

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

Научный руководитель – Бойков Василий Михайлович,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Мачнев Алексей Валентинович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ»

Ерзамаев Максим Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис» ФГБОУ ВО «Самарская ГСХА»

Ведущая организация – ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока»

Защита диссертации состоится «___» _____ 2017 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» и на сайте <http://www.sgau.ru/>.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 220.061.03, e-mail: chekmarev.v@yandex.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Чекмарев Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. 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, 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 пахотных агрегатов путем разработки навесных фронтальных плугов-рыхлителей 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-технологические 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 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.

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) и рекомендован к серийному производству (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-технологическая 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 доверительной вероятностью 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.), междуна-

родной 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.

По результатам исследований опубликовано 10 печатных работ, в том числе 2 в рецензируемых научных изданиях. Общий объем публикаций 2,84 печ. л., из которых лично соискателю принадлежит 0,99 печ. л.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 145 страницах машинописного текста, содержит 20 таблиц, 75 иллюстраций и 10 приложений на 18 страницах. Список литературы включает в себя 112 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснованы актуальность и значимость темы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований»** рассмотрены агротехнические требования (АТТ), предъявляемые к основной безотвальной обработке почвы, современные тракторы мощностью 200-400 кВт российского и зарубежного производства, почвообрабатывающие орудия для основной безотвальной обработки почвы, разработанные во второй половине 20 и начале 21 века. Определены направления дальнейшего совершенствования почвообрабатывающих орудий, применяемых для основной безотвальной обработки почвы.

Развитию исследований в области механизации процессов основной безотвальной обработки почвы способствовали классические труды основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина и продолжателей его идей Н.В. Щучкина, Г.Н. Синеокова, В.В. Кацыгина, И.М. Панова, А.Т. Вагина, П.Н. Бурченко, П.У. Бахтина, Т.С. Мальцева, В.И. Румянцева, В.В. Бледных, А.П. Спирина, А.П. Грибановского, А.С. Кушнарёва, В.М. Мацепуро, А.И. Любимова, В.М. Бойкова, С.В. Старцева и др.

В настоящее время в сельском хозяйстве РФ широко применяются современные трактора российского и иностранного производства мощностью 200-400 кВт, которые значительно отличаются по мощности и расходу топлива двигателей, а также и по массе трактора. При этом необходимо знать к какому тяговому классу относятся эти тракторы.

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 энергоёмкость основной обработки почвы. Для этих целей были разработаны и запущены в серийное производство культиваторы-плоскорезы-глубокорыхли-

тели, чизельные плуги, плуги-рыхлители с наклонными стойками (типа «Параплау»), плуги-рыхлители с корпусами СибИМЭ. В начале 21 века в РФ начался подъем сельскохозяйственной отрасли, что потребовало применение новых технологий обработки почвы и технических средств. Разработанные почвообрабатывающие орудия марок ОПО-8,5; КПИР-7,2; КСУ-500; КСУ-8; АПК-6; БДМ-6,6х4ПК; БДП-6х4 и ДГР-5,7 для агрегатирования с тракторами тягового класса 5, которые прошли испытания на специализированных машинно-испытательных станциях, показали, что эти орудия не всегда выполняют агротехнические требования, предъявляемые к безотвальной обработке почвы, а пахотные агрегаты имеют низкие эксплуатационные показатели работы. Поэтому необходимо совершенствовать технологию основной безотвальной обработки почвы и разрабатывать новые почвообрабатывающие орудия для ее реализации.

В Саратовском ГАУ им. Н.И. Вавилова разработан и внедрен в производство ряд почвообрабатывающих орудий ПБК-5,4; ПБК-4,8(Ч) и КОМБИ-6, предназначенных для агрегатирования с современными тракторами тягового класса 5. В результате длительных исследований и эксплуатации этих орудий было установлено, что они не полностью выполняют агротехнические требования, предъявляемые к основной безотвальной обработке почвы, и требуется дальнейшее совершенствование технологии обработки, принципиальных и конструктивно-технологических схем орудий.

Во второй главе *«Теоретическое обоснование конструктивно-технологической схемы навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5»* представлены анализ тракторов мощностью 200-400 кВт и пахотных агрегатов, применяемых для основной безотвальной обработки почвы. Разработан рациональный технологический процесс основной безотвальной обработки почвы, определено тяговое сопротивление чизельного рабочего органа, выполняющего блокированное, полублокированное и свободное резание, и обоснованы два варианта принципиальных и конструктивно-технологических схем навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5, определены эксплуатационно-технологические показатели работы пахотного агрегата. Исследование технических характеристик тракторов мощностью 200-400 кВт и диаграмм (рисунок 1; 2) на основании ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85) «Тракторы

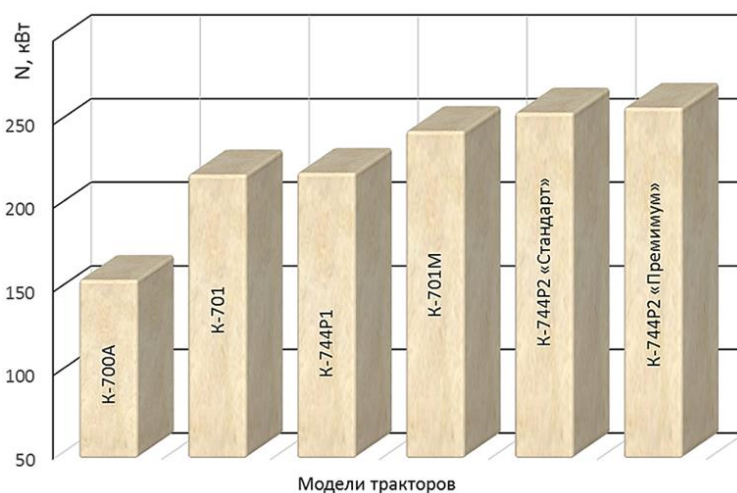


Рисунок 1 - Диаграмма моделей тракторов российского производства серий K-700 и K-744

сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы» показал, что такие тракторы как New Holland T8.390, Беларус 2522 (обр. 1), John Deere 8310R, АТМ 7360, К-700А, К-701, К-701М, К-744Р1 относятся к тяговому классу 5 с крюковым усилием 45-54 кН и этих моделей больше всего из представленных. Очевидно, что тяговое сопротивление разрабатываемого навесного фронтального плуга-рыхлителя также должно находиться в диапазоне 45-54 кН.

