – Режим доступа: <http://gostrf.com/normadata/1/4294827/4294827535.pdf>

85. Старцев С.В. Повышение эффективности использования пахотных агрегатов. – Саратов, 2003. – 144 с.

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

87. Окас К. Обоснование кинематической длины фронтального плуга-рыхлителя / В.М. Бойков, С.В. Старцев, А.В. Павлов, К. Окас // Аграрный научный журнал. – Саратов: ООО «Амирит», 2016. - №12. – С. 53-54.

88. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А.Н. Зеленин // Изд. 2-е перераб. и доп. – М., изд-во «Машиностроение», 1968. – 376 с.

89. Механизация защиты почв от водной эрозии в Нечерноземной полосе. Под. Рад. А.Т. Вагина. – Л., «Колос», 1977. – 272 с.

90. Ветров Ю.А. Расчеты сил резания и копания грунтов. Изд. Киевского университета, 1965.

91. Ветров Ю.А., Дионисьев А.И. Сопротивление горных пород резанию. Углетеххимиздат, 1951.

92. Панов И.М. Ветохин В.И. Физические основы механики почв. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.

93. Окас К. Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа / В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, С.В. Старцев, К. Окас // Научное обозрение. – Саратов: ООО «Амирит», 2017. – № 5. – С. 72-77.

94. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Под общ. ред. Г.Е. Листопада. – М., «Колос», 1976.

95. Бойков В.М. Механико-техническое обоснование эффективных способов и технических средств основной обработки почвы. Диссертация доктора технических наук. – Саратов 1998. – 370 с.

96. Кулен А., Куперс Х. Современная земледельческая механика / Пер. с англ. А.Э. Габриэляна. – М.: Агропромиздат, 1986. – 349 с.

97. Окас К. Методика определения энергетических показателей пахотного агрегата / К. Окас // Основы рационального природопользования: Материалы V международной научно-практической конференции. Под общ. ред. В.В. Афолина. – Саратов: ООО Издательский центр «Наука», 2016. – С. 290-293.

98. ГОСТ 20915–88. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. – Режим доступа: [Internet-Law.ru>gosts/gost/16633/](http://Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/).

99. ГОСТ Р52778–2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Режим доступа: [Internet-Law.ru>gosts/gost/16633/](http://Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/).

100. ГОСТ 18509–88. Метрологическое обеспечение оборудования и приборов для испытания и контроля. – Режим доступа: [Internet-Law.ru>gosts/gost/16633/](http://Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/).

101. ОСТ 10 2.18–2001. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. – Режим доступа: [Internet-Law.ru>gosts/gost/16633/](http://Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/).

102. ОСТ 10 2.2–2002. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки. – Режим доступа: [Internet-Law.ru>gosts/gost/16633/](http://Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/).

103. РТМ 10 13.001–87. Термины и определения, применяемые при агротехнической оценке сельскохозяйственной техники. – Режим доступа: [Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/](http://Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/).

104. Предприятия-изготовители и поставщики сельскохозяйственной техники в регионах России, странах СНГ и Балтии: справочник. – 3-е изд. – М.: Агропроектинвест, 2006. – 656 с.

105. ГОСТ 24057 – 88 Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машин на этапе испытаний.

106. Васильев А. В. Тензометрирование и его применение в исследовании тракторов / А.В. Васильев, Д. М. Раппопорт. – М.: Машгиз, 1963. – 340 с.

107. ГОСТ 7057-2001. Межгосударственный стандарт. Тракторы сельскохозяйственные, методы испытаний. [Электронный ресурс] Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-7057-2001>.

108. Макаров Р. А. Тензометрия в машиностроении: справочное пособие / Р. А. Макаров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.

109. ГОСТ 26677–85. Плуги общего назначения. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1986.

110. ГОСТ 11.0004–74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. – Режим доступа: [Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/](http://Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/).

111. ГОСТ 11.006–74. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. – Режим доступа: [Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/](http://Internet-Law.ru/gosts/gost/16633/).

112. Протокол № 08-111-2014 (1020202) приемочных испытаний орудия почвообрабатывающего КОМБИ-5 / Поволжская МИС. – Кинель, 2014.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

УДК 631.312

## ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЧИЗЕЛЬНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

*В. М. БОЙКОВ, Е. С. НЕСТЕРОВ, С. В. СТАРЦЕВ, К. К. ОКАС*  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»,  
г. Саратов

**Аннотация.** Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа зависит от сопротивления сдвига почвы долотом и стойкой, усилий, необходимых на подъем отделяемой массы почвы от основного почвенного массива, и усилий, затрачиваемых на преодоление силы инерции отделяемой массы почвы. На основании схем для определения площади поверхности сдвига и объема сдвигаемой почвы, силы, сдвигающей объем почвы долотом и стойкой, усилий, затрачиваемых на подъем отделяемой массы почвы от основного почвенного массива, и усилий, затрачиваемых на преодоление силы инерции, представлены математические выражения, позволяющие определять усилия, действующие на чизельный рабочий орган. В результате проведения исследований было установлено, что тяговое сопротивление чизельного рабочего органа, выполненного в виде прямолинейной вертикальной стойки, в нижней части которой закреплено долото плоской формы, изменяется в зависимости от схемы взаимодействия его с почвой. Введены следующие понятия при определении тягового сопротивления чизельного рабочего органа: заблокированное, полублокированное и свободное резание. Тяговое сопротивление чизельного рабочего при заблокированном резании составляет 100%, то есть, когда взаимодействие рабочего органа происходит с неразрушенным обрабатываемым слоем почвы. Тяговое сопротивление чизельного рабочего при полублокированном резании составляет 64–75% от тягового сопротивления при заблокированном резании. В этом случае обрабатываемый пахотный слой почвы по отношению к чизельному рабочему органу разрушен с одной стороны. При свободном резании тяговое сопротивление чизельного рабочего органа составляет 34–56% от тягового сопротивления при заблокированном резании, то есть когда рабочий орган разрушает слой почвы между двумя бороздами, находящимися на определенном расстоянии друг от друга. Получены выражения, позволяющие рассчитать значение тягового сопротивления чизельного рабочего органа в зависимости от схем взаимодействия его с почвой и скорости движения.

