

На правах рукописи

**Побежимов Глеб Борисович**

**РАЗРАБОТКА ЛЕМЕШНО-ОТВАЛЬНОГО ПРИЦЕПНОГО  
ПЛУГА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ АГРЕГАТИРОВАНИЯ  
С ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАССА 8**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Саратов 2016

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: Соколов Николай Михайлович,**  
доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом механизации ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»

**Савельев Юрий Александрович,**  
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

**Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»**

Защита диссертации состоится «29» апреля 2016 г. в 14<sup>00</sup> 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 ГАУ» и на сайте [www.sgau.ru](http://www.sgau.ru).

Отзывы направлять по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 220.061.03, E-mail: [chekmarev.v@yandex.ru](mailto:chekmarev.v@yandex.ru).

Автореферат разослан «   »                      2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Чекмарев  
Василий Васильевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Наибольшая доля затрат энергии в производстве сельскохозяйственной продукции приходится на основную обработку почвы. На вспашку 1 га посевных площадей затрачивается до 25 кг дизельного топлива. От качества и своевременности проведения основной обработки почвы напрямую зависит урожайность полевых культур.

Для проведения основной обработки почвы наряду с лемешно-отвальными плугами широко применяют плоскорезы-глубококорыхлители, дискаторы, тяжёлые дисковые бороны, а также чизельные плуги и щелерезы.

Несмотря на многочисленные попытки отказа от традиционной основной обработки почвы в пользу нулевой обработки, засухи 2010-2014 гг. показали необходимость проведения основной отвальной обработки почвы и необходимость совершенствования ее технологии.

В настоящее время в Российской Федерации при вспашке в основном используют отечественные навесные лемешно-отвальные плуги в агрегате с тракторами тяговых классов 3–5 и иностранные навесные и полунавесные оборотные плуги, предназначенные для агрегатирования с тракторами тяговых классов 3–8 мощностью до 380 кВт (Lemken, Kverneland, Gregoire Besson и др.).

В последнее время увеличился импорт иностранной сельскохозяйственной техники, в том числе тракторов. При этом в условиях нехватки механизаторов на селе больше всего растут поставки в Россию тракторов мощностью более 250 кВт, которые необходимо использовать для повышения производительности сельскохозяйственного производства. Однако большинство ввезенных в РФ мощных тракторов не укомплектованы навесным устройством, так как они предназначены для работы с прицепными широкозахватными посевными комплексами и не могут агрегатироваться с навесными и полунавесными машинами. Широкозахватные посевные агрегаты используются в основном в весеннее время, что приводит к неполной загрузке тракторов в течение сезона и вызывает проблемы с их окупаемостью.

Таким образом, основным направлением совершенствования технологии основной обработки почвы является разработка широкозахватных прицепных лемешно-отвальных плугов общего назначения, способных загрузить современные энергонасыщенные тракторы большой мощности, что значительно увеличит их сезонную загрузку.

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 разработкой и изготовлением широкозахватных лемешно-отвальных плугов общего назначения занимаются ОАО «Светлоградагромаш» Ставропольского края, ООО «Волгаагромаш» г. Кинель Самарской обл., «Минойтовский ремонтный завод» Республики Беларусь и др., а также ряд иностранных фирм. Однако проверка в эксплуатации изготавливаемых плугов выявила ряд недостатков. Эти плуги имеют

низкую производительность и надежность, сложность конструкции, большую длину и высокую стоимость.

На основе анализа известных принципиальных схем лемешно-отвальных плугов общего назначения и новых корпусов плуга разработаны конструктивно-технологическая схема прицепного плуга для агрегатирования с тракторами тягового класса 8 и методика определения основных параметров плуга и эксплуатационно-технологических показателей энергонасыщенного пахотного агрегата.

**Цель работы** – повышение эксплуатационно-технологических показателей энергонасыщенного пахотного агрегата путем разработки широкозахватного прицепного плуга общего назначения.

**Задачи исследований:**

1. Провести анализ существующих схем лемешно-отвальных плугов общего назначения.

2. Обосновать конструктивно-технологическую схему и основные параметры прицепного лемешно-отвального плуга общего назначения для агрегатирования с тракторами тягового класса 8.

3. Теоретически определить эксплуатационно-технологические показатели предлагаемого энергонасыщенного пахотного агрегата.

4. Провести экспериментальные исследования технологического процесса основной обработки почвы разработанным прицепным лемешно-отвальным плугом общего назначения.

5. В хозяйственных условиях исследовать эффективность применения пахотного агрегата состоящего из трактора мощностью 375кВт и разработанного плуга общего назначения, дать экономическую оценку его применения.

**Научная новизна:**

- обоснована конструктивно-технологическая схема прицепного плуга общего назначения для агрегатирования с тракторами тягового класса 8;

- разработана методика определения его основных параметров и эксплуатационно-технологических показателей работы пахотного агрегата.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретически обоснована конструктивно-технологическая схема прицепного плуга с тракторами тягового класса 8, получены аналитические и эмпирические выражения для определения основных параметров плуга и эксплуатационно-технологических показателей энергонасыщенных пахотных агрегатов.

Разработанный двенадцатикорпусный прицепной плуг общего назначения шириной захвата 7,2 м, агрегируемый с трактором Challenger MT865B, при глубине обработки 16,9 и 26,3 см обеспечивает расход топлива 9,36 и 15,58 кг/га и производительность 6,6 и 5,82 га за 1 ч основного времени смены соответственно. При этом качество выполнения технологического процесса соответствует агротехническим требованиям, предъявляемым к основной обработке почвы.

Новый прицепной плуг был испытан на ФГБУ «Поволжская зональная машиноиспытательная станция» (Самарская область, п. Усть-Кинельский), ко-

торая рекомендовала поставить его на серийное производство (протокол № 08-141-2011 (4010142)).

**Методология и методы исследования.** Методика исследования предусматривала создание широкозахватного лемешно-отвального плуга общего назначения для агрегатирования с тракторами большой мощности, механико-технологическое обоснование конструктивно-технологической схемы и основных параметров этого плуга. Теоретические исследования проводили с использованием основных положений классической и земледельческой механики, математики и сопротивления материалов. Экспериментальные исследования осуществляли в лабораторно-полевых и хозяйственных условиях в соответствии с действующими ГОСТами и частными методиками. Обработку результатов экспериментов выполняли с использованием статистических методов с применением ПК.

**Положения, выносимые на защиту:**

- конструктивно-технологическая схема прицепного лемешно-отвального плуга для агрегатирования с тракторами тягового класса 8;
- аналитические и эмпирические выражения для определения основных параметров прицепного лемешно-отвального плуга и эксплуатационно-технологические показатели предлагаемого энергонасыщенного пахотного агрегата.

**Степень достоверности и апробация результатов** обеспечены достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных данных, подтверждаются экспериментальными исследованиями разработанного плуга в условиях ФГБУ «Поволжская зональная МИС» и эксплуатации в хозяйствах области.

Основные положения диссертационной работы и ее результаты были доложены, обсуждены и получили положительную оценку на конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова (2009–2014 гг.), на Международной научно-практической конференции «Вавиловские чтения» (2014 г.), на Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА» (2014 г.).

Прицепной плуг ПБС-12П экспонировался на «VII Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций» в 2012г., где был отмечен дипломом и серебряной медалью. Также плуг был представлен на 4-м Сельскохозяйственном Форуме «Саратов-Агро. День поля» в 2013г., где был отмечен дипломом.