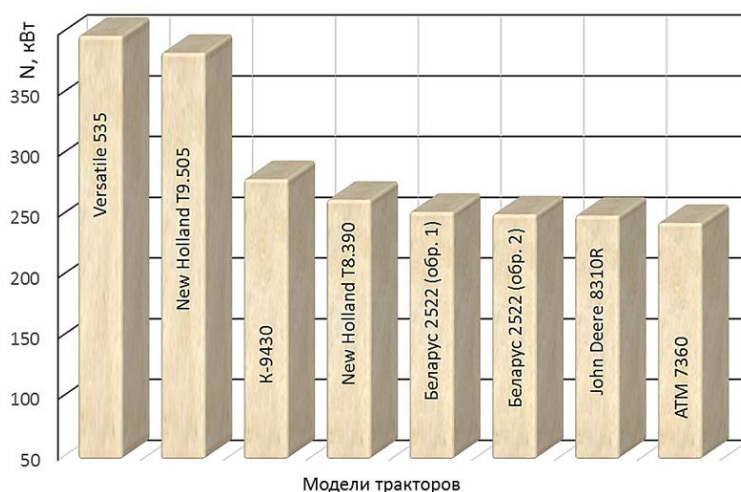


Рисунок 2 - Диаграмма моделей современных тракторов мощностью 200-400 кВт

Для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 применяются плоскорезы-глубокорыхлители ПГ-3-5; чизельные плуги ПЧ-4,5; плуги-рыхлители ПРПВ-8-40 и плуги ПНЛ-8-35 (комплектованные корпусами ЛП-0,35) длина которых соответственно составляет 2,55 м, 2,17 м, 5,27 м и 6,85 м.

Было проведено исследование влияния длины почвообрабатывающего орудия на производительность пахотного агрегата. Установлено, что производительность пахотных агрегатов зависит от кинематических характеристик агрегата. 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 (1):

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

где, B_{op} – рабочая ширина захвата орудия, м; v_p – рабочая скорость агрегата, км/ч; L_p – длина рабочего хода агрегата по полю, м; R_o – радиус поворота агрегата, м; $X_{п}$ – длина прямолинейного участка на поворотной полосе, м; $L_{agr} = L_{тр} + L_{op}$ – кинематическая длина агрегата, м; $L_{тр}$ – кинематическая длина трактора, м; L_{op} – кинематическая длина почвообрабатывающего орудия, м.

Анализ представленных зависимостей (рисунок 3) показывает, что при длине гона обрабатываемого поля более 250 м наибольшую производительность имеет пахотный агрегат при длине орудия 2,55 м.

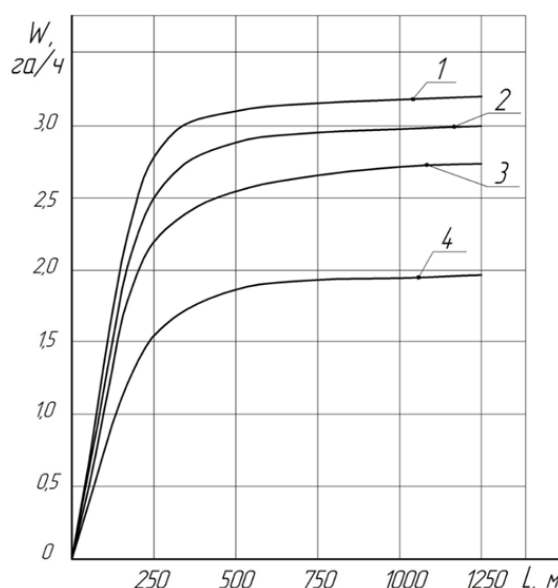


Рисунок 3 – Зависимости производительности W пахотных агрегатов от длины обрабатываемого поля L : 1 – агрегат К-701+ПГ-3-5; 2 – агрегат К-701+ПЧ-4,5; 3 – агрегат К-701+ПРПВ-8-40; 4 – агрегат К-701+ПНЛ-8-35+ЛП-0,35

Следовательно, для получения максимальной производительности пахотного агрегата необходимо иметь минимально возможную длину почвообрабатывающего орудия, которая должна находиться в пределах от 2,0 до 2,5 м, при этом плуг должен агрегатироваться с трактором тягового класса 5 по навесному варианту с фронтальным расположением рабочих органов.

Учитывая результаты исследований ПБК-5,4; ПБК-4,8 (Ч); КОМБИ-6 с комбинированными рабочими органами и их недостатки для улучшения эксплуатационно-технологических показателей пахотных агрегатов, была разработана рациональная технология основной безотвальной обработки почвы (рисунок 4).