**Ключевые слова:** чизельный рабочий орган, долото, почва, тяговое сопротивление, напряжение сдвига почвы, плотность, заблокированное резание, полублокированное резание, свободное резание.

На основании исследований авторов [1, 2, 6–8, 10] и согласно схеме (рис. 1), тяговое сопротивление чизельного рабочего органа определяется по следующему выражению:

$$R_q = P_1 + P_2, \quad (1)$$

где  $P_1$  – сопротивление почвы разрушению по контуру долота, Н;  $P_2$  – сопротивление почвы разрушению за пределами контура долота, Н.

Если силу  $P_1$  и  $P_2$  заменить одной силой  $R_q$ , то тяговое сопротивление чизельного рабочего органа будет [8]:

$$R_q = P_c + P_n + P_v, \quad (2)$$

где  $P_c$  – усилие на преодоление сопротивления сдвигу почвы долотом и стойкой чизельного рабочего органа, Н;  $P_n$  – усилие на подъем отделяемой массы почвы от основного почвенного массива, Н;  $P_v$  – усилие, затрачиваемое на преодоление силы инерции отделяемой массы почвы, Н.

При взаимодействии чизельного рабочего органа с обрабатываемым слоем, от слоя почвы за счет сжатия будет отделяться объем почвы  $V_c$  (рис. 1), имеющий форму «раковины». Для определения поверхности сдвига объема почвы  $V_c$  допустим, что разрушение почвы происходит не по криволинейным, а по плоским поверхностям сдвига [1, 4, 7] (рис. 1).

Для определения углов сдвига объема почвы  $V_c$  в вертикально-продольной плоскости воспользуемся формулой академика В. П. Горячкина и других авторов [5, 6, 9–11]:

$$\psi_1 = 90 - (\alpha_x + \varphi + \varphi_1) / 2, \quad (3)$$

где  $\psi_1$  – угол сдвига почвы в вертикально-продольной плоскости, °;  $\alpha_x$  – угол постановки долота чизельного рабочего ко дну борозды, °;  $\varphi$  – угол трения почвы по материалу долота, °;  $\varphi_1$  – угол внутреннего трения почвы, °.

Согласно исследованиям авторов [6, 7, 10], угол сдвига почвы в поперечно-вертикальной плоскости  $\psi_2 = 45^\circ$ .

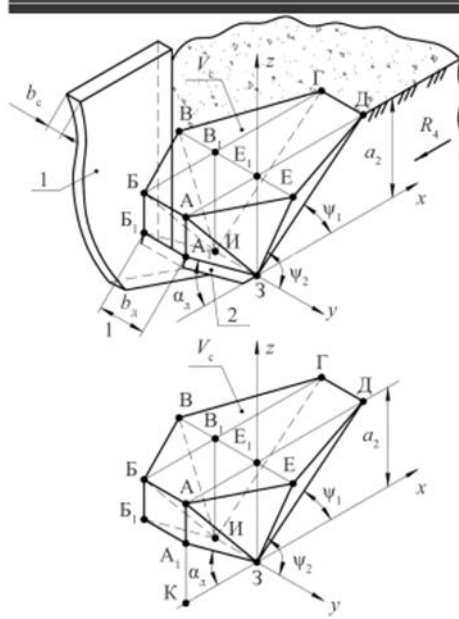


Рисунок 1. Схема для определения площади поверхности сдвига  $S_c$  и объема сдвигаемой почвы  $V_c$  чизельным рабочим органом: 1 – стойка; 2 – долото

На основании (рис. 1), площадь поверхности сдвига  $S_c$  объема почвы  $V_c$  определяется по следующему выражению [8]:

$$S_c = S_{ГДЗИ} + S_{ЕДЗ} + S_{ВГИ} + S_{АББ_1A_1} + S_{A_1B_1ИЗ} + S_{АЕЗ} + S_{БВИ} + S_{АА_1З} + S_{ББ_1И} \quad (4)$$

где  $S_{ГДЗИ}$  – площадь прямоугольника ГДЗИ,  $m^2$ ;  $S_{ЕДЗ} = S_{ВГИ}$  – площади треугольников ЕДЗ и ВГИ,  $m^2$ ;  $S_{АББ_1A_1}$  – площадь прямоугольника  $АББ_1A_1$ ,  $m^2$ ;  $S_{A_1B_1ИЗ}$  – площадь прямоугольника  $A_1B_1ИЗ$ ,  $m^2$ ;  $S_{АЕЗ} = S_{БВИ}$  – площади треугольников АЕЗ и БВИ,  $m^2$ ;  $S_{АА_1З} = S_{ББ_1И}$  – площади треугольников  $АА_1З$  и  $ББ_1И$ ,  $m^2$ .

Величина сдвигаемого объема почвы  $V_c$  определяется по следующему выражению [8]:

$$V_c = V_{ДЗЕ_1E} + V_{ГИВ_1B} + V_{ГДЗЕ_1ИВ_1} + V_{АЗЕ_1E} + V_{БВ_1B} + V_{АА_1ЗЕ_1В_1ИБ_1B} \quad (5)$$

где  $V_{ДЗЕ_1E} = V_{ГИВ_1B}$  – объемы фигур ДЗЕ<sub>1</sub>Е и ГИВ<sub>1</sub>В,  $m^3$ ;  $V_{ГДЗЕ_1ИВ_1}$  – объем фигуры ГДЗЕ<sub>1</sub>ИВ<sub>1</sub>,  $m^3$ ;  $V_{АЗЕ_1E} = V_{БВ_1B}$  – объемы фигур АЗЕ<sub>1</sub>Е и БВ<sub>1</sub>В,  $m^3$ ;  $V_{АА_1ЗЕ_1В_1ИБ_1B}$  – объем фигуры  $АА_1ЗЕ_1В_1ИБ_1B$ ,  $m^3$ .