По результатам исследований опубликовано 9 печатных работ, в том числе 4 в рецензируемых научных изданиях, включенных в «Перечень ведущих журналов и изданий...» ВАК РФ, получено 2 патента на полезную модель РФ (№ 113906 и № 125806). Общий объем публикаций 2,31 печ. л., из которых лично соискателю принадлежит 1,18 печ. л.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 157 страницах машинописного тек-

ста, содержит 22 таблицы, 79 иллюстраций и 20 приложений на 26 страницах. Список литературы включает в себя 117 наименований, в том числе 9 на иностранных языках.

## 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 лемешно-отвальные плуги общего назначения для основной обработки почвы и агротехнические требования, предъявляемые к ним. Проведен анализ развития конструкций плугов в СССР и РФ, рассмотрены современные плуги и энергонасыщенные тракторы иностранного производства. Определены направления дальнейшего повышения производительности энергонасыщенных пахотных агрегатов.

Развитию исследований в области механизации процессов основной 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. Кушнарера, В.М. Мацепуро, А.И. Любимова, В.М. Бойкова и др.

В настоящее время в сельском хозяйстве РФ из-за увеличения импорта доля энергонасыщенных тракторов с мощностью двигателей более 220 кВт существенно возрастает. Энергонасыщенные тракторы иностранного производства охватывают широкий диапазон мощностей от 220 до 447 кВт и, согласно ГОСТ 27021–86, по развиваемому тяговому усилию условно могут быть отнесены к тяговым классам 5–8. Существует тенденция не комплектовать новые энергонасыщенные тракторы, ввозимые в РФ, навесным устройством в базовых комплектациях независимо от тягового класса ввиду отсутствия навесных и полунавесных орудий, способных загрузить эти тракторы. В течение сезона их используют только с широкозахватными посевными комплексами на посевных работах и при обработке почвы широкозахватными прицепными комбинированными орудиями. Для загрузки этих тракторов в Российскую Федерацию начинают импортировать современные полунавесные оборотные плуги зарубежных фирм, которые имеют высокую стоимость, большую длину и материалоемкость, низкую производительность и надежность. Среди продукции иностранного производства плуги для загрузки тракторов тягового класса 8 мощностью 375 кВт и более отсутствуют.

В условиях нехватки механизаторов на селе тракторы большой мощности необходимо использовать для повышения производительности сельскохозяйственного производства. Для достижения этой цели необходимо увеличить сезонную загрузку этих тракторов. Обеспечить использование трактора в летне-осенний период возможно, если его применять на перепашке паров и вспашке зяби.

Во второй главе «Теоретическое обоснование конструктивно-технологической схемы прицепного плуга для агрегатирования с тракторами тягового класса 8» представлены анализ известных принципиальных схем плугов общего назначения, разработанная конструктивно-технологическая схема прицепного плуга и аналитические выражения для обоснования ее параметров. Теоретически определены основные эксплуатационно-технологические показатели предлагаемого прицепного плуга.

Анализ пахотных агрегатов показывает, что лемешно-отвальные плуги общего назначения агрегируются с тракторами большой мощности по навесному, полунавесному и прицепному вариантам. В основном они изготовлены иностранными фирмами Lemken, Kverneland, Kuhn, Gregoire Besson и др. На эти плуги устанавливаются известные классические корпуса, применение которых определяет расположение основного бруса рамы под углом  $27^{\circ} \dots 30^{\circ}$  для обеспечения расстояния между корпусами 1,0...1,2 м, что приводит при значительной ширине захвата плуга к большой его длине. Агрегатирование такого плуга по навесному варианту ухудшает управляемость агрегата и вызывает нарушение стабильности в транспортном положении, увеличение нагрузки на задний мост трактора и его ускоренный износ.

Полунавесные плуги выполняют по двум основным схемам: с одним задним опорным колесом или с опорной тележкой. Перевод в транспортное положение осуществляется путем подъема орудия на навесном устройстве трактора и заднем колесе плуга или опорной тележке.

Широкозахватные плуги, выполненные по полунавесной схеме, отличаются большими длиной и весом. Опорно-транспортное колесо движется по борозде, значительно уплотняя ее дно.

Применение навесной и полунавесной схем требует наличия у трактора гидравлического навесного устройства, однако согласно проведенным исследованиям, у тракторов большой мощности эти навески в основном отсутствуют.

Для агрегатирования с тракторами большой мощности разработаны и производятся прицепные плуги, выполненные по классической схеме, которые состоят из двух секций – основной и дополнительной, скрепленных шарнирно для улучшения копирования рельефа. Подъем в транспортное положение происходит путем подъема на опорно-транспортных колесах с помощью гидросистемы плуга.

Недостатками прицепного плуга являются большая длина (21 м), низкая маневренность, большой вес и сложность конструкции (наличие большого числа гидроцилиндров, механизма регулировки глубины обработки на опорно-транспортных колесах). Опорно-транспортные колеса для обеспечения поворота агрегата выполнены самоустанавливающимися.

В настоящее время начали применяться прицепные плуги, выполненные по гибридной (лафетной) схеме. Они представляет собой полунавесной плуг, агрегатированный к транспортному модулю – лафету. Перевод плуга в транспортное положение осуществляется путем его подъема с помощью

гидросистемы на опорных колесах лафета и на опорно-транспортных колесах задней тележки.

Агрегатирование такого плуга по прицепному варианту не требует наличия навесного устройства трактора, однако такой агрегат имеет большую длину, что осложняет копирование рельефа, снижает маневренность и увеличивает время разворота агрегата.

Использование усовершенствованных корпусов шириной захвата 0,6м (патент РФ № 93616) позволяет расположить основной брус рамы плуга под углом 45° к направлению движения агрегата и обеспечивает значительное сокращение длины плуга.

На базе этого корпуса была создана серия навесных плугов (ПБС) для агрегатирования с тракторами тягового класса 3–5. На основе приведенного анализа и результатов применения плугов ПБС нами была разработана принципиальная схема нового прицепного плуга (рисунок 1).

Прицепной плуг состоит из лафета 3 и плужной секции 6, соединенными промежуточным звеном 4. Лафет опирается на фаркоп трактора 2 и транспортные колеса 7. Плужная секция поднимается в транспортное положение гидроцилиндрами 5 промежуточного звена. В рабочем положении она опирается на три опорных колеса 8.