При выполнении операции А) в обрабатываемом пахотном слое на глубине $a = 0,3$ м ниже «плужной подошвы», находящейся на глубине a_2 с интервалом b производится крошение почвы под углом $\psi = 45^\circ$ к дну обрабатываемого па-

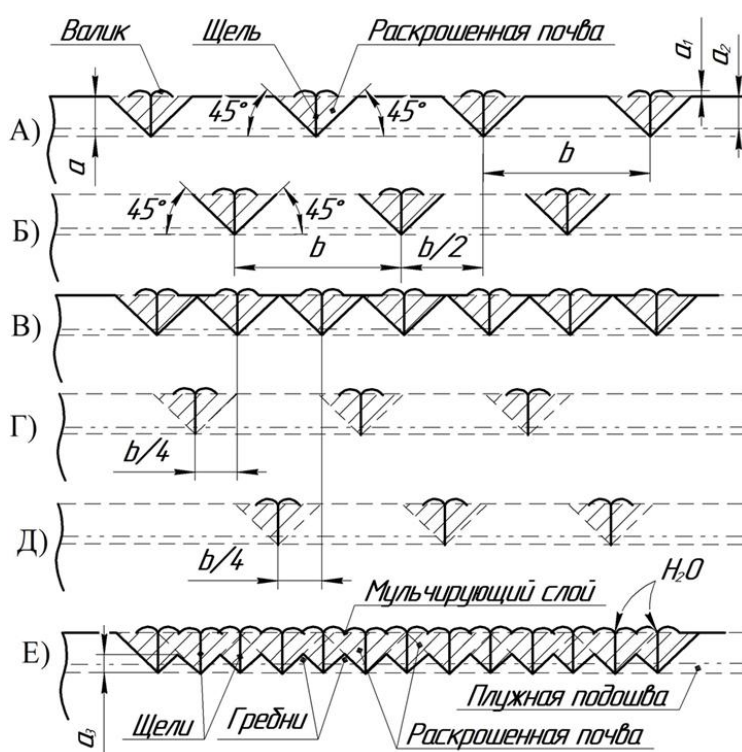


Рисунок 4 - Схема выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы

хотного слоя. При этом, одновременно с нарезанием щелей производится перемещение раскрошенной и смешанной 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) повторяется первая операция с интервалом b , но смещенная на величину $b/2$, относительно щелей первой операции. В итоге профиль обработанного поля будет иметь следующий вид В), при этом 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), аналогично первой и второй, но смещенных влево или вправо на величину $b/4$ относительно щелей первой и второй операции. В результате выполнения этих операций профиль обработанного слоя почвы будет иметь следующий вид Е).

На основании схемы (см. рисунок 4) высота гребней a_3 составит:

$$a_3 = b/8 \cdot \operatorname{tg} \psi, \text{ м} \quad (2)$$

Согласно агротехническим требованиям (АТТ), предъявляемым к основной безотвальной обработке почвы, должна обеспечиваться высокая степень крошение почвы, а высота гребней на дне обрабатываемого слоя почвы не должна превышать 0,2 м. Принимаем расстояние между щелями 0,35 м.

Анализ схемы (см. рисунок 4) показывает, что для реализации рационального технологического процесса целесообразно использовать чизельные рабочие органы, которые выполнены в виде плоской стойки с долотом. Расстановка рабочих органов в 4 ряда с расстоянием между рядами 0,5 м, как показали исследования, будет исключать забивание стерней и раскрошенной почвой пространство между рабочими органами. При этом из схемы видно, что чизельные рабочие органы могут выполнять блокированное (А и Б) и свободное (Г и Д) резание. По исследованиям доктора технических наук Бойкова В.М. и кандидата технических наук Нестерова Е.С. тяговое сопротивление чизельного рабочего органа $R_{\text{ч}}^{\text{б}}$, выполняющего блокированное резание, определяется по следующему выражению (3):

$$R_{\text{ч}}^{\text{б}} = S_{\text{с}} \sigma_{\text{с}} k_1 + V_{\text{с}} \rho g k_2 + V_{\text{с}} v^2 \rho k_3 / l_{\text{д}}, \text{ кН} \quad (3)$$

где $S_{\text{с}}$ – площадь поверхности сдвига объема почвы $V_{\text{с}}$ чизельным рабочим органом, м^2 ; $\sigma_{\text{с}}$ – напряжение сдвига почвы, кПа ; $V_{\text{с}}$ – объем сдвигаемой почвы, м^3 ; ρ – 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, м ; k_1 , k_2 и k_3 – сокращенная запись выражений в которых входят углы $\alpha_{\text{д}}$, ψ_1 и ψ_2 .

Используя выражение (3) и рисунок (5), были получены выражения для определения тягового сопротивления чизельного рабочего органа, выполняющего свободное резание (4) и полублокированное резание (5):

$$R_{\text{ч}}^{\text{с}} = S_{\text{с}} \sigma_{\text{с}} k_1 k_4 + V_{\text{с}} \rho g k_2 + V_{\text{с}} v^2 \rho k_3 / l_{\text{д}}, \text{ кН}; \quad (4)$$

$$R_{\text{ч}}^{\text{п}} = S_{\text{с}} \sigma_{\text{с}} k_1 k_5 + V_{\text{с}} \rho g k_2 + V_{\text{с}} v^2 \rho k_3 / l_{\text{д}}, \text{ кН}; \quad (5)$$

где k_4 и k_5 – коэффициенты, определяющие отношение тягового сопротивления чизельного рабочего органа, выполняющего свободное или полублокированное резание, к блокированному резанию.

В случае отношения свободного резания к блокированному при $b_{\text{д}} = 0,07 \text{ м}$; $\psi = 45^\circ$ и $a_3 = 0,175 \text{ м}$ (см. рисунок 5) величина k_4 определяется по следующему выражению:

$$k_4 = a_3 (b_{\text{д}} + a_3) / a (b_{\text{д}} + a) \quad (6)$$

Для теоретических исследований принимаем: $k_4 = 0,5-0,6$ и $k_5 = 0,7-0,8$.

На рисунке (6) представлена зависимость тягового сопротивления чизельного рабочего органа от скорости движения, которая показывает, что тяговое сопротивление при полублокированном резании на 24...26%, а при свободном – на 38...40% меньше, чем при блокированном.