Согласно [1, 4, 6, 9], для разрушения почвы сдвигом необходимо, чтобы усилие сдви-

га преодолевало силу сцепления почвенных частиц в плоскости разрушения  $n-n$  и силу трения между поверхностями отделенного объема  $V_c$  и поверхностью  $n-n$  при их перемещении относительно друг друга (рис. 2).

Тогда на основании закона Кулона [5] при условии, что  $\varphi_1 > \varphi$ :

$$\bar{R} = \bar{T} + \bar{N} \operatorname{tg} \varphi, \quad (6)$$

где  $\bar{T}$  – сила сцепления частиц почвы в плоскости сдвига;  $\bar{N}$  – нормальная сила, действующая на плоскость сдвига.

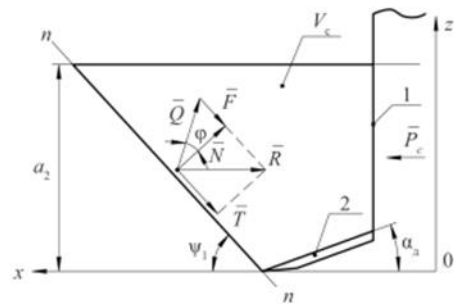


Рисунок 2. Схема для определения силы  $P_c$  сдвигающей объем почвы долотом и стойкой чизельного рабочего органа: 1 – стойка; 2 – долото;  $n-n$  – поверхность сдвига

Спроецируем силы  $\bar{T}$  и  $\bar{N} \operatorname{tg} \varphi = \bar{F}$  на направление движения рабочего органа, то есть на  $ox$ . Тогда [8]:

$$P_c = T \cos \psi_1 + N \operatorname{tg} \varphi \cos \psi_1. \quad (7)$$

Сила  $T'$ , необходимая для сдвига объема  $V_c$  почвы, определяется по следующему выражению:

$$T' = S_c \sigma_c, \quad (8)$$

где  $S_c$  – величина площади поверхности сдвигаемого объема почвы,  $m^2$ ;  $\sigma_c$  – напряжение сдвига почвы, кПа.

Принимаем, что  $T' = T$ , тогда нормальная сила, действующая на поверхность разрушения  $n-n$  определяется по следующему выражению:

$$N = T \operatorname{tg} \psi_1. \quad (9)$$

Сила трения  $F$ , возникающая от действия нормальной силы  $N$ , определяется по следующей формуле:

$$F = N \operatorname{tg} \varphi. \quad (10)$$



кг;  $a_v$  – ускорение сдвигаемого объема почвы, действующее в направлении  $v_a$  (рис. 4), м/с<sup>2</sup>.

Масса сдвигаемого объема почвы:

$$m_G = V_c \rho, \quad (25)$$

Известно, что:

$$a_v = (v_a - v_{a1})/t, \quad (26)$$

где  $v_{a1}$  – начальная абсолютная скорость сдвигаемого объема почвы, м/с;  $t$  – время, затраченное на сдвиг отделенного объема почвы при взаимодействии рабочего органа с обрабатываемым слоем почвы, с.

Принимаем  $v_{a1} = 0$ , так как в начале взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым слоем почвы сдвигаемый объем почвы еще не начинает перемещаться.

Тогда:

$$a_v = v_a/t. \quad (27)$$

Время  $t$ , затраченное на сдвиг отделенного объема почвы:

$$t = h/v_a, \quad (28)$$

где  $h$  – расстояние, на которое перемещается сдвинутый объем почвы в вертикальном направлении, м.

Расстояние  $h$  (рис. 4), на которое перемещается сдвинутый объем почвы в вертикальном направлении:

$$h = l_x \sin \alpha_x, \quad (29)$$

где  $l_x$  – длина долота чизельного рабочего органа, м;  $\alpha_x$  – угол постановки долота ко дну борозды, °.

Тогда:

$$t = l_x \sin \alpha_x / (2v \sin(\alpha_x/2)). \quad (30)$$

Подставим (23; 28) в (27) и получим:

$$a_v = 4v^2 \sin^2(\alpha_x/2) / (l_x \sin \alpha_x). \quad (31)$$

Подставим (31) в (24) и получим:

$$P_o = V_c \rho (4v^2 \sin^2(\beta/2) / (l_x \sin \alpha_x)). \quad (32)$$

Нормальная сила  $N_2$ , возникающая от скорости движения чизельного рабочего органа:

$$N_2 = P_o \cos(\alpha/2). \quad (33)$$

Равнодействующая нормальной силы  $N_2$  и силы трения  $F_2$ :

$$Q_2 = N_2 / \cos \varphi. \quad (34)$$

Для определения силы  $P_v$  спроектируем силу  $Q_2$  на направление движения  $ox$ :

$$P_v = Q_2 \cos(90 - (\alpha_x - \varphi)), \quad (35)$$

или

$$P_v = Q_2 \sin(\alpha_x + \varphi). \quad (36)$$

Тогда:

$$P_o = V_c \rho \left[ (4v^2 \sin^2(\alpha_x/2) / (l_x \sin \alpha_x)) \times \cos(\alpha_x/2) / \cos \varphi \right] \sin(\alpha_x + \varphi). \quad (37)$$

Принимаем, что:

$$k_3 = \left[ (4 \sin^2(\alpha_x/2) / \sin \alpha_x) \times \cos(\alpha_x/2) / \cos \varphi \right] \sin(\alpha_x + \varphi). \quad (38)$$

Тогда усилие, зависящее от скорости движения чизельного рабочего органа [8]:

$$P_v = V_c v^2 \rho k_3 / l_x. \quad (39)$$

Подставим выражения (14), (22) и (39) в формулу (2), получим [8]:

$$R_u = S_c \sigma_c k_1 + V_c \rho g k_2 + V_c v^2 \rho k_3 / l_x. \quad (40)$$

Анализ выражения (40) показывает, что тяговое сопротивление чизельного рабочего органа зависит от площади поверхности сдвига  $S_c$ , объема почвы  $V_c$ , сдвигаемого рабочим органом, скорости движения  $v$  рабочего органа и физико-механических свойств почвы ( $\sigma_c$  и  $\rho$ ).

