

ХАФИЗОВ Рамиль Наилович

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТОРА И АГРЕГАТА ДЛЯ
ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С УЧЕТОМ ИХ ВЛИЯНИЯ НА УРОЖАЙ**

Специальности: 05.20.01 – технологии и средства механизации
сельского хозяйства

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре «Тракторы, автомобили и энергетические установки» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»)

Научный руководитель: **Хафизов Камиль Абдулхакович,**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тракторы, автомобили и энергетические установки» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный аграрный университет»

Официальные оппоненты: **Мухамадьяров Фарзутдин Фаткутинович,**
доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловые двигатели, автомобили и тракторы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия»

Гафуров Ильдар Данилович,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и машинно-тракторные комплексы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита состоится 1 июня 2017 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного Совета ДМ 220.003.04 при ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ, ФГБОУ ВО «Ульяновская ГСХА им. П.А.Столыпина», ФГБОУ ВО Казанский ГАУ по адресу: 450001, г.Уфа, ул. 50 лет Октября, 34, ауд. 257/3

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ на сайте http://www.bsau.ru/sciense/dissertation_couneil/defending

Автореферат разослан «___» марта 2017г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор

Мударисов
Салават Гумерович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Устойчивое развитие сельскохозяйственного производства предполагает, в том числе и непрерывный рост производительности труда. С целью повышения производительности труда в сельскохозяйственном производстве, для нее поставляются все более энергонасыщенные трактора высоких тяговых классов отечественного и иностранного производства. Эффективность использования тракторов и машинно-тракторных агрегатов на их базе зависит от особенностей технологической операции, оптимальности параметров и режимов работы, как трактора, так и машинно-тракторного агрегата в целом. Ряд отечественных и зарубежных ученых отмечали в своих трудах, что при оптимизации параметров сельскохозяйственной техники, в том числе и тракторов, необходимо использовать системный подход, учитывать влияние параметров и режимов работы техники на конечный результат производства – урожайность возделываемой культуры. Также имеется мнение, что для прогнозных расчетов нежелательно использовать критерии оптимизации, основанные на денежных единицах, ибо они сильно подвержены субъективным процессам, присущим финансовой среде.

Поэтому исследования, направленные на оптимизацию параметров и режимов работы тракторов и машинно-тракторных агрегатов на отдельной технологической операции с использованием комплексного, объективного критерия оптимизации – суммарные энергетические затраты, учитывающего влияние параметров трактора на конечный результат производства, является актуальной задачей.

Работа соответствует плану НИР Казанского государственного аграрного университета по теме «Энергосбережение в сельскохозяйственном производстве», выполненному согласно Государственной программе Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года" (утвержденной распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. N 2446-р) и Республиканской целевой программе "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан на годы и на перспективу до 2020 года" (с изменениями от 15 декабря 2010 г.) (Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 29 июля 2010 г. N 604 "Об утверждении долгосрочной целевой программы).

Степень разработанности темы. Повышением эффективности использования тракторов и машинно-тракторных агрегатов занимались большое количество ученых. Созданию и развитию науки эффективной производственной эксплуатации сельскохозяйственной техники посвятили свои труды: Линтварев Б.А., Кацыгин В.В., Болтинский В.Н., Свирщевский Б.С., Трепененков И.И., Барам Х.Г., Завалишин Ф.С., Полканов И.П., Веденяпин Г.В., Киртбая Ю.К., Сергеев М.Н., Орлов Н.М., Зангиев А.А., Иофинов С.А., Хабатов Р.Ш., Ксенович И.П., Гуськов В.В., Парфенов А.П., Агеев Л.Е., Красовских В.С., Кутьков Н.М., Скойбеда А.Г., Ляско М.И., Мазитов Н.К., Саклаков В.Д., Мухамадьяров Ф.Ф., Хафизов К.А., Шаров Н.М. и многие другие ученые. Однако до сегодняшнего дня отсутствует метод определения основных параметров трактора, учитывающий их влияние на формируемый урожай.

Цель работы. Повышение энергетической эффективности функционирования посевных агрегатов, за счет оптимизации основных параметров трактора, параметров и режимов работы машинно-тракторного агрегата.

Задачи исследования.

1. Разработать системную энергетическую математическую модель посевного

агрегата для оптимизации основных параметров трактора, ширины захвата и скорости перемещения агрегата с учетом их влияния на формируемый урожай;

2. Разработать программу, методику и провести экспериментальные исследования тракторов и посевных агрегатов для получения недостающих зависимостей энергетической математической модели посевного агрегата, сбора данных для проверки модулей математической модели на адекватность;

3. Провести вычислительные эксперименты с целью определения оптимальных параметров трактора и посевного агрегата в целом, выявить устойчивость оптимальных параметров при изменении факторов рассматриваемой системы;

4. Составить практические рекомендации по выбору параметров посевных машинно-тракторных агрегатов, определить эффективность их внедрения в производство.

Объект исследований. Посевные машинно-тракторные агрегаты.

Предмет исследований. Качественные и количественные взаимосвязи между показателем эффективности – суммарные энергозатраты, параметрами трактора и машинно-тракторного агрегата, урожайностью сельскохозяйственных культур и факторами внешней среды, влияющими на эффективность работы агрегатов.

Методология и методы исследования. Принятая методология проведенных исследований опирается на положения системного анализа. В системном анализе принята концепция построения моделей систем, называемая гомеостатической (подобное состояние). Построение таких моделей опирается на интенсивное развитие информационных технологий. Основным элементом гомеостатической системы является формальная система, которая в отличие от обычных математических моделей – являющихся совокупностью уравнений, часто на основе использования какого-либо математического аппарата, включает в себя различные математические и логические модули, из которых создают алгоритм решения проблемы. Для посевных машинно-тракторных агрегатов, формальная система сложена из эмпирических зависимостей, полученных с использованием теории подобия, методов математической статистики, из прикладного математического аппарата теории двигателей, теории тракторов, эксплуатации машинно-тракторного парка.