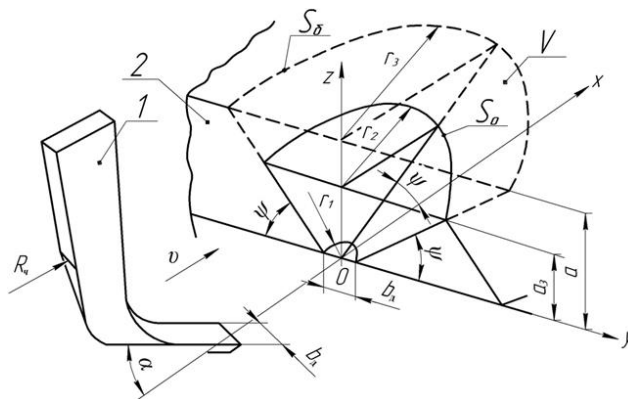


Рисунок 5 – Схема процесса образования тела скольжения при взаимодействии чизельного рабочего органа с обрабатываемым слоем почвы при блокированном и свободном резании: 1 – чизельный рабочий орган; 2 – обрабатываемый слой почвы; V – объем конического тела скольжения, м^3 ; $S_{\text{б}}$ – поверхность сдвига почвы при блокированном резании, м^2 ; $S_{\text{с}}$ – поверхность сдвига почвы при свободном резании, м^2 ; r_1 , r_2 и r_3 – радиусы усеченного конуса, м ; $b_{\text{д}}$ – ширина долота чизельного рабочего органа, м ; α – угол постановки долота ко дну обрабатываемого слоя почвы, град.

Используя полученные результаты и результаты исследований почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6 для определения ширины захвата плуга-рыхлителя было разработано два варианта принципиальных схем фронтальных плугов-рыхлителей для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 (рисунок 7; 8).

На основании рисунков (7; 8) ширина захвата фронтального плуга-рыхлителя определяется по следующему выражению (7):

$$B_M = 0,25(n-1)b, \text{ м} \quad (7)$$

где n – число рабочих органов, шт., b – расстояние между рабочими органами в первом ряду, м.

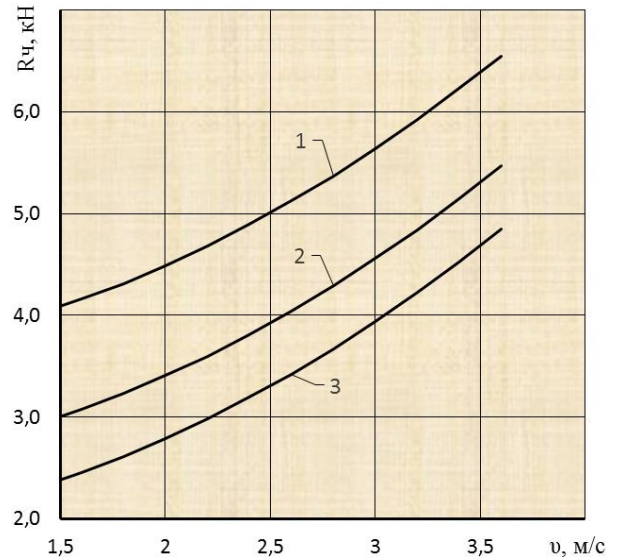


Рисунок 6 – Зависимость тягового сопротивления чизельного рабочего органа $R_{ч}$ от скорости движения v : 1 – при заблокированном резании; 2 – при полублокированном резании; 3 – при свободном резании

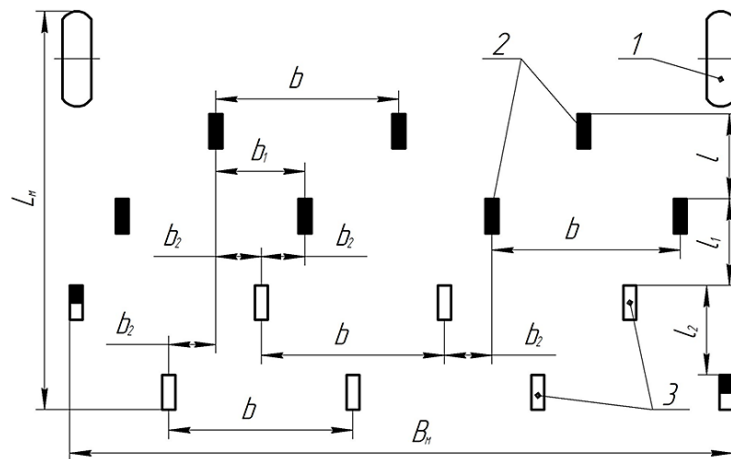


Рисунок 7 – Принципиальная схема фронтального плуга-рыхлителя (Вариант 1) с расстановкой рабочих органов (2 и 3) и опорных колес (1): B_M – ширина захвата машины, м (4,97 м); ■ – заблокированное резание; ■□ – полублокированное резание; □ – свободное резание

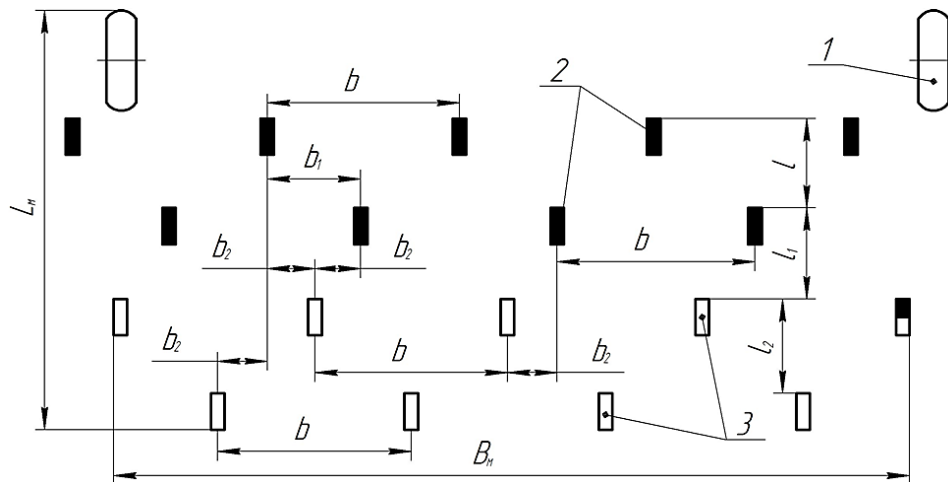


Рисунок 8 – Принципиальная схема фронтального плуга-рыхлителя (Вариант 2) с расстановкой рабочих органов (2 и 3) и опорных колес (1): B_M – ширина захвата машины, м (5,95 м);