Согласно [2, 6, 9], при обработке почвы чизельным рабочим органом возможны три основных схемы взаимодействия рабочего органа с почвой:

- при отсутствии открытых боковых стенок – заблокированное резание;
- при одной открытой стенке – полублокированное резание;
- при наличии двух открытых стенок – свободное резание.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что если принять при заблокированном резании тяговое сопротивление рабочего органа 100%, то при полублокированном резании оно составит 64–75%, а при свободном резании – 34–56% [2, 6].

Такая разница в величине тягового сопротивления рабочего органа в основном зависит от величины напряжений необходимых для сдвига почвы [2, 6].



Подставим формулы (8; 9) в выражение (7), получим [8]:

$$P_c = S_c \sigma_c \cos \psi_1 + S_c \sigma_c \operatorname{tg} \psi_1 \operatorname{tg} \varphi \cos \psi_1, \quad (11)$$

или

$$P_c = S_c \sigma_c \cos \psi_1 (1 + \operatorname{tg} \psi_1 \operatorname{tg} \varphi). \quad (12)$$

Принимаем, что:

$$k_1 = \cos \psi_1 (1 + \operatorname{tg} \psi_1 \operatorname{tg} \varphi). \quad (13)$$

Тогда усилие на преодоление сопротивления сдвигу почвы долотом чизельного рабочего органа:

$$P_c = S_c \sigma_c k_1. \quad (14)$$

Сила тяжести  $G$  отделяемого объема почвы  $V_c$  (рис. 3):

$$G = V_c \rho g, \quad (15)$$

где  $\rho$  – плотность почвы; кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

На основании схемы (рис. 3) величина нормальной силы  $N_1$ :

$$N_1 = G \cos \psi_1. \quad (16)$$

Величина касательной силы  $T_1$ :

$$T_1 = G \sin \psi_1. \quad (17)$$

Величина силы трения  $F_1$ :

$$F_1 = N_1 \operatorname{tg} \varphi. \quad (18)$$

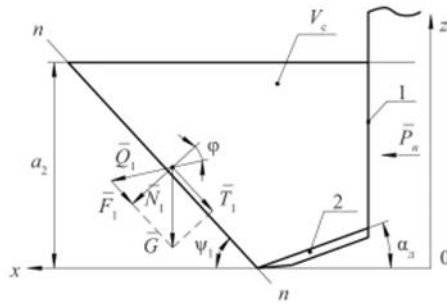


Рисунок 3. Схема для определения усилия  $P_n$ , затрачиваемого на подъем отделяемой массы почвы от основного почвенного массива

Для определения силы  $P_n$  спроецируем силы  $T_1$  и  $F_1$  на направление движения рабочего органа  $ox$ , получим [8]:

$$P_n = 0,5G \sin(2\psi_1) + G \cos^2 \psi_1 \operatorname{tg} \varphi. \quad (19)$$

Принимаем, что:

$$k_2 = 0,5 \sin(2\psi_1) + \cos^2 \psi_1 \operatorname{tg} \varphi. \quad (20)$$

Тогда усилие на подъем отделяемой массы почвы от основного почвенного массива чизельным рабочим органом [8]:

$$P_n = G k_2, \quad (21)$$

или

$$P_n = V_c \rho g k_2. \quad (22)$$

Согласно материалам исследований [1, 10], при взаимодействии чизельного рабочего органа с обрабатываемым пахотным слоем относительная скорость движения сдвигаемого объема почвы равна скорости поступательного движения рабочего органа.

Тогда согласно вышеупомянутым научным работам [1, 10] и рисунку 4, абсолютная скорость движения отделяемого объема почвы будет:

$$v_a = 2v \sin(\alpha_a / 2). \quad (23)$$

где  $v_a$  – абсолютная скорость движения отделяемого объема почвы, м/с.

На основании данных исследований [1, 10] усилие  $P_v$ , затрачиваемое на преодоление силы инерции отделяемой массы почвы, будет:

$$P_v = m_G a_v, \quad (24)$$

где  $m_G$  – масса сдвигаемого объема почвы,

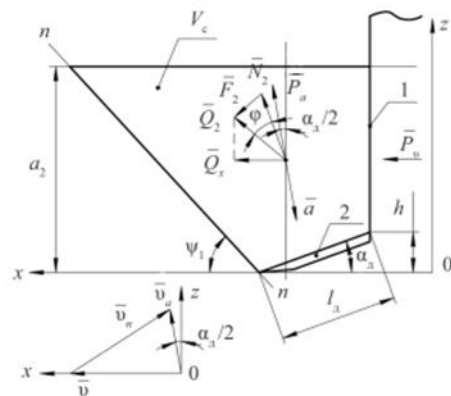


Рисунок 4. Схема для определения усилия  $P_v$ , затрачиваемого на преодоление силы инерции отделяемой массы почвы

Тогда можно допустить, что величина  $\sigma_c$  (выражение 8) в зависимости от схемы взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым слоем почвы будет определяться по следующему выражению:

$$\sigma_c = \sigma'_c k_4 \quad (41)$$

где  $\sigma'_c$  – напряжение сдвига почвы при заблокированном резании, кПа;  $k_4$  – коэффициент, определяющий схему взаимодействия рабочего органа с почвой (1 – при заблокированном резании; 0,6–0,7 – при полублокированном резании; 0,4–0,5 – при свободном резании).