Сюда также включаются методики, программы и алгоритмы, позволяющие просчитывать эффективность функционирования системы – допустим, определять энергетические или денежные затраты агрегата на единицу выполненной работы. Оптимизация параметров трактора и посевного агрегата происходит на основе использования численных методов, реализованных через компьютерные программы на базе системы компьютерной математики МАТЛАБ.

Научная новизна:

– метод определения основных параметров трактора (массы трактора и мощности его двигателя) для работы на отдельной технологической операции, с учетом влияния параметров трактора на формируемый урожай, с целью достижения минимальных суммарных энергетических затрат;

– метод определения максимального давления пневматического колеса на почву, разработанный с использованием теории подобия и планирования экспериментов;

– результаты натурных и вычислительных экспериментальных исследований посевных машинно-тракторных агрегатов по выявлению оптимальных параметров трактора и агрегата для посева зерновых культур.

Практическая значимость исследований заключается в том, что разработанный метод оптимизации параметров тракторов, с учетом их влияния на формируемый урожай позволяет использовать его как при проектировании новых конструкций тракторов, так и для подбора посевных агрегатов на базе существующих тракторов. Практическое использование результатов исследования ведет к снижению суммарных энергетических затрат до 16000 МДж/га в зависимости от используемых тракторов, посевных комплексов и свойств почвы. Результаты исследования переданы МСХиП РТ, апробированы в КФХ «Мухаметшин», ООО «Саба» Сабинского района.

Публикации. По результатам исследований опубликованы 45 статей, в том числе 9 – в журналах из перечня ведущих периодических изданий (3 статьи изданы без соавторов), определенных ВАК. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Материалы исследований отражены в учебном пособии. Общий объем опубликованных работ 12,4 п.л., из них автору принадлежат 6,93.

Апробация работы. Основные положения проведенных исследований доложены и одобрены: на научных конференциях профессорско-преподавательского состава Казанского ГАУ — в 2009 - 2016 гг.; на Международных научно-практических конференциях «Автомобиль и техносфера» (Казань, 2009 и 2011 гг.); на Международной научно-практической конференции «Образование, наука и производство. Новые технологии как инструмент реализации стратегии развития и модернизации – 2020» (Казань, 2012 г.); «Новации XXI века: технологии, экономика, творчества» (Тамбов, 2013 г.); на Международной научно-практической конференции «Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники» (Уфа, 2013 г.); на научно-техническом совете Института механизации и технического сервиса Казанского ГАУ в 2016 г.

Степень достоверности полученных результатов обеспечивалась применением методологии системного анализа, использованием статистических методов обоснования количества измерений и обработки экспериментальных данных, сравнением значений промежуточных параметров с результатами других исследований, что обеспечило хорошую сходимость расчетных и экспериментальных показателей.

Вклад автора в проведенное исследование. Исследование проведено автором самостоятельно. Им сформулированы цель и задачи исследований, разработаны математические модели подсистем, системной энергетической модели посевных машинно-тракторных агрегатов: математическое описание подсистемы для расчёта прямых энергетических затрат через топливо и смазочные материалы; математическое описание подсистемы для расчета параметров колесного движителя в зависимости от массы трактора; разработана методика расчета максимального давления пневматического колеса на почву с использованием теории подобия, теории планирования многофакторных экспериментов, получены уравнения регрессии.

Лично автором разработана программа и методики экспериментальных исследований, получены необходимые зависимости. На основе многофакторного эксперимента выявлено влияние параметров трактора и посевного агрегата на формируемый урожай и проведена проверка системной энергетической математической модели на адекватность. Разработаны рекомендации производству.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 218 страницах машинописного текста, содержит 51 таблиц, 75 рисунков, список литературы из 135 наименований.

На защиту выносятся следующие основные положения.

– системная энергетическая математическая модель посевного машинно-тракторного агрегата, учитывающего влияние параметров трактора и посевного агрегата на формируемый урожай;

– метод определения максимального давления пневматического колеса на почву, разработанный на основе использования теории подобия и уравнения регрессии, описывающие изменение давления колеса трактора на почву от параметров трактора, его движителя и физико-механических свойств почвы;

– результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров трактора и посевного агрегата, направленных на снижение суммарных энергетических затрат, учитывающих энергию потеряннного урожая.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Содержит краткое обоснование актуальности выполненного исследования, приведены научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ» проанализированы технологии возделывания зерновых культур, которые условно разделены на пять категорий – *обычные, экологические, нормальные, интенсивные и технологии точного земледелия*. Выявлено – используемая техника, ее параметры зависят от применяемых технологий.

При посеве и выборе типа сеялок важна подготовка почвы к посеву, поэтому проведена классификация систем основной обработки почвы в севообороте. Выделены: *отвальная, мульчирующая, комбинированная, нулевая технологии* и установлена применимость различных сеялок и посевных комплексов при использовании указанных технологий.

В связи с тем, что на одной и той же технологической операции используются трактора различных тяговых классов, поставлен вопрос – *Трактора с какими основными параметрами эффективнее на технологической операции - посев?*

В главе рассмотрены сложившиеся методы определения основных параметров тракторов, общим недостатком которых является отсутствие влияния параметров трактора на формируемый урожай культур.

Ни один из используемых сегодня показателей эффективности не учитывает влияния параметров техники на формируемый урожай, в связи с этим сделан вывод о необходимости, при решении указанной проблемы, использования системного подхода и включения в рассматриваемую систему такого элемента как урожайность культуры.