Тяговое сопротивление плуга-рыхлителя $R_{п1}$ по первому варианту определяется по выражению (8):

$$R_{п1} = 7 R_{ч}^6 + 2 R_{ч}^п + 6 R_{ч}^с, \text{ кН}; \quad (8)$$

- по второму варианту $R_{п2}$ по выражению (9):

$$R_{п2} = 9 R_{ч}^6 + 1 R_{ч}^п + 8 R_{ч}^с, \text{ кН} \quad (9)$$

Анализ зависимостей (рисунок 9) показывает, что низкое тяговое сопротивление плуга-рыхлителя возможно получить за счет применения чизельных рабочих органов, выполняющих блокированное, полублокированное и свободное резание. Тяговое сопротивление плуга-рыхлителя, выполненного по варианту 2 ($B_M=5,95$ м), в 1,2 раза больше, чем по варианту 1 ($B_M = 4,97$ м). При этом удельное тяговое сопротивление имеет одинаковую величину.

Используя технические характеристики тракторов серий К-700 и К-744 тягового класса 5, можно принять, что крюковое усилие этих тракторов определяется эмпирической формулой (10):

$$P_{кр} = 38,627 + 35,743 v_T - 11,523 v_T^2, \quad (10)$$

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

Тогда, при движении пахотного агрегата должно выполняться следующее условие (11):

$$P_{кр} = R_{п} \text{ и } v_T = v_{п}, \quad (11)$$

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

На основании выражений (8; 9) и условия (11), на рисунке (10) представлены зависимости крюкового усилия трактора К-701 и тягового сопротивления плуга-рыхлителя от скорости движения агрегата.

Анализируя зависимости (см. рисунок 10), видно, что при работе трактора К-701 с плугом-рыхлителем, выполненного по варианту 1, пахотный агрегат будет устойчиво работать до скорости 2,3 м/с. При работе трактора К-701 с плугом-рыхлителем, выполненного по варианту 2, пахотный агрегат

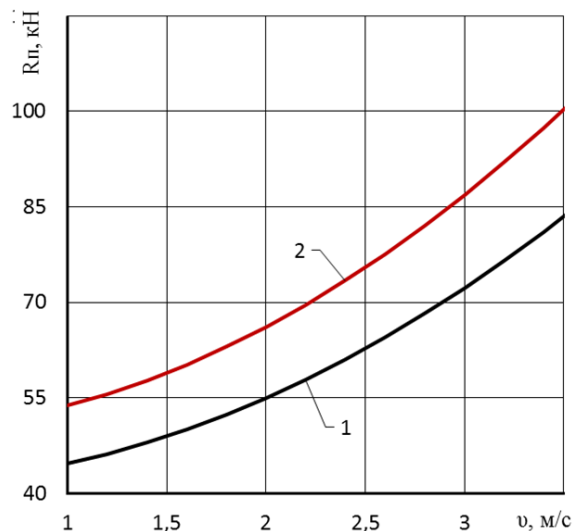


Рисунок 9 – Зависимость тягового сопротивления фронтального плуга-рыхлителя $R_{п}$ от скорости движения v : 1 и 2 – принципиальные схемы плугов-рыхлителей по вариантам 1 и 2 соответственно

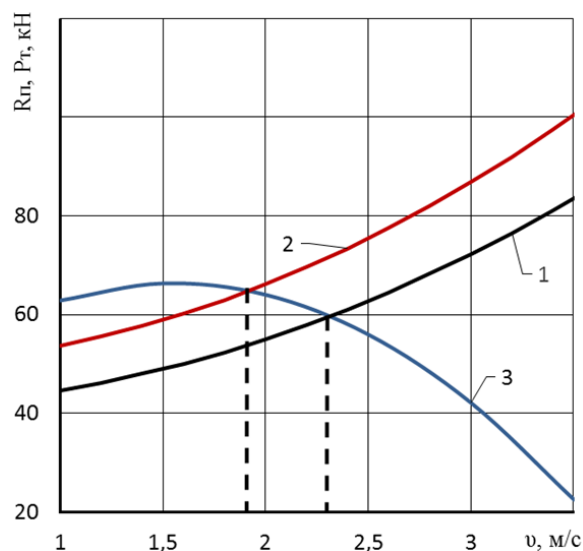


Рисунок 10 – Зависимость тягового сопротивления фронтального плуга-рыхлителя $R_{п1}$ (1) и $R_{п2}$ (2), и крюкового усилия P_T (3) трактора К-701 от скорости движения v

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.

На основании принципиальной схемы (рисунок 7) разработана конструктивно-технологическая схема навесного фронтального плуга рыхлителя (рисунок 11).