Следовательно, выражение (40) примет следующий вид:

$$R_n = S_c \sigma_c k_1 k_4 + V_c \rho g k_2 + V_c v^2 \rho k_3 / l_n \quad (42)$$

Учитывая схему взаимодействия чизельного рабочего органа с обрабатываемым слоем почвы, по выражению (42) можно рассчитать его тяговое сопротивление.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бойков В. М. Повышение эффективности процесса обработки почвы плоскорезом-глубококорыхлителем с регулируемой шириной захвата : дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1987. – 172 с.
- Вагин А. Т. К вопросу взаимодействия клина с почвой. Обоснование основных параметров агрегатов для послонного внесения удобрений в почву // Вопросы сельскохозяйственной механики. Т. XI. – Минск : Урожай, 1965. – С. 134–157.
- Вайнруб В. И. Чизельные орудия для Нечерноземной зоны // Земледелие. – 1984. – № 2. – С. 23–24.
- Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами. – М. : Машиностроение, 1971. – 360 с.
- Горячкин В. П. Собрание сочинений : в 3 т. Т. 2 / под ред. Н. Д. Лучинского. – 2-е изд. – М. : Колос, 1968. – 455 с.
- Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами : монография. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1968. – 376 с.
- Механизация защиты почв от водной эрозии в Нечерноземной полосе / А. Т. Вагин, Л. В. Ларченков, А. З. Пилецкий [и др.] ; под ред. А. Т. Вагина. – Л. : Колос, 1977. – 272 с.
- Нестеров Е. С. Разработка технологического процесса и почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы : дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2011. – 197 с.
- Панов И. М., Ветохин В. И. Физические основы механики почв : монография. – Киев : Феникс, 2008. – 266 с.
- Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин : монография. – М. : Машиностроение, 1977. – 328 с.
- Соколов Н. М., Худяков В. В., Стрельцов С. Б. Теоретические и экспериментальные исследования орудий для основной обработки почвы // Вестник СГАУ им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 2. – С. 69–72.

*Бойков Василий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»: Россия, 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.*

*Нестеров Евгений Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»: Россия, 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.*

*Старцев Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»: Россия, 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.*

*Окас Кожаберген Кажимович, аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»: Россия, 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.*

Тел.: (845-2) 23-32-92  
E-mail: nesterov21@mail.ru

#### PLOWING RESISTANCE OF CHISEL WORKING TOOL

*Boykov Vasily Mikhaylovich, Dr. of Tech. Sci., Prof., Prof. of Processes and Agricultural Machinery in the AIC Department, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov, Russia.*

*Nesterov Evgeny Sergeevich, Cand. of Tech. Sci., Ass. Prof., Ass. Prof. of Processes and Agricultural Machinery in the AIC Department, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov, Russia.*

**Startsev Sergey Viktorovich**, Dr. of Tech. Sci., Prof., Prof. of Processes and Agricultural Machinery in the AIC Department, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov, Russia.

**Okas Kozhabergen Kazhimovich**, postgraduate student, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov, Russia.

**Keywords:** chisel working tool, chisel, soil, plowing resistance, soil shearing force, density, blocked cutting, half-blocked cutting, free cutting.

The plowing resistance of the chisel working tool depends on the shear strength for the chisel and stilts, the up-grade force for the divided soil mass of the basic soil body, and the force needed for doing work against inertial force of the divided soil mass. According to the determination layout for the shift surface area and the bulk of the soil, force for soil shearing with chisel and stilts, the force for the up-grade of the divided soil mass from the basic soil body, and the force needed for doing work against inertial force of the divided soil mass the authors

have provided the mathematical expressions for determining the forces acting on chisel working tool. The conducted research work resulted in the statement that plowing resistance of the chisel working tool, shaped as straight-line vertical stilt, the lower part of which has an attached flat chisel, is changing due to its pattern of interaction with soil. The article introduces the following terms for determining the plowing resistance of the chisel working tool: blocked, half-blocked and free cutting. Plowing resistance of the chisel working tool in blocked cutting mode is 100%, e.g. the interaction occurs between the working tool and undisturbed soil layer. Plowing resistance of the chisel working tool in the half-blocked cutting mode makes 64–75% of the plowing resistance in the blocked cutting mode. In this case the cultivated tith-top soil is broken from one side is related to the chisel working tool. In free cutting mode the plowing resistance of the chisel working tool makes 34–56% of the plowing resistance in blocked cutting model, e.g. the working tool. The authors have obtained expressions allowing to calculate the value of plowing resistance of the chisel working tool depending on the patterns of its interaction with soil and drive speed.

#### REFERENCES

1. Boykov V. M. Povyshenie effektivnosti protsessa obrabotki pochvy ploskorezom-glubokorykhlytelem s reguliruemoy shirinoy zakhvata [Increasing the efficiency of the tillage process with the subsurface plow with adjustable width of cut]: Cand. Diss. (Tech. Sci.). Saratov, 1987. 172 p.
2. Vagin A. T. K voprosu vzaimodeystviya klina s pochvoy. Obosnovanie osnovnykh parametrov agregatov dlya posloynnogo vnesheniya udobreniy v pochvu [On the question of wedge interaction with soil for the graded fertilizing Substantiation of the basic parameters of machinery for graded fertilizing]. *Voprosy sel'skokhozyaystvennoy mekhaniki – Issues of Agricultural Machinery*. Vol. XI. Minsk, 1965. Pp. 134–157.
3. Vaynrub V. I. Chizel'nye orudiya dlya Nechernozemnoy zony [Chisel tools for nonchernozem belt]. *Zemledelie – Agriculture*. 1984, No. 2. Pp. 23–24.
4. Vetrov Yu. A. Rezanie gruntov zemleroynymi mashinami [Cutting soil with earthmovers]. Moscow, 1971. 360 p.
5. Goryachkin V. P. *Sobranie sochineniy* [Collected works]. Edited by Luchinsky N. D. 2<sup>nd</sup> ed. Vol. 2. Moscow, 1968. 455 p.
6. Zelenin A. N. *Osnovy razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami* [Means of physical ground breaking in]; monograph. 2<sup>nd</sup> ed., rev. and ext. Moscow, 1968. 376 p.
7. Vagin A. T., Larchenkov L. V., Piletsky A. Z. [et al.]. *Mekhanizatsiya zashchity pochv ot vodnoy erozii v Nechernozemnoy poloze* [Mechanizing the soil protection against water erosion in nonchernozem belt]. Edited by Vagin A. T. Leningrad, 1977. 272 p.
8. Nesterov E. S. *Razrabotka tekhnologicheskogo protsessa i pochvoobrabatyvayushchego orudiya dlya osnovnoy obrabotki pochvy* [Development of work activity and tillage tool for the primary cultivation]: Cand. Diss. (Tech. Sci.). Saratov, 2011. 197 p.
9. Panov I. M., Vetokhin V. I. *Fizicheskie osnovy mekhaniki pochv* [Physical basis for soil mechanics]; monograph. Kiev, 2008. 266 p.
10. Sineokov G. N., Panov I. M. *Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin* [Theory and structural design of tilling machines]; monograph. Moscow, 1977. 328 p.
11. Sokolov N. M., Khudyakov V. V., Strel'tsov S. B. *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya orudiy dlya osnovnoy obrabotki pochvy* [Theoretical and experimental research of primary cultivation tools]. *Vestnik SGAU im. N. I. Vavilova – Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov*. 2007, No. 2. Pp. 69–72.