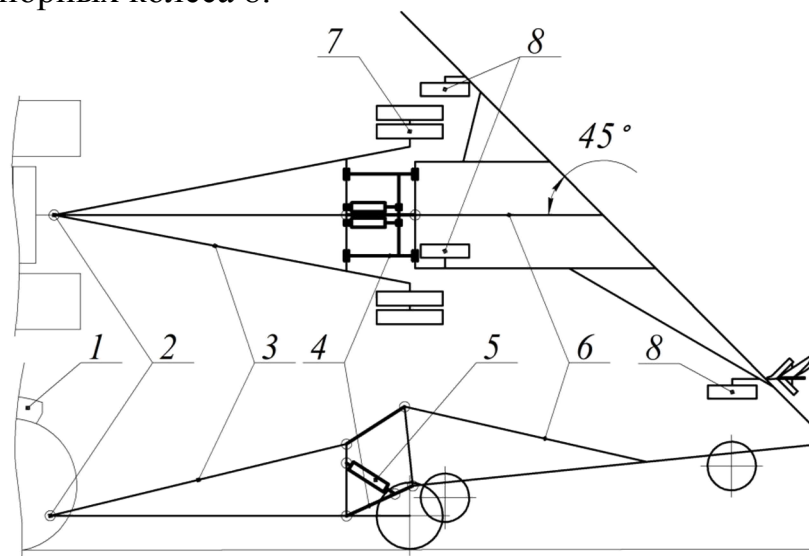


Рисунок 1 - Принципиальная схема пахотного агрегата, состоящего из трактора и прицепного плуга, оснащенного рабочими органами шириной захвата 0,6м: 1 – трактор; 2 – фаркоп; 3 – лафет; 4 – промежуточное звено; 5 – гидроцилиндр; 6 – плужная секция; 7 – транспортные колеса; 8 - опорные колеса.

Для обоснования основных параметров плуга было принято следующее условие:

$$P_{кр}(v)\eta_{и} = R_{п}(v), \quad (1)$$

где  $P_{кр}$  – крюковое усилие трактора, кН;  $v$  – скорость движения плуга, м/с;  $R_{п}$  – тяговое сопротивление плуга, кН;  $\eta_{и}$  – коэффициент использования тягового усилия трактора.



Величина коэффициента  $\eta_{\text{п}}$  определяется по известной эмпирической зависимости:

$$\eta_{\text{п}} = 0,964 - 0,0066 v^2, \quad (2)$$

На основании схемы (рисунок 2):

$$R_{\text{п}} = R_{\text{л}} + R_{\text{с}}, \quad (3)$$

где  $R_{\text{л}}$  – тяговое сопротивление лафета, кН;  $R_{\text{с}}$  – тяговое сопротивление плужной секции, кН.

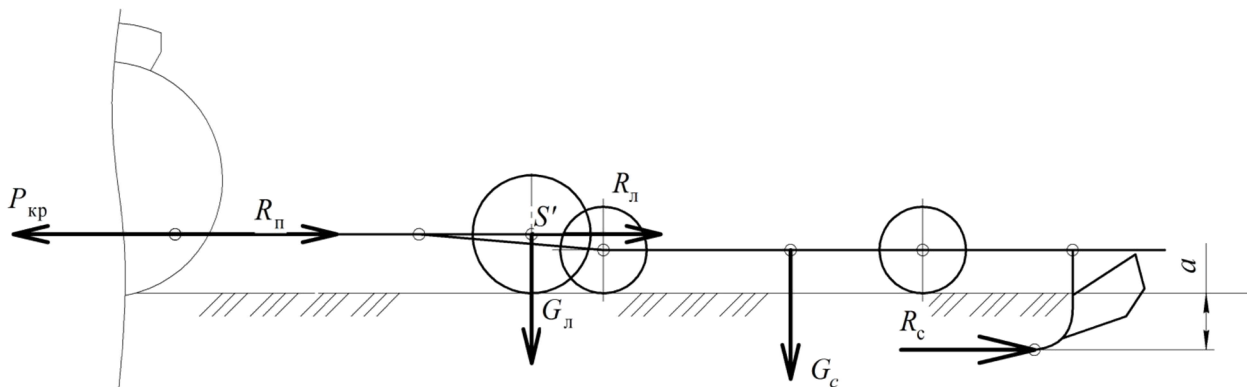


Рисунок 2 - Схема сил, действующих на прицепной лемешно-отвальный плуг общего назначения

Учитывая, что сила тяжести лафета в основном сосредоточена в задней его части, допустим, для упрощения расчета, что сила тяжести лафета  $G_{\text{л}}$  приложена к оси опорных колес  $S'$ . Тогда тяговое сопротивление лафета:

$$R_{\text{л}} = G_{\text{л}} \eta_{\text{л}}, \quad (4)$$

где  $G_{\text{л}}$  – сила тяжести лафета;  $\eta_{\text{л}}$  – коэффициент сопротивления перекатыванию колес лафета.

Тяговое сопротивление плужной секции на основании рациональной формулы академика В.П. Горячкина:

$$R_{\text{с}} = G_{\text{с}} f + kaB + \varepsilon aB v^2, \quad (5)$$

где  $G_{\text{с}}$  – сила тяжести плужной секции, кН;  $a$  – глубина обработки почвы, м;  $B$  – ширина захвата плуга, м;  $v$  – скорость движения плуга, м/с;  $f$ ,  $k$ ,  $\varepsilon$  – коэффициенты формулы В.П. Горячкина.

Известно, что

$$G_{\text{с}} = 0,001 \mu g B, \quad (6)$$

где  $\mu$  – удельная конструкционная масса плуга, кг/м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Подставим выражение (6) в формулу (5):

$$R_{\text{с}} = B(0,001 \mu g f + ka + \varepsilon a v^2). \quad (7)$$

Предварительный расчет, проведенный на основании анализа конструкции плугов ПБС-8 и принципиальной схемы нового прицепного плуга (рисунок 1), показал, что сила тяжести лафета

$$G_{\text{л}} = 0,7G_{\text{с}}. \quad (8)$$

Тогда тяговое сопротивление плуга на основании выражений (4), (6), (7), (8):

$$R_{\text{п}} = B(0,0007\mu g\eta_{\text{л}} + 0,001\mu g f + ka + \varepsilon a v^2). \quad (9)$$

Используя данные испытаний трактора тягового класса 8 Challenger MT865B (375 кВт), полученные в Nebraska Tractor Test Laboratory, и аппроксимируя их методом наименьших квадратов с величиной достоверности  $R^2 = 0,991$ , получили следующую эмпирическую зависимость крюкового усилия трактора от скорости агрегата при  $N_{\text{кр}} = N_{\text{кр.max}}$ :

$$P_{\text{кр}} = 329,79 - 94,374 v + 8,223 v^2. \quad (10)$$

Подставим в уравнение (1) выражения (2), (8), (10):

$$\begin{aligned} (329,79 - 94,374 v + 8,223 v^2)(0,964 - 0,0066 v^2) = \\ = B(0,0007\mu g\eta_{\text{л}} + 0,001\mu g f + ka + \varepsilon a v^2). \end{aligned} \quad (11)$$

Для определения ширины захвата плуга ориентировочно принимаем коэффициент сопротивления перекачиванию колес лафета  $\eta_{\text{л}} = 0,3$ . Учитывая, что плужная секция аналогична по конструкции навесным плугам ПБС, примем, что удельная конструкционная масса плужной секции  $\mu = 365$  кг/м. В результате исследования известных плугов серии ПБС на Поволжской МИС для чернозема среднесуглинистого были получены следующие коэффициенты эмпирической формулы академика В.П. Горячкина:  $f = 0,8$  кН/м<sup>2</sup>;  $k = 31$  кН/м<sup>2</sup>;  $\varepsilon = 1,58$  кНс<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>. Решение уравнения (11) графоаналитическим методом представлено на рисунке 3.