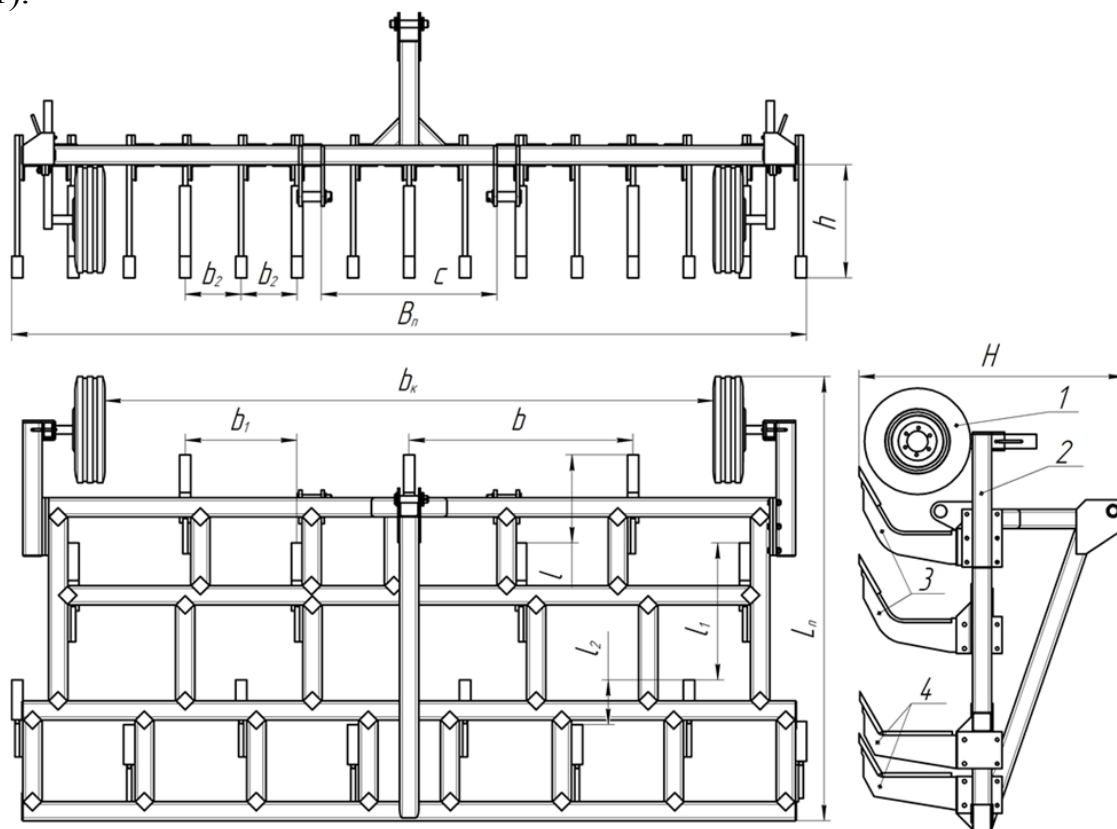


Рисунок 11 - Конструктивно-технологическая схема навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5: 1 – опорное колесо с механизмом регулировки глубины обработки; 2 – рама с навесным устройством; 3 – чизельные рабочие органы с грудкой; 4 – чизельные рабочие органы; B_n – ширина захвата плуга (4,970 м); H – высота плуга (1,658 м); L_n – длина плуга (2,777 м); b_k – расстояние между опорными колесами (3,805 м); b – расстояние между рабочими органами в первом ряду (1,40 м); b_d – ширина долота чизельного рабочего органа (0,07 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 – 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); α – угол постановки долота ко дну обрабатываемого слоя почвы (27 град.).

Основными эксплуатационно-технологическими показателями навесного фронтального плуга-рыхлителя являются: глубина обработки почвы, ширина захвата, скорость движения, тяговое сопротивление, потребляемая мощность и удельные энергозатраты.

Часовая производительность пахотного агрегата с плугом-рыхлителем:

$$W_n = 0,09 (n-1) b v_n, \text{ га/ч} \quad (12)$$

Мощность, затрачиваемая на движение плуга-рыхлителя:

$$N_n = (7 R_q^b + 2 R_q^n + 6 R_q^c) v_n, \text{ кВт} \quad (13)$$

Удельные энергозатраты технологического процесса в зависимости от скорости движения пахотного агрегата:

$$\mathcal{E}(v_{п}) = N_{п}(v_{п}) / W_{п}(v_{п}), \text{ кВт}\cdot\text{ч/га} \quad (14)$$

На рисунке (12; а, б) представлены зависимости тягового сопротивления $R_{п}$ и требуемой энергоёмкости $\mathcal{E}_{п}$ навесного фронтального плуга-рыхлителя при основной безотвальной обработке почвы от скорости движения агрегата.