**Расчет тягового сопротивления чизельного рабочего органа  $P_{\text{ч}}$  от скорости движения  $v$  при блокированном, полублокированном и свободном резании производился на основании выражений, представленных в приложении 1**

**Таблица 1 - Исходные данные для расчета тягового сопротивления чизельного рабочего органа  $P_{\text{ч}}$  от скорости движения  $v$  [60, 65, 88, 89, 96]**

$a$ , м	0,3
$b$ , м	0,07
$l$ , м	0,31
$\varphi$	26
$\varphi_1$	39
$\psi_1$	44
$\psi_2$	45
$\alpha$	27
$g$ , м/с <sup>2</sup>	9,81
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1500
$\sigma$ , Н/м <sup>2</sup>	7000

Используя формулы (приложение 1) и разработанную на персональном компьютере вычислительную программу Microsoft Excel (табличный процессор для экономико-статистических расчетов с графическими инструментами), был произведен расчет тягового сопротивления  $P_{\text{ч}}$  чизельного рабочего органа для блокированного, полублокированного и свободного резания.

## Окончание приложения 2

**Таблица 2 – Результаты расчетов тягового сопротивления  $P_{ч}$  чизельного рабочего органа для заблокированного, полублокированного и свободного резания**

$v$ , м/с	$P_{ч}$ (блокир.), кН	$P_{ч}$ (полублокир.), Н	$P_{ч}$ (свобод.), Н
0,8	3,72	2,64	2,02
1	3,80	2,72	2,10
1,2	3,90	2,82	2,20
1,4	4,02	2,94	2,32
1,6	4,16	3,08	2,46
1,8	4,31	3,23	2,62
2	4,49	3,41	2,79
2,2	4,68	3,60	2,98
2,4	4,89	3,81	3,19
2,6	5,12	4,04	3,42
2,8	5,37	4,29	3,67
3	5,64	4,56	3,94
3,2	5,92	4,84	4,22
3,4	6,23	5,15	4,53
3,6	6,55	5,47	4,85

**Расчет тягового сопротивления навесного фронтального плуга-рыхлителя  $R_{п}$  от скорости движения  $v$  по трем вариантам**

Тяговое сопротивление плуга-рыхлителя  $R_{п1}$  по первому варианту:

$$R_{п1} = 7R_{б} + 2R_{п} + 6R_{с}, \text{ кН};$$

Тяговое сопротивление плуга-рыхлителя  $R_{п2}$  по второму варианту:

$$R_{п2} = 9R_{б} + 1R_{п} + 8R_{с}, \text{ кН};$$

Тяговое сопротивление плуга-рыхлителя  $R_{п3}$  по третьему варианту:

$$R_{п3} = 11R_{б} + 2R_{п} + 10R_{с}, \text{ кН};$$

где  $R_{б}$ ,  $R_{п}$  и  $R_{с}$  – соответственно тяговое сопротивление рабочих органов выполняющих блокированное, полублокированное и свободное резание, кН.

**Таблица 1 – Результаты расчетов тягового сопротивления навесного фронтального плуга-рыхлителя  $R_{п}$  от скорости движения  $v$  по трем вариантам**

$v$ , м/с	$R_{п1}$ (вар. 1), кН	$R_{п2}$ (вар. 2), кН	$R_{п3}$ (вар. 3), кН
0,8	43,4	52,2	66,3
1	44,6	53,7	68,2
1,2	46,1	55,5	70,6
1,4	47,9	57,7	73,3
1,6	50,0	60,2	76,5
1,8	52,4	63,0	80,1
2	55,0	66,1	84,1
2,2	57,9	69,6	88,5
2,4	61,0	73,4	93,4
2,6	64,5	77,6	98,7
2,8	68,2	82,0	104,4
3	72,2	86,8	110,5
3,2	76,5	92,0	117,1
3,4	81,1	97,4	124,1
3,6	85,9	103,2	131,5

**Расчетное крюковое усилие трактора К-701 в зависимости от  
скорость движения  $v_T$**

Крюковое усилие трактора определяется эмпирической формуле:

$$P_{кр} = 38,627 + 35,743 v_T - 11,523 v_T^2, \text{ кН};$$

где  $P_{кр}$  – крюковое усилие трактора, кН;  $v_T$  – скорость движения трактора, м/с.