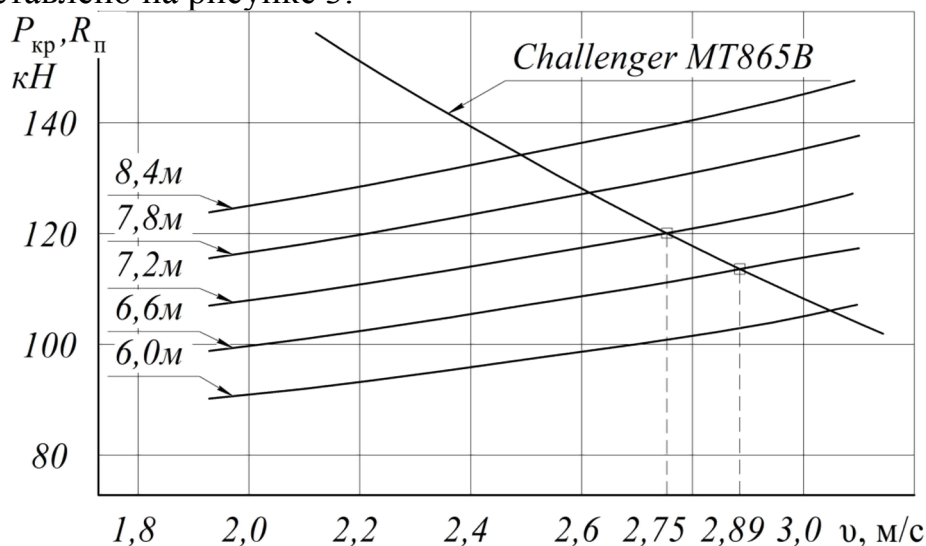


Рисунок 3 - Зависимость крюкового усилия трактора (Challenger MT865B тягового класса 8)  $P_{\text{кр}}$  и тягового сопротивления плуга  $R_{\text{п}}$  от скорости движения агрегата  $v$  при различной ширине захвата плуга

Анализ зависимостей (рисунок 3) показывает, что согласно агротехническим и эксплуатационно-технологическим требованиям, предъявляемым к работе лемешно-отвальных плугов общего назначения, целесообразно обеспечить работу пахотного агрегата в диапазоне скоростей 2,5–2,78 м/с. Следовательно, для

обеспечения оптимальной загрузки трактора ширина захвата прицепного плуга должна составлять  $B = 7,2$  м. В этом случае на раму плуга необходимо устанавливать 12 корпусов шириной захвата 0,6 м каждый.

Учитывая, что сила тяжести лафета приложена к оси его опорных колес, тогда нагрузка на колеса лафета в транспортном положении складывается из силы тяжести лафета  $G_{л}$  и реакции силы тяжести плужной секции  $G_c$  (рисунок 4).

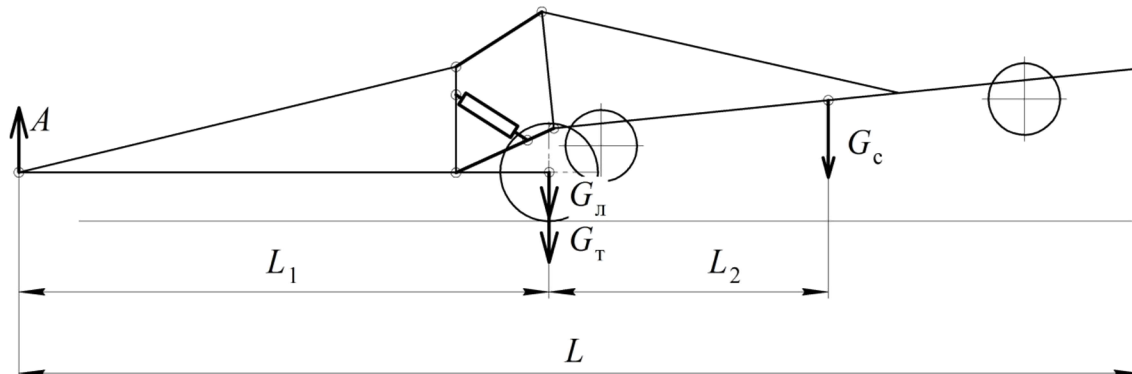


Рисунок 4 - Схема сил, действующих на плуг в транспортном положении

Длина лафета и нагрузка на его опорные колеса определяются по системе уравнений:

$$\begin{cases} A = G_c L_2 / L_1; \\ G_T = G_{л} + G_c (L_2 + L_1) / L_2, \end{cases} \quad (12)$$

где  $A$  – подъемная сила, действующая на фаркоп трактора, кН;  $L_2$  – расстояние от оси колеса лафета до центра тяжести плуга, м;  $L_1$  – длина лафета, м;  $G_T$  – нагрузка на колеса лафета в транспортном положении, кН;  $G_c$  – сила тяжести секции плуга, кН.

Принимаем, что центр тяжести плужной секции находится на середине длины основного бруса рамы плуга, тогда  $L_2 = 3,6$  м.

Решение системы уравнений (12) представлено на рисунке 5.

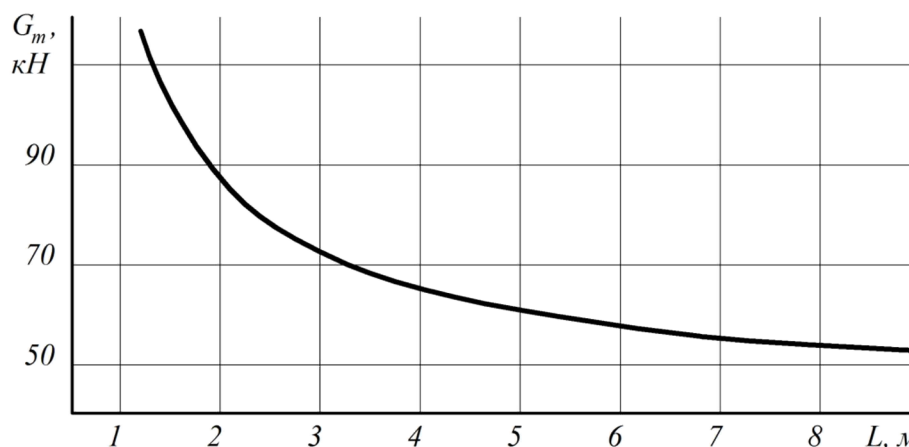


Рисунок 5 - Зависимость нагрузки на колеса  $G_T$  от длины лафета  $L_1$

Из рисунка 5 видно, что при нагрузке  $G_T = 60$  кН длина лафета должна быть 5,5 м, при этом нагрузка на фаркоп трактора  $A$  составит 16,9 кН.

На основании полученных результатов и патента РФ № 125806 была разработана конструктивно-технологическая схема прицепного плуга, предназначенного для агрегатирования с трактором тягового класса 8 (рисунок 6).