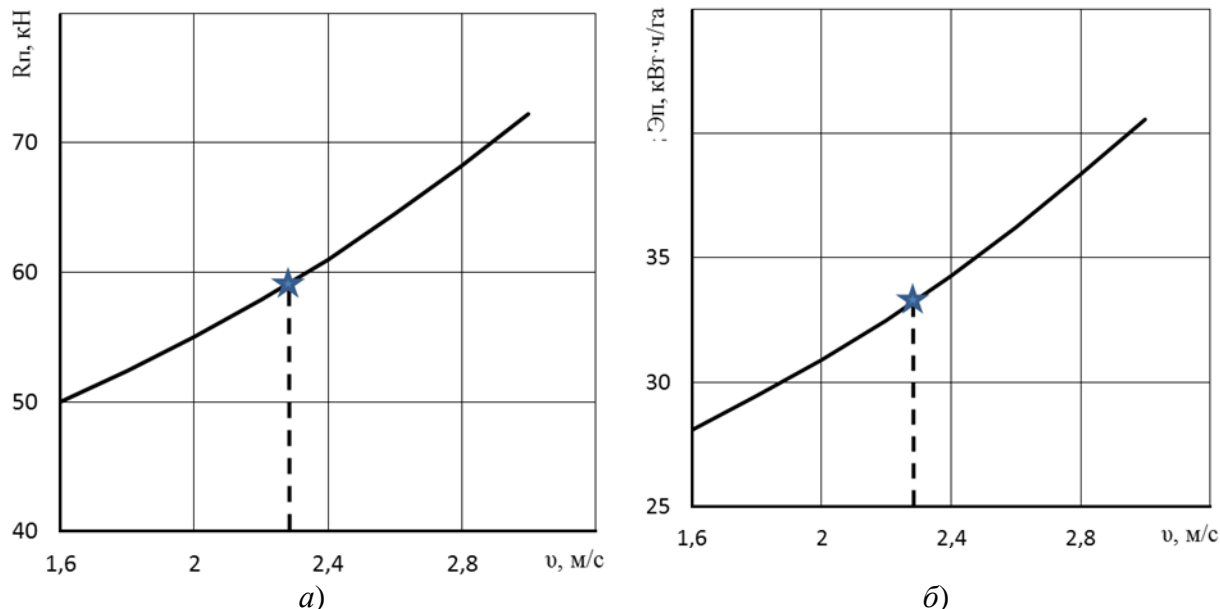


Рисунок 12 – Зависимость тягового сопротивления (а) и энергоёмкости (б) фронтального плуга-рыхлителя при основной безотвальной обработке почвы от скорости движения агрегата (глубина обработки почвы 30 см).

Анализ зависимости (рисунок 12; б) показывает, что при работе пахотного агрегата на скорости движения от 1,6 до 2,3 м/с затрачиваемая энергоёмкость составляет 28...33 кВтч/га, т.е. фронтальный плуг-рыхлитель имеет высокие эксплуатационные показатели работы.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложена программа и методика лабораторно-полевых исследований с описанием применяемого оборудования. При проведении исследований был использован пахотный агрегат, состоящий из навесного фронтального-плуга рыхлителя (ПБФР-5) и трактора К-701 (рисунок 13).

При проведении лабораторно-полевых исследований на полях, находящихся в зоне деятельности ФГБУ «Поволжская МИС» Самарской области, и в хозяйствах Саратовской области



Рисунок 13 - Экспериментальный фронтальный плуг-рыхлитель (1) в агрегате с трактором К-701 (2), в транспортном положении

руководствовались методиками Поволжской МИС и методиками, изложенными в ОСТ 10 4.1–2001, ОСТ 10 2.2–2002, ГОСТ 24057–88 «Испытания сельскохозяйственной техники». Условия проведения испытаний определяли согласно ГОСТ 20915–75.

В четвертой главе «*Результаты и анализ лабораторно-полевых исследований навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5*» приведены результаты лабораторно-полевого исследования навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 и дан анализ сходимости теоретических и экспериментальных показателей.

Лабораторно-полевые исследования технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого фронтальным плугом-рыхлителем ПБФР-5, проводили на Поволжской МИС (п. Усть-Кинельский, Кинельского района Самарской области) полях Поволжского НИИСС (Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства) на основной безотвальной обработке почвы по стерне ячменя при глубине обработки 0,30 м. 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). 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°, 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 г/м².

Агротехнические показатели, полученные при лабораторно-полевых исследованиях рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемого пахотным агрегатом К-701+ПБФР-5, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Агротехнические показатели лабораторно-полевых исследований рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы пахотным агрегатом К-701 + ПБФР-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, см	29,7	29,5
- среднее квадратическое отклонение, ± см	1,9	2,0
- коэффициент вариации, %	6,4	6,8
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 (таблица 1) показывает, что навесной фронтальный плуг-рыхлитель, несмотря на экстремальные условия исследований с низкой влажностью и высокой твердостью почвы, при глубине обработке почвы 29,5-29,7 см качество крошения ее было достаточно высоким. Глубина

обработки почвы по ширине захвата орудия была равномерной со средним квадратическим отклонением $\pm 1,9 \dots 2,0$ см (по ТУ не более ± 2 см). Комки почвы размером до 50 мм составляли 55,3-55,8 %, что удовлетворяет ТУ (50+10 %). Подрезание пожнивных остатков или разрыв корней было полным. После прохода экспериментального плуга-рыхлителя поверхность пашни оставалась выровненной. При этом глубина борозд составляла 6,1-6,2 см, что соответствует ТУ (не более 7 см). Процент сохранения стерни (47,9-48,3 %) так же удовлетворял ТУ (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.

Исследование профиля обрабатываемого слоя почвы (рисунок 14) показал, что высота гребней на дне обрабатываемого слоя находился в пределах 5-12 см, т.е. значения полученных величин ниже допустимых по АТТ.

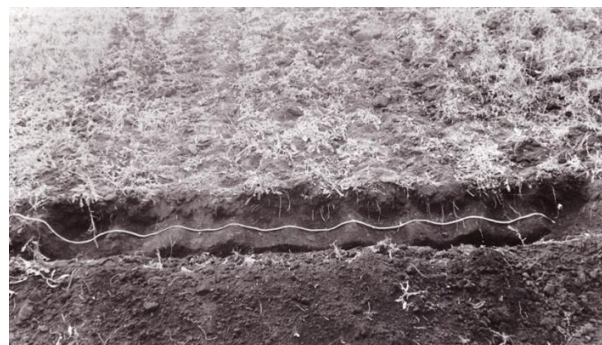


Рисунок 14 – Фотография профиля обработанного слоя почвы

На рисунках (15; 16) представлены теоретическая и экспериментальная зависимости тягового сопротивления R_n и энергоёмкости \mathcal{E}_n фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 от скорости $v_{дв}$ движения агрегата при глубине обработки 0,30 м.