Глава заканчивается постановкой цели и задач исследования.

Во второй главе «СИСТЕМНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА» проанализированы возможные варианты систем и показатели эффективности этих систем и их элементов, которые можно рассматривать для достижения поставленных цели и задач исследования. Выявлено, что чем сложнее рассматриваемая система, тем более

обобщающим, системным, комплексным должен быть показатель эффективности системы, чтобы вобрать в себя все частные показатели эффективности элементов и подсистем сложной системы.

Критерий оптимизации параметров и режимов работы трактора и посевного МТА в целом выглядит следующим образом:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{и.тр}} + \mathcal{E}_{\text{и.схм}} + \mathcal{E}_{\text{и.пр}} + \mathcal{E}_{\text{рто}} + \mathcal{E}_{\text{с.р.}} + \mathcal{E}_{\text{упр}} + \mathcal{E}_{\text{тсм}} + \mathcal{E}_{\text{агр}} + \mathcal{E}_{\text{упл}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где \mathcal{E} – удельные суммарные энергетические затраты, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{и.тр}}$, $\mathcal{E}_{\text{и.схм}}$, $\mathcal{E}_{\text{и.пр}}$ – энергия, затраченная соответственно на изготовление трактора, сельскохозяйственной машины, прицепа, приходящаяся на 1 га, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{рто}}$ – энергия, затраченная на все виды ремонта и техническое обслуживание трактора, прицепа и сельскохозяйственной машины, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{с.р.}}$ – энергия, затраченная на сборку и разборку посевного агрегата, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{упр}}$ – энергия, затраченная механизатором на управление трактором (повороты, остановку и трогание с места и переключение передач), МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{тсм}}$ – энергия, затраченного топлива, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{агр}}$ – энергия урожая, потерянного из-за нарушения агротехнических сроков выполнения технологической операции, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{упл}}$ – энергия урожая, потерянного из-за уплотнения почвы движителями трактора МДж/га.

Задача построения системной энергетической математической модели сводится к определению зависимости каждой составляющей суммарных энергетических затрат от основных параметров трактора и посевного агрегата.

Энергию $\mathcal{E}_{\text{и}}$, затраченную на изготовление составных элементов МТА (трактора, сельхозмашины, прицепа), приходящуюся на 1 га обработанной площади, можно определить, используя зависимость:

$$\mathcal{E}_{\text{и}} = \frac{\mathcal{E}'_{\text{изг}}}{W_{\text{см}} T_{\text{год}} T_{\text{сл}}}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}'_{\text{изг}}$ – энергия, затраченная на изготовление составных элементов МТА (трактора, сельхозмашины, прицепа), МДж; $W_{\text{см}}$ – сменная производительность посевного агрегата, га/ч; $T_{\text{год}}$ – загрузка техники (трактора, сельхозмашины, прицепа) в часах в году, ч/год; $T_{\text{сл}}$ – срок службы техники (трактора, сельхозмашины, прицепа) в годах.

По такой же схеме рассчитываются затраты энергии на техническое обслуживание и ремонт тракторов и сельскохозяйственных машин.

Энергозатраты на управление агрегатом, энергия, затраченная на разборку и сборку МТА, рассчитываются по известным методикам.

В известной зависимости:

$$\mathcal{E}_{\text{тсм}} = q \frac{G_P T_P + G_X T_X + G_O T_O}{W_{\text{см}}}, \quad (3)$$

где: G_P, G_X, G_O – значения часового расхода топлива на рабочем ходу, на поворотах и переездах, с поднятыми рабочими органами и на холостом ходу двигателя, кг/ч.; T_P, T_X, T_O – составляющие времени смены соответственно на рабочий ход, холостые переезды и холостую работу двигателя на остановках, ч; q – энергетический эквивалент (энергоёмкость плюс энергосодержание) 1 кг топлива, МДж/кг;

не определен $G_P = \varphi (N_e, M_m, B_p, V_p)$ – часовой расход топлива на рабочем ходу.

Для расчета расхода топлива на рабочем ходу с учетом параметров и режимов работы трактора и посевного агрегата в целом нами предложена математическая модель:

$$G_p = \frac{G_{en} \cdot (0,5n_{xx} + 0,5 \sqrt{n_{xx}^2 - \frac{10428,6 \cdot V_p (B_p \cdot k_v + M_m \cdot g \cdot f) \cdot (n_{xx} - n_{en})}{M_n \cdot \eta_{mp} \cdot (1-\delta) \cdot \xi_p}})}{n_{xx} - n_{en}} + \frac{G_{xx} \cdot ((0,5n_{xx} + 0,5 \sqrt{n_{xx}^2 - \frac{10428,6 \cdot V_p (B_p \cdot k_v + M_m \cdot g \cdot f) \cdot (n_{xx} - n_{en})}{M_n \cdot \eta_{mp} \cdot (1-\delta) \cdot \xi_p}}) - n_{en})}{n_{xx} - n_{en}} \quad (4)$$

где: G_{en} , G_{xx} – расход топлива соответственно на номинальном режиме работы двигателя и на холостом ходу, кг/ч; n_{xx} , n_{en} – частота вращения коленчатого вала двигателя соответственно на холостом ходу и номинальном режиме работы двигателя, c^{-1} ; M_n – номинальный крутящий момент коленчатого вала двигателя, Н·м; k_v – удельное сопротивление почвы рабочим органам сеялки в функции от рабочей скорости, кН/м; B_p – рабочая ширина захвата агрегата, м; V_p – рабочая скорость агрегата, км/ч; η_m – тяговый коэффициент полезного действия трактора; ξ_p – обобщенный коэффициент, определяющий необходимость увеличения требуемой мощности из-за вероятностного характера нагрузки; η_{mp} – коэффициент полезного действия трансмиссии; δ – коэффициент буксования ведущих колес трактора; M_m – масса трактора, т; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; f – коэффициент сопротивления перекатыванию движителя трактора.