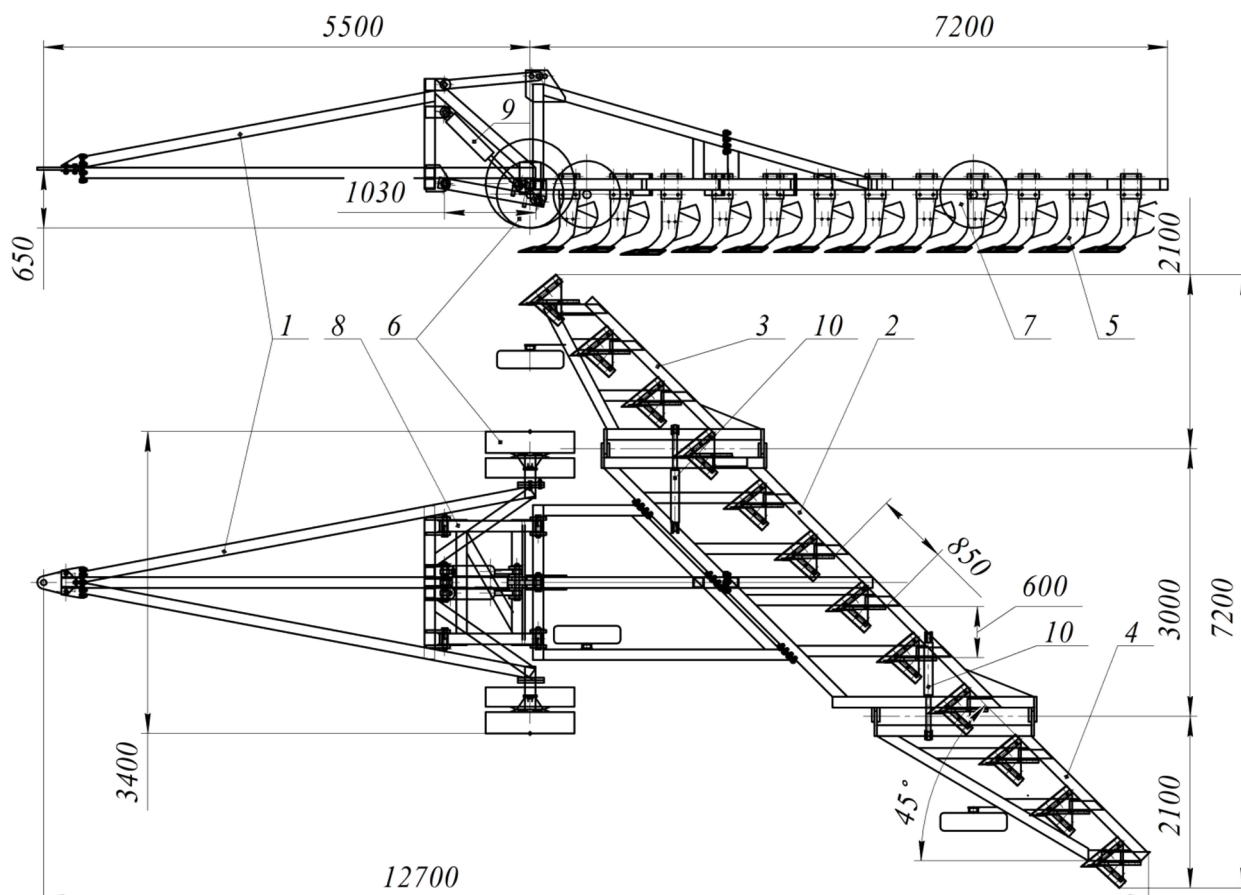


Рисунок 6 - Конструктивно-технологическая схема прицепного плуга для агрегатирования с трактором тягового класса 8: 1 – лафет; 2 – плужная секция; 3 – правая полурама; 4 – левая полурама; 5 – рабочий орган; 6 – транспортные колеса; 7 – опорные колеса; 8 – промежуточное звено, 9, 10 – гидроцилиндры

Плуг включает в себя лафет 1 (рисунок 6), на который через промежуточное звено 8, оснащенное гидроцилиндрами 9, навешена плужная секция, состоящая из трех частей 2, 3, 4. Боковые полурамы 3, 4 для удобства транспортирования агрегата поднимаются в вертикальное положение с помощью гидроцилиндров 10.

При ширине захвата 7,2 м плуг имеет длину 12,7 м. При этом плечо поворота (расстояние от точки прицепа до оси колес лафета) составляет 5,5 м, что обеспечивает высокую маневренность агрегата.

Исследованиями корпусов, которые устанавливаются на разработанный плуг, было установлено, что они уравновешены и имеют одинаковую силу сопротивления  $R$  (рисунок 7), а равнодействующая этой силы для каждого корпуса параллельна направлению движения плуга. Для уравновешивания плуга в горизонтальной плоскости необходимо чтобы сумма моментов сил  $R$  относительно точки прицепа  $J$  равнялась нулю, т. е.:

$$\sum(M_1(R) + M_2(R) + \dots + M_{11}(R) + M_{12}(R)) = 0, \quad (13)$$

откуда

$$Rh_6 = Rh_7 \text{ или } h_6 = h_7. \quad (14)$$

Следовательно, линия тяги трактора должна проходить через середину рамы между шестым и седьмым корпусом (рисунок 7).

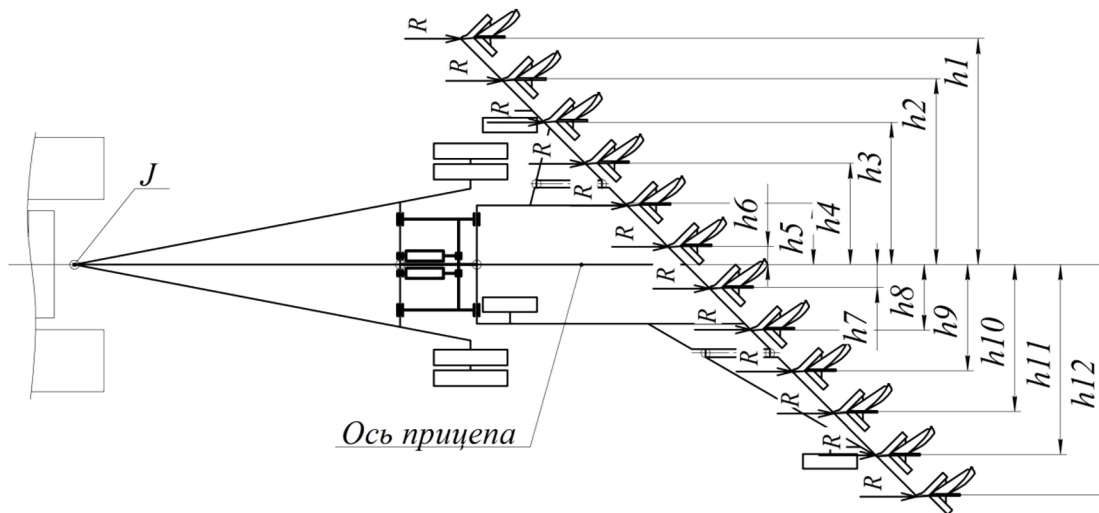


Рисунок 7 - Схема уравнивания 12-корпусного прицепного плуга

Основными эксплуатационно-технологическими показателями плуга являются глубина обработки, ширина захвата, скорость движения, тяговое сопротивление, потребляемая мощность и энергоёмкость технологического процесса основной обработки почвы.

На основании выражения (9) зависимость тягового сопротивления плуга с шириной захвата 7,2 м при глубине обработки почвы 0,28 м выглядит следующим образом (рисунок 8).

Анализ рисунка 8 показывает, что в рассматриваемом случае максимальное тяговое сопротивление плуга ограничивается тяговыми возможностями трактора и составляет 118,1 кН.

Мощность, затрачиваемая на передвижение разработанного плуга, в зависимости от скорости агрегата определяется по формуле:

$$N_{пл}(v) = vB(0,0007\mu g\eta_l + 0,001\mu g f + ka + \varepsilon av^2), \quad (15)$$

где  $N_{пл}$  – мощность, затрачиваемая на перемещение плуга, кВт.