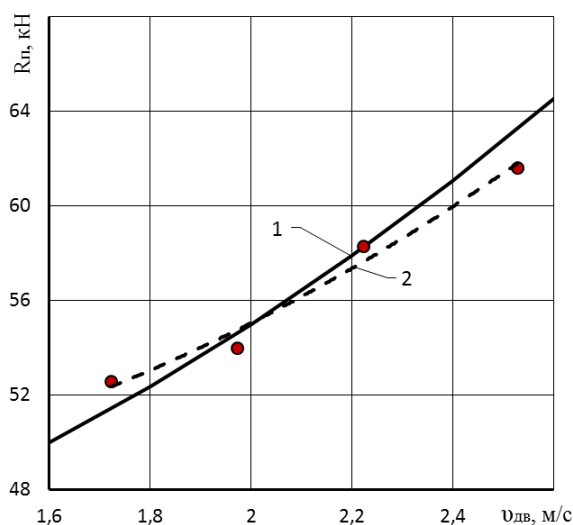


Рисунок 15 – Зависимости тягового сопротивления R_n плуга-рыхлителя ПБФР-5 от скорости $v_{дв}$ движения агрегата при глубине обработки 0,30 м: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

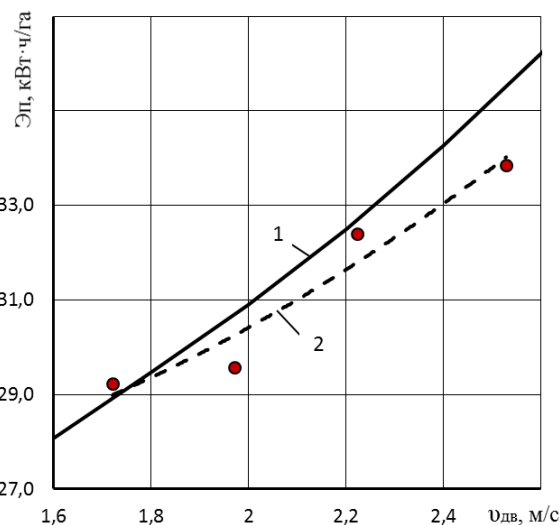


Рисунок 16 – Зависимость энергоёмкости \mathcal{E}_n выполнения рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы ПБФР-5 от скорости $v_{дв}$ движения агрегата при обработке почвы на глубину 30 см: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

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

В пятой главе «Исследование эффективности применения навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5. Экономическая оценка применения ПБФР-5 агрегируемого с тракторами тягового класса 5» представлены результаты исследования эффективности применения плуга-рыхлителя ПБФР-5, результаты его внедрения и расчет экономической эффективности.

Исследования и испытания плуга-рыхлителя ПБФР-5 проводились на полях хозяйств Поволжской НИИСС Кинельского района и ООО «Спецхоз» Поволжского района Самарской области в экстремальных условиях. Результаты исследований пахотных агрегатов с тракторами К-701 и John Deere 8295R представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Эксплуатационно-технологические показатели пахотных агрегатов

Показатель	Значение показателя	
	Поволжской НИИСС (фон 1)	ООО «Спецхоз» (фон 2)
Состав агрегата	К-701+ПБФР-5	John Deere 8295R +ПБФР-5
Скорость движения, м/с	1,91	1,86
Ширина захвата, м	5,0	5,0
Глубина обработки рабочими органами, см	29,5	32,5
Крошение почвы, размер комков до 50 мм	55,8	58,8
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
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 (2) показывает, что средняя рабочая скорость агрегата на фоне 1 составляла 1,91 м/с, а на фоне 2 – 1,86 м/с. 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.

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).

Испытания в УНПО «Поволжье» 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 навесного 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 %.

На полях АО «Агрофирма «Волга»» (рисунок 17) 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.



Рисунок 17 – Пахотный агрегат (а), состоящий из трактора К-701+ПБФР-5, и поле (б), обработанное пахотным агрегатом

Обработка проводилась на глубину 29,2 см, при этом скорость движения составляла 2,78 м/с. Поверхность поля после обработки была выровненная (рисунок 16; б). 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 3,1-3,7 га/ч при расходе топлива 13-16 кг/га.

Основные показатели экономической эффективности применения навесного фронтального плуга-рыхлителя ПБФР-5 в сравнении с известным навесным чизельным плугом ПЧ-4,5 приведены в таблице 3.

Анализ таблицы (3) показывает, что степень снижения затрат труда пахотного агрегата К-701+ПБФР-5 на 12,1 % ниже, в сравнении с К-701+ПЧ-4,5 за счет более высокой эксплуатационной производительности. При этом себестоимость основной безотвальной обработки почвы новым фронтальным плугом-рыхлителем на 16 % ниже, чем чизельным плугом ПЧ-4,5. Разница в полных затратах средств способствовала получению годового приведенного экономического эффекта ПБФР-5 в размере 287263 рублей. Срок окупаемости нового плуга-рыхлителя ПБФР-5 составляет 1,3 года.

Таблица 3 – Основные показатели экономической эффективности применения навесного фронтального плуга-рыхлителя 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, год	-	1,3

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°.

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 χ^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 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.

Рекомендации производству

Полученные результаты можно использовать при проектировании навесных фронтальных плугов-рыхлителей для агрегатирования с тракторами различного тягового класса.

Необходимо организовать серийное производство навесных фронтальных плугов-рыхлителей на специализированных заводах РФ и Республики Казахстан.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Разработать прицепные плуги-рыхлители для агрегатирования с тракторами тягового класса 6-8.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. *Окас, К.* Обоснование кинематической длины фронтального плугарыхлителя / В.М. Бойков, С.В. Старцев, А.В. Павлов, К. Окас // Аграрный научный журнал. – 2016. – №12. – С. 53-54.

2. *Окас, К.* Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа / В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, С.В. Старцев, К. Окас // Научное обозрение. – 2017. – № 5. – С. 72-77.

В материалах конференций и семинаров и в других изданиях:

3. *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.

4. *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.

5. *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.

6. *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.

7. *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. Афолина. – Саратов: ООО Издательский центр «Наука», 2016. – С. 318-321.

8. *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.

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

10. *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.