Ошибки при выборе трактора, параметров и режимов работы посевных агрегатов ведут к потерям урожая. Потери урожая от нарушения агросрока выполнения посева определяем по известным методикам.

Для расчета энергии урожая, потерянного из-за уплотнения почвы, воспользуемся формулой:

$$\mathcal{E}_y = A Y Q \left(\frac{B_1}{2B_p} \sum_{j=1}^n w b_k q_{max} + [U] \cdot \left(1 - \frac{n B_1}{2B_p} \right) - [U] \right) / 100 \quad (5)$$

где A – коэффициент, определяющий процент потерянного урожая на единицу уплотняющего воздействия колес трактора, %·м/кН; Y – планируемая урожайность, кг/га; Q – энергоемкость 1 кг продукта, МДж/кг; B_1 – ширина зоны влияния уплотняющего воздействия трактора на урожайность сельскохозяйственных культур на поле (в ориентировочных расчетах $B_1 = 10,8$ м); B_p – рабочая ширина МТА, включающего данный трактор, м; n – общее число следов движителей, оставляемых трактором на поле за один проход; w – коэффициент, зависящий от размеров и формы опорной поверхности движителей (для колесного движителя $w = 1,25$); b_k – ширина профиля колеса, м; q_{max} – максимальное давление каждого движителя на почву, кПа; $[U]$ – допустимый уровень уплотняющего воздействия колес трактора на почву, ниже которой снижение урожайности культур не происходит $[U] = 75$ кН/м.

В данной модели неопределенным является параметр q_{max} , так как он зависит от параметров трактора, его движителя и свойств почвы.

В связи с тем, что колесные движители геометрически подобны, воспользуемся для определения максимального давления колеса на почву теорией подобия.

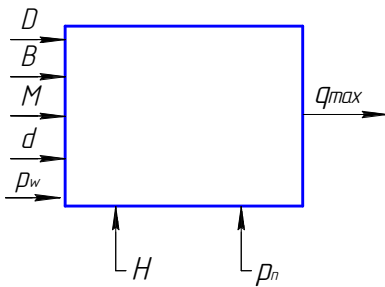
Использование теории подобия позволит получить максимально информативные регрессионные модели при снижении количества экспериментальных факторов, и расширить пределы предсказания значений функции отклика при экстраполяции.

Блок схема системы «почва – колесо» представлена на рисунке 1. Рассмотрим несколько вариантов системы, меняя количество учитываемых факторов.

Вариант 1. Пусть входными факторами системы являются D, B, p_w, M, H, ρ_n . За выходной показатель системы примем q_{max} . Тогда в соответствии с блок – схемой системы можем записать:

$$q_{max} = f(D, M, B, H, p_w, \rho_n), \quad (6)$$

где q_{max} – максимальное давление колеса на почву, Н/м^2 ; D – диаметр колеса, м; M – масса трактора, приходящаяся на одно колесо, кг; B – ширина профиля колеса, м; H – твёрдость почвы, Па; ρ_n – плотность почвы, кг/м^3 ; p_w – давление воздуха в шинах, Н/м^2 .



Приняв в функции (6) ряд переменных как определяющие, приведем её к безразмерному виду. В качестве определяющих переменных примем факторы M, D, p_w .

После выполнения всех преобразований для всех параметров зависимости (6) получим:

Рисунок 1 – Блок схема системы «почва – колесо»

$$\frac{q_{max}}{\rho_w} = \psi_1 \left(\frac{B}{D}; \frac{H}{\rho_w}; \frac{\rho_n D^3}{M} \right), \quad (7)$$

где $\frac{B}{D}, \frac{H}{\rho_w}, \frac{\rho_n D^3}{M}$ являются критериями подобия.

Для определения коэффициентов функции, необходимо проведение трехфакторного эксперимента.

Вариант 2. Если из характеристик почвы оставить только твердость (в связи со сложностью определения плотности почвы), то можем записать:

$$q_{max} = f(D, B, M, \rho_w, H), \quad (8)$$

После выполнения необходимых преобразований получим:

$$\frac{q_{max}}{\rho_w} = \varphi \left(\frac{B}{D}; \frac{H}{\rho_w} \right). \quad (9)$$

Для выявления коэффициентов уравнения регрессии, необходимо проведение двухфакторного эксперимента.

Вариант 3. Для изучения влияния на максимальное давление движителей на почву введем в предыдущее уравнение дополнительный фактор V – скорость.

Входными факторами этой системы являются D, B, p_w, M, H, V_p . За выходной показатель системы примем q_{max} , тогда можем записать $q_{max} = f(D, M, \rho_w, B, H, V)$.

После выполнения необходимых преобразований для всех параметров зависимости получим:

$$\frac{q_{\max}}{\rho_w} = \varphi\left(\frac{B}{D} : \frac{H}{\rho_w} : \frac{V\sqrt{M}}{\sqrt{D^3}\sqrt{\rho_w}}\right). \quad (10)$$

Для определения коэффициентов уравнения регрессии, необходимо планирование и проведение трехфакторного эксперимента.

Для расчета основных параметров трактора с использованием разработанной математической модели в ней отсутствуют промежуточные зависимости параметров движителя (диаметра колеса и ширины его профиля), от массы трактора. Для прогноза воспользуемся методом экстраполяции тенденций. С целью определения искомых зависимостей параметров движителя (диаметра колеса и ширины его профиля) от массы трактора, обработана статистическая информация по зарубежным и отечественным тракторам.