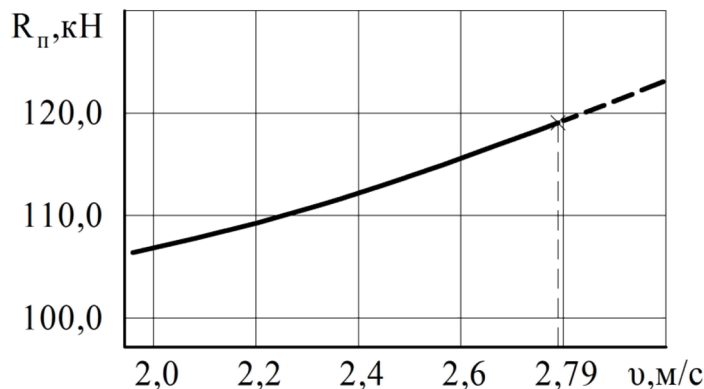


Рисунок 8 - Зависимость тягового сопротивления прицепного 12-корпусного плуга  $R_{п}$  от скорости  $v$

Формула производительности пахотного агрегата  $W$  в функции скорости движения  $v$  для плуга примет вид:

$$W(v) = 0,36Bv\tau\beta, \quad (16)$$

где  $\tau$  – коэффициент использования времени смены;  $\beta$  – коэффициент использования ширины захвата.

Величина коэффициента  $\tau$  определяется по известной эмпирической зависимости:

$$\tau = (0,924 - 0,0157v). \quad (17)$$

Подставим выражение (17) в выражение (16):

$$W(v) = 0,36Bv(0,924 - 0,0157v)\beta. \quad (18)$$

Принимаем  $\beta = 1$ . Решение выражения (18) для агрегата трактора мощностью 375 кВт с плугом с шириной захват 7,2 м представлено на рисунке 9.

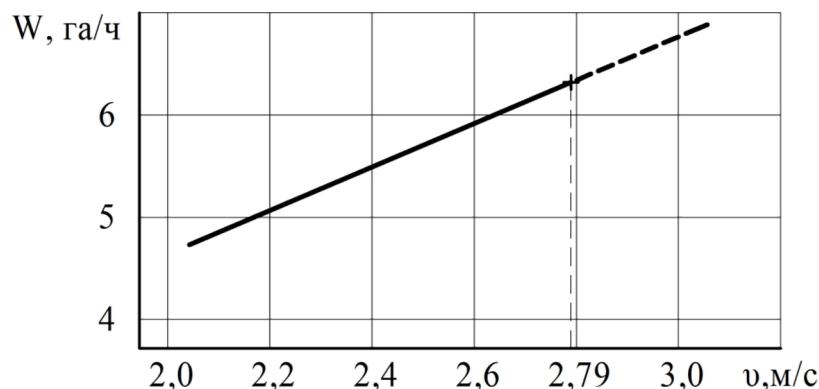


Рисунок 9 - Зависимость производительности  $W$  пахотного агрегата Challenger MT865B и двенадцатикорпусного прицепного плуга от скорости  $v$

Из рисунка 9 видно, что при неизменной ширине захвата плуга  $B$  с ростом скорости производительность агрегата линейно возрастает до полной загрузки трактора. При этом влияние скорости на коэффициент  $\tau$  незначительное (выражение (17)).

Энергоемкость технологического процесса основной обработки почвы  $\mathcal{E}$  (кВт·ч/га), выполняемой плугом на известной скорости, определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = N_{пл}/W, \quad (18)$$

Тогда на основании выражения (18) формула для определения энергоемкости технологического процесса в зависимости от скорости движения агрегата будет иметь вид:

$$\mathcal{E}(v) = N_{пл}(v)/W(v). \quad (19)$$

На рисунке 10 представлена зависимость энергоемкости технологического процесса основной обработки почвы, выполняемого пахотным агрегатом, состоящим из трактора Challenger MT865B и прицепного двенадцатикорпусного плуга.

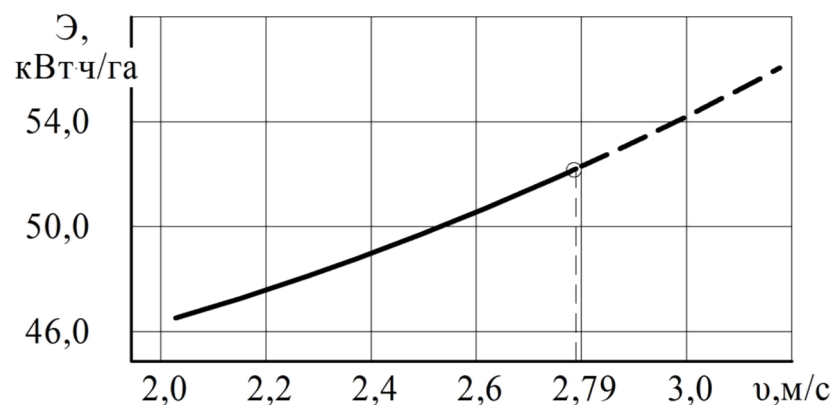


Рисунок 10 - Зависимость энергоемкости технологического процесса  $\mathcal{E}$ , выполняемого агрегатом трактора Challenger MT865B с двенадцатикорпусным плугом от скорости движения  $v$

Из рисунка 10 следует, что энергоемкость технологического процесса, выполняемого прицепным плугом, находится в пределах 46,0–52,3 кВт·ч/га для скорости движения агрегата 2,0–2,79 м/с, что свидетельствуют о высокой эффективности нового прицепного двенадцатикорпусного плуга.

В третьей главе *«Программа и методика экспериментальных исследований»* изложены программа экспериментальных исследований с описанием оборудования, применяемого в лабораторно-полевых исследованиях, а также методика исследований. При проведении исследований был использован пахотный агрегат, состоящий из двенадцатикорпусного прицепного плуга (ПБС-12П) и трактора Challenger MT865B (рисунки 11 и 12).

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



Рисунок 11 - Прицепной плуг ПБС-12П в транспортном положении

Рисунок 12 - Пахотный агрегат Challenger MT865В + ПБС-12П, выполняющий основную обработку почвы



В четвертой главе *«Результаты и анализ лабораторно-полевых исследований прицепного лемешно-отвального плуга общего назначения для агрегатирования с тракторами тягового класса 8»* приведены результаты лабораторно-полевого исследования прицепного лемешно-отвального плуга общего назначения ПБС-12П и дан анализ сходимости теоретических и экспериментальных показателей.

Лабораторно-полевые исследования технологического процесса основной обработки почвы, выполняемого плугом ПБС-12П, проводили в ЗАО «Зоринское» Советского района Саратовской области на зяблевой обработке почвы по стерне суданской травы. Тип почвы – темно-каштановый суглинок. использовали установочную глубину обработки 0,17 и 0,29 м и различные скорости движения. В процессе испытаний опытный плуг агрегатировали с трактором Challenge MT865В. Влажность почвы в слое 0...0,3 м составляла 17,7...19,5 %, твердость – 1,1...1,9 МПа.

Агротехнические показатели, полученные при исследовании агрегата Challenger MT865В + ПБС-12П, представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что при высокой степени крошения почвы качество обработки почвы плугом ПБС-12П по основным показателям соответствует агротехническим требованиям.