**Таблица 1 – Результаты расчетов крюкового усилия трактора К-701 в зависимости от  
скорость движения  $v_T$**

Наименование показателя	Значение показателя				
Скорость движения трактора $v_T$ , м/с	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Крюковое усилие трактора $P_{кр}$ , кН	66,314	64,021	55,965	42,149	22,570

## Приложение 5

**Расчет эксплуатационных показателей навесного фронтального плуга-рыхлителя, разработанного на основании конструктивно-технологической схемы с шириной захвата 4,97 м, выполненный на основании результатов теоретических исследований.**

**Таблица 1 – Результаты расчетов эксплуатационных показателей навесного фронтального плуга-рыхлителя**

Наименование показателя	Значение показателя							
	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Скорость движения плуга $v_{п}$ , м/с	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Ширина захвата плуга (вариант 1), м	4,97							
Производительность плуга, га/ч	2,85	3,20	3,56	3,92	4,27	4,63	4,98	5,34
Тяговое сопротивление плуга, кН	50	52,4	55	57,9	61	64,5	68,2	72,2
Мощность плуга, кВт	80	94,32	110	127,38	146,4	167,7	190,96	216,6
Энергоемкость плуга, кВт·ч/га	28,07	29,47	30,89	32,49	34,28	36,22	38,34	40,56



**Результаты экспериментальных исследований энергетических показателей пахотного агрегата К-701+ КОМБИ-5 (ПБФР-5)**

**Таблица 1 – Результаты расчетов экспериментальных исследований энергетических показателей пахотного агрегата К-701+ КОМБИ-5 (ПБФР-5)**

Наименование показателей	Значение показателей			
Скорость движения агрегата, м/с	1,72	1,97	2,22	2,52
Рабочая ширина захвата плуга-рыхлителя, м	5			
Глубина обработки, м	0,3			
Тяговое сопротивление плуга-рыхлителя, кН	52,6	54	58,3	61,6
Производительность за время основной работы, га/ч	3,1	3,6	4	4,6
Потребляемая мощность плуга-рыхлителя, кВт	90,6	106,5	129,6	155,7
Энергоемкость плуга-рыхлителя, кВт·ч/га	29,2	29,6	32,4	33,9



Правительство Самарской области  
Министерство сельского хозяйства и продовольствия  
Самарской области

# XVI ПОВОЛЖСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА - 2014

## ДИПЛОМ

ООО «НПФ Престиж-С» Саратовская область,  
г. Энгельс Саратовская область,  
ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»

награждается золотой медалью

За разработку и организацию производства  
почвообрабатывающего орудия КОМБИ-5  
для глубокой безотвальной обработки почвы

5-6  
СЕНТЯБРЯ



Врио заместителя председателя  
Правительства Самарской области —  
министра сельского хозяйства и продовольствия  
Самарской области

В. В. Альтергот

**Приложение 8**

В диссертационный совет по защите  
докторских и кандидатских диссертаций  
при ФГБОУ ВО «Саратовский  
государственный аграрный университет  
имени Н.И. Вавилова

**СПРАВКА**

Настоящей сообщаем о том, что за период с 2014 по 2016 г. на полях АО «Агрофирма»Волга» Марковского р-на Саратовской обл. навесным фронтальным плугом-рыхлителем ПБФР-5 (авторы конструкции д.т.н. профессор Бойков В.М. и аспирант Окас К.К. Саратовского ГАУ им Н.И. Вавилова) агрегатируемый с трактором К-701, было обработано 2600 га пашни. Производительность К-701+ПБФР-5 находилась в пределах 3,1-3,6 га/час, при этом расход топлива составил 13-16 кг/га.

Следует особо отметить высокую надежность и производительность плуга-рыхлителя и хорошее качество обработки почвы при работе агрегата.

Директор АО «Агрофирма» Волга»

 И.Н. Вертушкин



**Методика экономической оценки навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 агрегатируемого с тракторами тягового класса 5. ОСТ 10 2.18-2001. «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки»**

Часовую эксплуатационную производительность пахотных агрегатов  $W_{ч}$  рассчитывали по следующей формуле (1):

$$W_{ч} = 0,1 B_p v_p K_{п}, \text{ га/ч} \quad (1)$$

где 0,1 – коэффициент перевода квадратных метров в гектары;  $B_p$  – ширина захвата МТА, м;  $v_p$  – скорость движения МТА, км/ч;  $K_{п}$  – коэффициент перехода от технической производительности МТА к эксплуатационной (0,7...0,9);  $W_{чэ}$  – производительность экспериментальной машины;  $W_{чб}$  – производительность базовой машины.

Затраты труда  $T_p$  на единицу работы определяли по формуле (2):

$$T_p = Ч / W_{ч}, \quad (2)$$

где  $T_p$  – трудоемкость работы, чел.·ч/га; Ч – количество рабочих, обслуживающих МТА, чел;  $W_{ч}$  – часовая производительность МТА, га/ч;

Удельный расход энергоресурсов (диз. топлива)  $\mathcal{E}_e$  рассчитывается по формуле (3).

$$\mathcal{E}_e = N q_{уд} K_d / W_{ч}, \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_e$  – расход топлива на га, кг;  $N$  – мощность двигателя, кВт;  $q_{уд}$  – удельный расход топлива, кг/кВт\*ч;  $K_d$  – коэффициент, учитывающий степень использования двигателя по мощности и времени.

Расчет себестоимости  $C$  единицы работы рассчитывали по следующей формуле (4):

$$C = C_3 + C_a + C_p + C_r + C_n, \text{ руб/га} \quad (4)$$

где  $C_a$  – амортизационные отчисления, руб/га;  $C_3$  – заработная плата обслуживающего персонала, руб/га;  $C_r$  – затраты на горючее и смазочные материалы, кг/га;  $C_p$  – затраты на ремонт;  $C_n$  – накладные расходы, руб/га;  $C_э$  – себестоимость работы экспериментальной машины;  $C_б$  – себестоимость работы базовой машины.

## Продолжение приложения 9

Амортизационные отчисления  $C_a$  определяли как сумму по всем составляющим МТА по следующей формуле (5):

$$C_a = B a / (100 T W_{\text{ч}}), \text{ руб} \quad (5)$$

где  $B$  – капитальные вложения, руб;  $a_{\text{п}}$  – норма амортизационных отчислений плуга (10 %), %;  $a_{\text{т}}$  – норма амортизационных отчислений трактора (12,5 %), %;  $T$  – годовая загрузка машины, ч.