Получена зависимость диаметра колеса (в дюймах) от массы трактора M_m (т)

$$D_k = 45,9095 + 0,477429 gM_m - 0,00139683 (gM_m)^2. \quad (11)$$

Зависимость ширины профиля колеса (м) от массы трактора M_m (т) имеет вид

$$b_k = 0,239762 + 0,00436718 gM_m - 0,00000859118 (gM_m)^2. \quad (12)$$

В третьей главе «ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ» Программа экспериментальных исследований исходит из теоретических исследований и состоит из двух частей.

Первая часть экспериментальных исследований предполагает решение задач:

- 1) определение, по агротехническим требованиям, допустимых пределов скорости посевного МТА с сеялками от различных производителей;
- 2) измерение удельного сопротивления почвы различным типам рабочих органам сеялок в зависимости от скорости посевного агрегата;
- 3) экспериментальное определение уравнения регрессии радиуса поворота МТА от ширины захвата и скорости поворота – $R_{\Pi} = f(B_p, V_{\Pi})$, зависимости времени загрузки емкости современных сеялок от ширины захвата МТА – $T_3 = f(B_p)$;
- 4) проведение многофакторных экспериментов в лабораторно-полевых условиях для выявления зависимостей максимального давления движителей трактора на почву от параметров трактора, движителя и физико-механических свойств почвы.

Во второй части экспериментальных исследований решаются задачи:

- 5) проведение экспериментов для получения материала, необходимого для проверки адекватности модуля математической модели МТА для расчета производительности;
- 6) планирование трехфакторного эксперимента с целью определения оптимальных значений рабочей скорости, ширины захвата агрегата и оптимального давления в шинах колес выбранного трактора на посевах с учетом их влияния на формируемый урожай для сравнения с расчетными данными;

Для решения двух первых задач проведены агротехническая и энергетическая оценка посевных агрегатов с сеялками от различных производителей в лабораторно – полевых условиях. Исходя из требований – типичности, доступности, перспективности, а также принятых технологий подготовки почвы и наличия техники на предприятиях РТ для проведения лабораторно-полевых опытов выбраны объекты: тракторы – Т-215 КАМАЗ, ДжонДир-8430, МТЗ-1221, К-744РЗ; сельскохозяйственные машины – сеялки с учетом различия удельного сопротивления почвы и типа рабочего органа: СЗ-3,6 с двухдисковыми рабочими органами; Агромастер-7300 с культиваторными рабочими органами; Lemken Solitair с

однодисковыми рабочими органами; DMC-601 с долотовидными рабочими органами, Agrator ancer 12200 с анкерными рабочими органами.

Агротехническая и энергетическая оценка работы посевных агрегатов проводились согласно ГОСТ 31345-2007 «Сеялки тракторные. Методы испытаний» и ГОСТ Р 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки». Точность измерений соответствует требованиям стандартов при тяговых испытаниях трактора и тракторных сеялок по ГОСТ 30745-2001, ГОСТ 7057-2001 и ГОСТ Р 52777-2007. Согласно требованиям ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний» определялись условия испытаний.

Решение третьей и пятой задач достигается проведением эксплуатационно – технологических испытаний агрегатов в условиях производства. Объектами исследования выбраны агрегаты: МТЗ 1221 + ЗСЗ-3,6; Джон Дир 8430 + Lemken Solitair 9; Т-215 + Агромастер-7300; Т-215 + DMC-601; К-744РЗ + Agrator ancer 12200.

Перечисленные задачи решаются на основе методов проведения эксплуатационно-технологической оценки агрегатов по ГОСТ Р 52778-2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки».

Чтобы решить четвертую задачу, необходимо провести многофакторный эксперимент в лабораторно-полевых условиях.

При проведении экспериментальных исследований системы «колесо – почва» соблюдались требования стандарта ГОСТ 26953-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву». Допускаемые погрешности определения измеряемых величин - по ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний».

Для всех вариантов исследований составлены план - матрицы экспериментов.

Факторы X_i соответствуют критериям подобия: $\frac{B}{D}$; $\frac{H}{\rho_w}$; $\frac{\rho_n D^3}{M}$; $\frac{V_p \sqrt{M}}{\sqrt{D^3} \sqrt{p_w}}$

Для организации и проведения экспериментов по разработанным планам, определены уровни варьирования факторов в размерной и безразмерной формах. Для первого и второго варианта экспериментов пределы изменения критериев подобия следующие:

$$0,22 < B/D < 0,37; 4,2 < H/\rho_w < 37,5; 1,5 < \rho_n D^3 / M < 5,0.$$

Для третьего варианта исследований:

$$0,25 < B/D < 0,37; 4,2 < H/\rho_w < 37,5; 0,05 < \frac{V_p \sqrt{M}}{\sqrt{D^3} \sqrt{p_w}} < 0,42.$$

Выбираем два объекта, обеспечивающие предельные значения критериев подобия по всем вариантам исследований – это тракторы МТЗ-320 и МТЗ-82.

Для измерения давления движителя трактора на почву использовались извлекаемые датчики давления на грунт «Тензо М».

Регистрация показаний датчика давления осуществляется ИС «СИ 302».

Решение шестой задачи осуществимо путем организации агрономических опытов в условиях производства. В основе разработанной методики эксперимента лежат положения требований "Методики полевого опыта" Б.А. Доспехова и теории планирования многофакторных экспериментов.

Функцией отклика является урожайность ячменя сорта «Нур». В качестве входных факторов служат скорость агрегата V , ширина захвата агрегата B , и давление в шинах колес трактора ρ_w .

При закладке опытов использовался трактор Джон Дир - 9430 с сеялкой Джон Дир 1630. Перед посевом проведена подготовка почвы к посеву путем обработки дисковым орудием на глубину посева.