Энергетическую оценку технологического процесса основной обработки почвы проводили с целью проверки результатов теоретических исследований и энергетических показателей на соответствие мощностным характеристикам тракторов тягового класса 8.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что при глубине обработки 0,28 м тяговое сопротивление плуга при изменении скорости агрегата от 1,94 до 2,72 м/с составляет 98...114,6 кН (рисунок 13), что соответствует тяговым характеристикам тракторов с номинальным усилием более 108 кН (согласно ГОСТ 27021–86), т. е. по тяговому сопротивлению плуг ПБС-12П соответствует тракторам тягового класса 8.



**Таблица 1 - Агротехнические показатели, полученные при лабораторно-полевых исследованиях пахотного агрегата Challenger MT865B + ПБС-12П**

Показатель	Значение			
	Скорость движения, м/с	2,56	2,78	2,22
Ширина захвата, м	6,95			
Глубина обработки				
установочная, м	0,17		0,29	
средняя, м	0,178	0,169	0,29	0,263
среднеквадратичное отклонение, ±м	0,013	0,011	0,022	0,015
коэффициент вариации, %	7,0	6,2	7,5	5,5
Ширина захвата				
средняя, м	6,4	6,6	6,3	6,4
среднеквадратичное отклонение, ± м	0,28	0,11	0,11	0,11
коэффициент вариации, %	4,3	1,6	1,7	1,7
отклонение фактической от установленной ширины захвата, ± %, не более	8,6	5,8	10,0	8,6
Гребнистость поверхности пашни, м, не более	0,041	0,043	0,050	0,045
Крошение почвы, %, размер фракций до 50 мм	87,9	90,9	82,9	91,3
Степень заделки растительных и пожнивных остатков, %, не менее	95,6	95,4	95,3	95,7
Глубина заделки растительных остатков, см	12,2	12,8	17,2	17,0
Забивание рабочих органов почвой и растительными остатками	Не наблюдалось			

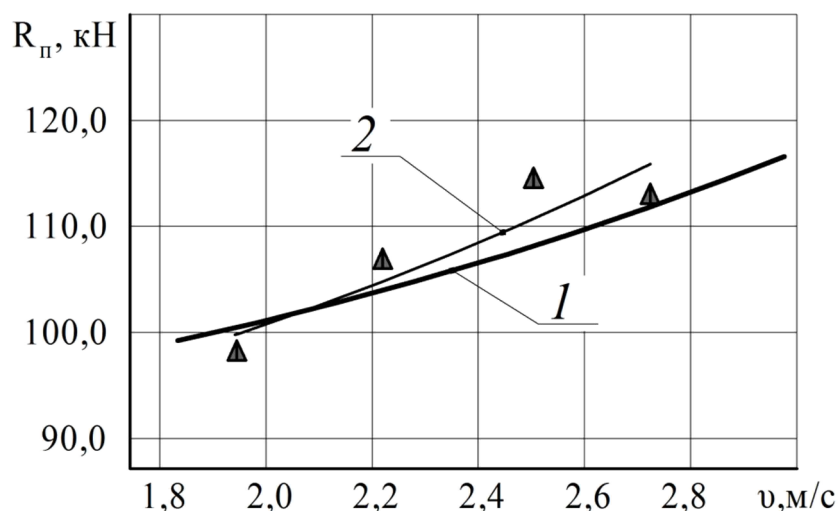


Рисунок 13 - Зависимости тягового сопротивления плуга  $R_p$  от скорости  $v$  при глубине обработки 0,28 м: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

На рисунке 14 представлены зависимости энергоемкости технологического процесса основной обработки почвы от скорости при глубине обработки 0,28 м.

Из рисунков 13 и 14 видно, что экспериментальные и теоретические зависимости для тягового сопротивления и энергоемкости технологического процесса, выполняемого агрегатом Challenger MT865B + ПБС-12П, имеют одинаковую закономерность и на основании критерия оценки достоверности  $\chi^2$  согласуются с высокой доверительной вероятностью 0,95.

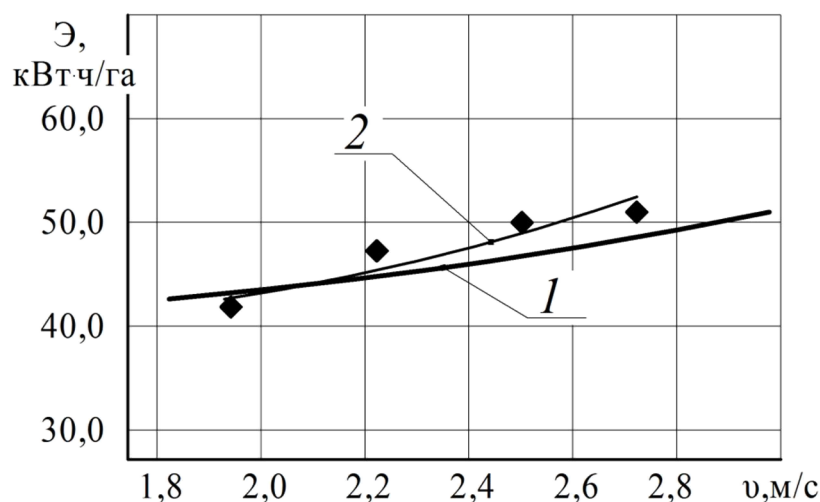


Рисунок 14 - Зависимости энергоёмкости технологического процесса основной обработки почвы  $\mathcal{E}$  от скорости  $v$  при глубине обработки 0,28 м: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

В пятой главе «Исследование эффективности применения прицепно-лемешно-отвального плуга ПБС-12п и его экономическая оценка» представлены результаты исследования эффективности применения плуга ПБС-12П, результаты его внедрения и расчет экономической эффективности.

Эксплуатационно-технологические показатели работы пахотного агрегата, состоящего из прицепного плуга ПБС-12П и трактора Challenger MT865В, на двух различных агротехнических фонах представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Эксплуатационно-технологические показатели агрегата Challenger MT865В + ПБС-12П

Показатель	Фон 1	Фон 2
Скорость движения, м/с	2,78	2,53
Ширина захвата, м	6,6	6,4
Глубина обработки (установочная), м	0,17	0,3
Производительность за 1 ч, га		
основного времени	6,60	5,82
сменного времени	4,87	4,32
эксплуатационного времени	4,83	4,29
Удельный расход топлива за время сменной работы, кг/га	9,36	15,58
Эксплуатационно-технологические коэффициенты		
технологического обслуживания	0,99	0,99
надежности технологического процесса	0,99	0,99
использования сменного времени	0,74	0,74
использования эксплуатационного времени	0,73	0,74
Заделка растительных и пожнивных остатков, %, не менее	95,4	95,7
Гребнистость поверхности почвы (высота гребней), см, не более	4,3	4,5
Забивание и залипание рабочих органов	Не наблюдалось	

Из таблицы 2 видно, что при высоких эксплуатационно-технологических показателях пахотного агрегата производительность за 1 ч основного времени составляет 6,6...5,82 га, при этом расход топлива – 9,36...15,58 кг/га. Обычно при основной обработке почвы известными лемешно-отвальными плугами затрачивается 18...25 кг/га.

С 2012 по 2014 год в ООО «Авангард-СХ» Советского района Саратовской области с помощью предлагаемого агрегата было обработано более 6000 га пашни.