Заработная плата  $C_3$  обслуживающего персонала определяли по следующей формуле (6):

$$C_3 = C_{\text{ч}} \text{ Ч } K_3 / W_{\text{ч}}, \text{ руб/га} \quad (6)$$

где  $C_{\text{ч}}$  – часовая тарифная ставка (326 руб), руб;  $\text{Ч}$  – количество рабочих обслуживающих МТА, чел;  $K_3$  – коэффициент, учитывающий различные виды доплат и начислений (1,3);  $W_{\text{ч}}$  – часовая производительность МТА, га/ч.

Затраты на горючее и смазочные материалы  $C_2$  определяли по следующему выражению (7):

$$C_{\text{г}} = \text{Э}_e \text{ Ц}_t K_{\text{г}}, \text{ кг/га} \quad (7)$$

где  $\text{Э}_e$  – удельный расход энергоресурсов, кг/га;  $\text{Ц}_t$  – цена 1 кг топлива (36 руб), руб;  $K_{\text{г}}$  – коэффициент, учитывающий затраты на смазочные материалы (1,15).

Затраты на ремонт  $C_{\text{р}}$  за час работы определяли по следующей формуле (8):

$$C_{\text{р}} = B a_1 / (100 T W_{\text{ч}}), \text{ руб.} \quad (8)$$

где  $B$  – капитальные вложения, руб;  $T$  – годовая загрузка машины (500 ч), ч;  $W_{\text{ч}}$  – часовая производительность МТА, га/ч;  $a_1$  – норма амортизационных отчислений на трактор (16,3 %) и с.-х. машину (20 %), %.

**Окончание приложения 9**

Накладные расходы  $C_n$  определяли по следующей формуле (9):

$$C_n = 0,05 (C_3 + C_a + C_p + C_r), \text{ руб/га} \quad (9)$$

где  $C_a$  – амортизационные отчисления, руб/га;  $C_3$  – заработная плата обслуживающего персонала, руб/га;  $C_r$  – затраты на горючее и смазочные материалы, руб/га;  $C_p$  – затраты на ремонт и ТО, руб/га;  $C_{нэ}$  – накладные расходы экспериментальной машины, руб/га;  $C_{нб}$  – накладные расходы базовой машины, руб/га.

**Экономическая эффективность использования орудия**

Годовая экономия эксплуатационных затрат  $\Delta_r$ , руб.

$$\Delta_r = (C_x - C_n) T_r W_{ч}, \quad (10)$$

где  $C_x$ ,  $C_n$  – себестоимость работы соответственно для менее и более экономичного МТА, руб/га;  $T_r$  – загрузка МТА на данной операции в течение года, ч;  $W_{ч}$  – часовая производительность МТА, га/ч.

Срок окупаемости  $T_k$ , год, дополнительных капиталовложений, определяем по зависимости.

$$T_k = (B_l - B_x) / \Delta_r, \quad (11)$$

где  $B_l$  – балансовая стоимость более экономичного агрегата, руб.;  $B_x$  – балансовая стоимость менее экономичного агрегата, руб.

### Расчет экономической эффективности разработанного навесного фронтального плуга-рыхлителя в сравнении с чизельным плугом ПЧ-4,5

Используя персональный компьютер, в программе Microsoft Office Excel был произведен расчет экономической эффективности разработанного навесного фронтального плуга-рыхлителя в сравнении с чизельным плугом ПЧ-4,5.

**Таблица 1 – Результаты расчетов экономической эффективности разработанного навесного фронтального плуга-рыхлителя в сравнении с чизельным плугом ПЧ-4,5**

<i>Наименование показателей</i>	<i>Значение показателей</i>	
	<i>Базовый</i>	<i>Разработанный</i>
<i>Агрегат</i>	К-701+ ПЧ-4,5	К-701+ ПБФР-5
Ширина захвата, м	4,5	4,97
Рабочая скорость, км/ч	7,99	8,28
Коэффициент использования времени смены	0,85	0,85
Производительность, га/ч	<b>3,06</b>	<b>3,5</b>
Количество механизаторов, чел.	1	1
Количество вспомогательных рабочих, чел.	0	0
Затраты труда, чел.ч/га	<b>0,33</b>	<b>0,29</b>
Мощность двигателя, кВт	220	220
Удельный расход топлива, кг/кВт·ч	0,227	0,227
Коэффициент использования двигателя	0,79	0,79
Удельный расход энергоресурсов, кг/га	<b>12,9</b>	<b>11,28</b>
Часовая тарифная ставка, руб/ч	326	326
Коэффициент доплат и начислений	1,3	1,3
Заработная плата рабочим, руб/га	<b>138,5</b>	<b>121,09</b>
Цена трактора, руб	3000000	3000000
Цена с/х машины, руб	540000	360000
Норма амортиз. отчислений на трактор, %	10	10
Норма амортиз. отчислений на с/х машину, %	12,5	12,5
Годовая загрузка трактора, ч	1350	1350
Годовая загрузка с/х машины, ч	500	500
Амортизационные отчисления, руб/га	<b>116,74</b>	<b>89,21</b>
Норма отчислений на ТР на трактор, %	16,3	16,3
Норма отчислений на ТР на с/х машину, %	20	20
Затраты на ремонт, руб/га	<b>188,97</b>	<b>144,64</b>
Цена топлива, руб/кг	36	36
Коэффициент затрат на СМ	1,15	1,15
Затраты на ТСМ, руб/га	<b>534,06</b>	<b>467</b>
Накладные расходы, руб/га	<b>48,92</b>	<b>41,1</b>
Себестоимость работ, руб/га	<b>1027,19</b>	<b>863,04</b>
Годовая экономия затрат, руб		<b>287263</b>