В четвертой главе «РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ» в соответствии с поставленными задачами были определены агротехнически допустимые пределы рабочей скорости сеялок: для СЗ-3,6 от 5 до 11,3 км/ч; Агромастер-7300 обеспечивает требования на качество сева на скоростях от 6,7 до 14,5 км/ч; ДМС - 601 от 6,65 до 14,6 км/ч; Lemken Solitair 9 от 6,72 до 12,0 км/ч; Agrator anser 12200 от 6 до 13 км/ч.

По результатам эксплуатационно-технологических исследований посевных агрегатов получены необходимые уравнения регрессии, допустим для Джон Дир 8430 + Lemken Solitair:

$$R_n = 2,1228 - 0,1359V_n + 0,07988B_p + 0,00609(V_n)^2 + 0,09774V_nB_p + 0,05396(B_p)^2; \quad (13)$$

$$L_n = 23,225 - 1,0292V_n + 0,50195B_p + 0,047036(V_n)^2 + 0,68209V_nB_p + 0,38333(B_p)^2 \quad (14)$$

где V_n – скорость агрегата на повороте, км/ч.

Выявлено время загрузки всех типов сеялок (загрузчик ЗС-30М на базе КАМАЗ). Допустим для сеялок Lemken Solitair с шириной от 4 до 9 м время загрузки – 5,9 мин, с шириной от 9 до 12 м – 14,6 мин.

Определена фактическая производительность всех типов посевных агрегатов.

По результатам многофакторного эксперимента получены зависимости максимального давления движителей трактора на почву (H/m^2) от параметров трактора, движителя и физико-механических свойств почвы по трем вариантам рассматриваемой системы движитель-почва:

$$1) q_{max} = 3,46\rho_w - 7,4493B\rho_w/D + 0,075552H - 0,23353(\rho_n\rho_w D^3)/M; R=0,694; F=21,1; F_T=2,82 \quad (15)$$

$$2) q_{max} = 0,2430\rho_w + 1,0593\rho_w B/D + 0,0289H; R=0,88; F=32,34; F_T=4,26 \quad (16)$$

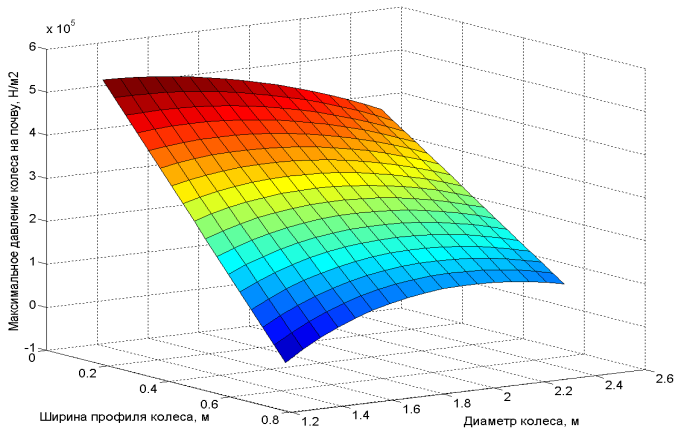
$$3) q_{max} = 0,3623\rho_w B/D + 1,3008\rho_w + 0,055H - 1,3562\rho_w V\sqrt{M}/(\sqrt{D^3}\sqrt{\rho_w}); R=0,96; F=32,5; F_T=3. \quad (17)$$

В таблице 1 приведены результаты экспериментов по 3 варианту.

Таблица 1 – Результаты трехфакторного эксперимента – вариант 3

№ опыта	Фон поля	Марка трактора	B, м	D, м	B/D	X1	H, Н/м ²	ρ_w , Н/м ²	H/ ρ_w	X2	V, м/с	M, кг	$\frac{V_p\sqrt{M}}{\sqrt{D^3}\sqrt{\rho_w}}$	X3	Y q_{max}/ρ_w
1	После вспашки	MT3-82	0,345	1,54	0,25	-	$10 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$	4,2	-	2,54	1355	0,10	-	1,4813
2	После вспашки	MT3-320	0,284	0,91	0,31	+	$10 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$	4,2	-	1,72	608	0,10	-	1,5796
3	Залежь	MT3-82	0,345	1,54	0,25	-	$30 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot 10^5$	37,5	+	1,46	1355	0,10	-	3,5342
4	Залежь	MT3-320	0,284	0,91	0,31	+	$30 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot 10^5$	37,5	+	1,00	608	0,10	-	3,0388
5	После вспашки	MT3-82	0,345	1,54	0,25	-	$10 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$	4,2	-	8,12	1355	0,32	+	1,1613
6	После вспашки	MT3-320	0,284	0,91	0,31	+	$10 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$	4,2	-	5,53	608	0,32	+	1,1511
7	Залежь	MT3-82	0,345	1,54	0,25	-	$30 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot 10^5$	37,5	+	4,70	1355	0,32	+	2,7913
8	Залежь	MT3-320	0,284	0,91	0,31	+	$30 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot 10^5$	37,5	+	3,20	608	0,32	+	3,3313

Проведен анализ уравнений. На рисунках 3-9 представлены графики зависимости максимального давления колеса на почву в зависимости от параметров трактора, колеса и свойств почвы. Сравнение с данными, имеющимися в изданиях по различным тракторам, показало, что наиболее стабильные результаты предсказания q_{max} получаются при использовании формулы (15).



Ошибка предсказания значений максимального давления колеса на почву находится в пределах от 3 до 15 % в зависимости от марки трактора и условий их работы.