В таблице 3 приведены показатели экономической эффективности использования агрегатов Challenger MT865B + ПБС-12П и Challenger MT865B с полунавесным двенадцатикорпусным плугом Gregoire Besson SPSL 9. Расчет производился по ценам 2013г.

**Таблица 3 - Показатели экономической эффективности применения пахотных агрегатов Challenger MT865B + ПБС-12П и Challenger MT865B + Gregoire Besson SPSL 9 (основная обработка почвы)**

Показатель	Challenger MT865B + Gregoire Besson SPSL 9	Challenger MT865B + ПБС-12П
Затраты труда, чел.-ч/га	0,24	0,18
Снижение затрат труда, %		25
Себестоимость работ, руб./га	359,58	217,37
Снижение себестоимости от использования предлагаемого орудия, %		39,5
Годовая экономия затрат, руб.		409565
Срок окупаемости, лет		2,2

Из таблицы 3 видно, что себестоимость обработки почвы новым плугом общего назначения ПБС–12П на 25 % ниже по сравнению с известным плугом зарубежного производства Gregoire Besson SPSL9. Разница в полных затратах средств способствовала получению годового приведенного экономического эффекта для нового плуга в размере 409565 руб.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Анализ принципиальных схем прицепных плугов общего назначения показал, что для эффективной работы тракторов тягового класса 8 необходимы прицепные плуги, которые должны состоять из лафета, выполненного в виде прицепа, и присоединенной к нему через промежуточное звено рамы, на которой под углом 45° к направлению движения агрегата установлены корпуса шириной захвата 0,6 м и опорные колеса с механизмами регулирования глубины обработки почвы.

2. Используя разработанную принципиальную схему прицепного плуга, аналитические и эмпирические выражения, установлено, что конструктивно-технологическая схема плуга для агрегатирования с трактором тягового класса 8 должна включать в себя лафет длиной 5,5 м, опирающийся на четыре колеса, расположенные на одной оси, к которому посредством гидрофи-

цированного промежуточного звена, служащего для перевода плуга в транспортное положение, навешана плужная секция. Последняя состоит из основной секции и двух боковых полурам, которые при транспортировании плуга гидроцилиндрами поднимаются в вертикальное положение. На плужную секцию устанавливают 12 корпусов шириной захвата 0,6 м и три опорных колеса с механизмами регулировки глубины обработки почвы. В рабочем положении общая длина плуга составляет 12,7 м, а ширина захвата 7,2 м, при транспортировании ширина плуга 4,4 м.

3. Теоретически определено, что пахотный агрегат, состоящий из трактора мощностью 375 кВт и плуга с шириной захвата 7,2 м, на допустимой по агротехническим требованиям скорости 2,8 м/с и при полной загрузке трактора достигает максимальной производительности 6,4 га/ч; при этом энергоёмкость процесса обработки почвы составляет 52 кВт·ч/га.

4. Экспериментальными исследованиями технологического процесса основной обработки почвы, выполняемого прицепным плугом, установлено, что показатели качества обработки почвы полностью соответствуют агротехническим требованиям. Тяговое сопротивление плуга при увеличении скорости движения от 1,94 до 2,72 м/с возросло от 98 до 113 кН. Закономерности изменения тягового сопротивления, производительности, энергозатрат пахотного агрегата с высокой вероятностью совпадают с экспериментальными зависимостями и на основании критерия  $\chi^2$  согласуются с доверительной вероятностью 0,95.

5. Применение в хозяйственных условиях прицепного плуга, агрегатированного с трактором Challenger MT865B, обеспечивает производительность 6,6 га/ч при глубине обработки почвы 16,9 см и загрузке трактора 86 %, а при глубине обработки 26,3 см и загрузке трактора 93 % производительность составляет 5,8 га/ч. При этом расход дизельного топлива – соответственно 9,36 и 15,58 кг/га. Себестоимость обработки почвы предлагаемым плугом по сравнению с двенадцатикорпусным полунавесным оборотным плугом Gregoire Besson SPSL9 ниже на 142,21 руб./га. Годовой экономический эффект от применения предлагаемого прицепного плуга составляет 409565 руб.

### **Рекомендации производству**

Полученные результаты можно использовать при проектировании прицепных плугов, агрегатированных с тракторами различного тягового класса.

Необходимо организовать серийное производство предлагаемых прицепных плугов на специализированных заводах РФ.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Совершенствование предлагаемых прицепных плугов путем установки на раму плуга плоскорезных, чизельных и щелерезных рабочих органов.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Работы опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:*

1. *Побежимов, Г. Б.* Направления повышения производительности энергонасыщенных пахотных агрегатов / В. М. Бойков, Г. Б. Побежимов // Научное обозрение. – 2014. – № 12. – Ч. 1. – С. 34–37.

2. *Побежимов, Г. Б.* Результаты исследования прицепного лемешно-отвального плуга общего назначения ПБС-12П / В. М. Бойков, Г. Б. Побежимов // Научное обозрение. – 2015. – № 2. – С. 28–31.

3. *Побежимов, Г. Б.* Энергетические показатели прицепного плуга ПБС-12П / Г. Б. Побежимов, В. М. Бойков, Е. С. Нестеров // Научное обозрение. – 2015. – № 7. – С. 35–39.

4. *Побежимов, Г. Б.* Конструктивно-технологическая схема прицепного плуга для тракторов мощностью 300–400 кВт / В. М. Бойков, Г. Б. Побежимов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 5. – С. 5–6.

*Статьи и тезисы докладов в других изданиях:*

5. *Побежимов, Г. Б.* Развитие конструкции плугов в СССР и РФ / В. М. Бойков, Г. Б. Побежимов // Вавиловские чтения – 2014 : сб. статей Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 127-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова / ФБГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – С. 174–176.

6. *Побежимов, Г. Б.* Разработка тензооборудования для определения тягового сопротивления прицепного плуга / Г. Б. Побежимов // Вавиловские чтения – 2014 : сб. статей Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 127-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова / ФБГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – С. 203–206.

7. *Побежимов, Г. Б.* Прицепные плуги для агрегатирования с энергонасыщенными тракторами / В. М. Бойков, Г. Б. Побежимов // Приоритеты развития АПК в современных условиях : сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 40-летию ФБГОУ ВПО «Смоленская ГСХА». – Смоленск : Универсум, 2014. – Ч. II. – С. 152–155.

*В описаниях патентов:*

8. Пат. на полезную модель № 113906 Российская Федерация, МПК А 01 В 3/24. Плуг прицепной / Бойков В. М., Пронин В. М., Саяпин О. В., Бойкова Е. В., Побежимов Г. Б. ; патентообладатель Бойков В. М. – № 2011143624/13 ; заявл. 31.10.2011 ; опубл. 10.03.2012, Бюл. № 7. – 5 с.

9. Пат. на полезную модель № 125806 Российская Федерация, МПК А 01 В 3/24. Плуг прицепной / Бойков В. М., Пронин В. М., Саяпин О. В., Бойкова Е. В., Побежимов Г. Б. ; патентообладатель Бойков В. М. – № 2012141125/13 ; заявл. 27.09.2012 ; опубл. 20.03.2013, Бюл. № 8. – 5 с.

---

Подписано в печать

Формат 60×84 1/16

Печ. л. 1,0

Тираж 100

Заказ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»  
410012, Саратов, Театральная пл., 1