Рисунок 3 – Изменение максимального давления колеса на почву при изменении ширины профиля колеса и его диаметра (вариант 1)

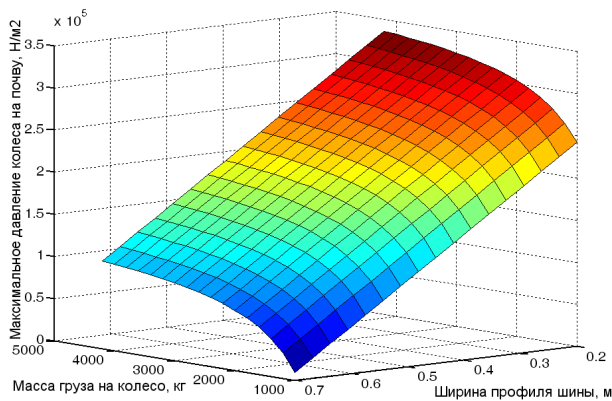


Рисунок 4 – Изменение максимального давления колеса на почву при изменении ширины профиля колеса B и массы груза, приходящейся на одно колесо M (вариант 1)

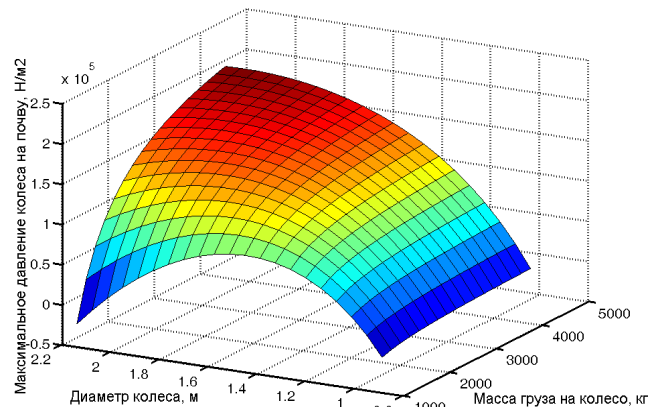


Рисунок 5 – Изменение максимального давления колеса на почву при изменении диаметра колеса D и массы груза, приходящейся на одно колесо M (вариант 1)

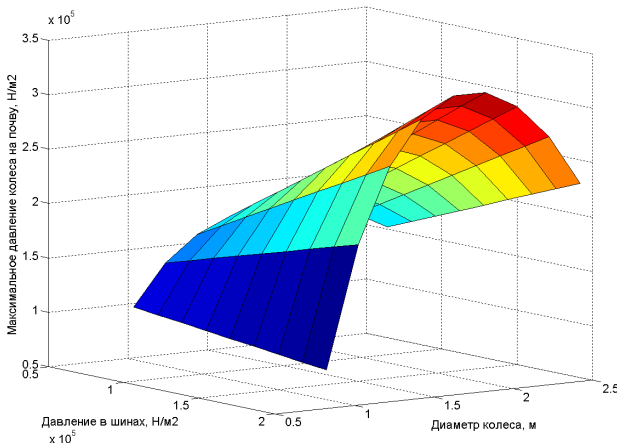


Рисунок 6 – Изменение максимального давления колеса на почву при изменении давления в шинах и диаметра колеса (вариант 1)

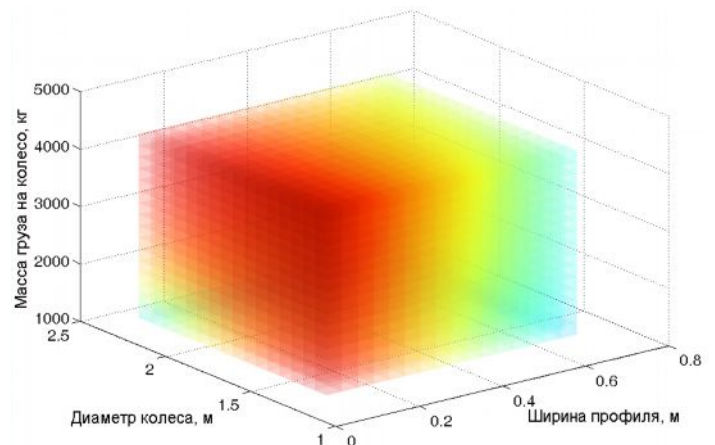


Рисунок 7 – Изменение максимального давления колеса на почву (меняется цвет поверхности куба) при изменении ширины профиля, диаметра колеса и массы трактора, приходящейся на колесо (вариант 1)

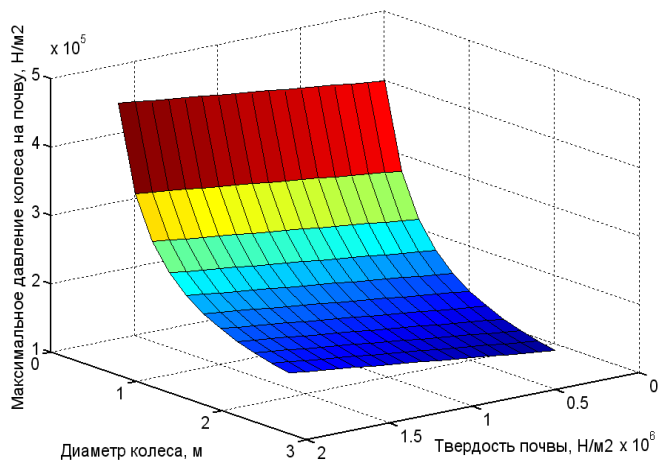


Рисунок 8 – Изменение максимального давления колеса на почву при изменении диаметра колеса и твердости почвы (вариант 2)

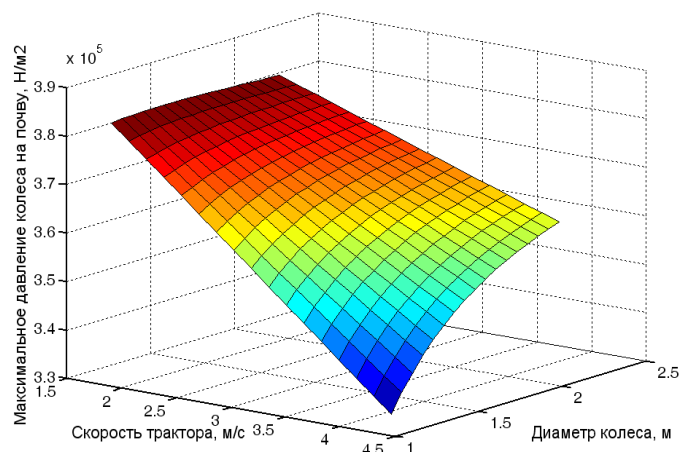


Рисунок 9 – Изменение максимального давления колеса на почву при изменении диаметра колеса и ее линейной скорости (вариант 3)

Результаты экспериментального определения оптимальной ширины захвата агрегата, рабочей скорости и давления в шинах трактора Джон Дир – 9430 на посеве агрегата, рабочей скорости и давления в шинах трактора Джон Дир – 9430 на посеве представлены на рисунке 10.

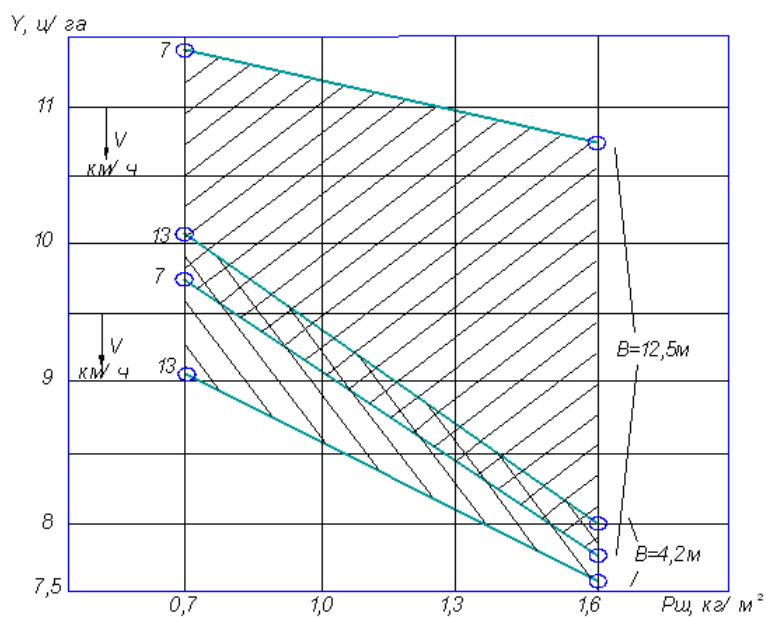




Рисунок 10 - Урожайность ячменя «Нур» в зависимости от ширины захвата и скорости агрегата Джон Дир 9430 + сеялка Джон Дир 1630 и давления в шинах

-  - ширина захвата – 12,5 м
-  - ширина захвата – 4,2 м

Выявлена зависимость урожая от принятых факторов (опыты заложены в сильно засушливом 2010 году).

$$Y = 12,6 + 0,14Bp - 0,25Vp - 1,75\rho_w \quad (18)$$

Коэффициент множественной корреляции 0,95, действительное значение критерия Фишера 8,61, при теоретическом $F_{T0.05} = 6,09$.

Проведена проверка модулей энергетической модели на адекватность: по модулю расчета часового расхода топлива на рабочем режиме отклонение расчетных и экспериментальных значений составила 2%; максимальная разница расчетной и фактической производительности посевных МТА не превышает 8%; по модулю расчета энергии урожая, потерянного от уплотнения почвы отклонение расчетных значений от экспериментальных находится в пределах от 1,5 до 9%, что видно по данным из рисунка 10 и таблицы 2.

Таблица 2 – Расчетные значения некоторых параметров посевного комплекса с трактором ДжонДир-9430

Ширина захвата, м	Скорость, км/ч	Коэффициент использования времени смены	Потребная мощность двигателя, л.с.	Производительность, га/ч	Расход энергии через топливо, МДж/га	Энергия урожая, теряемая из-за уплотнения почвы, МДж/га	Теряемая урожайность, ц/га	Энергия урожая, теряемая из-за нарушения агросрока сева, МДж/га	Суммарные энергозатраты, МДж/га
Давление в шинах трактора 0,07 МПа									
4,2	7	0,66231	112,77	1,9472	819,72	3013,5	1,93	4635,3	8742,7
4,2	13	0,60574	214,85	3,3073	575,07	3013,5		2693,1	6447,5
12,5	7	0,58252	211,95	5,097	360,96	1012,5	0,65	1717,7	3276,9
12,5	13	0,50845	411,47	8,2623	286,51	1012,5		1026,6	2450,5
Давление в шинах трактора 0,16 МПа									
4,2	7	0,66231	112,77	1,9472	819,72	5755,6	3,69	4635,3	11485,0
4,2	13	0,60574	214,85	3,3073	575,07	5755,6		2693,1	9189,6
12,5	7	0,58252	211,95	5,0970	360,96	1933,9	1,24	1717,7	4198,3
12,5	13	0,50845	411,47	8,2623	286,51	1933,9		1026,6	3371,9

В пятой главе «РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАКТОРА И ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА» приведены алгоритм проведения расчетов по разработанной энергетической модели и результаты расчетов.

Для обобщения всех расчетных данных построены графики изменения значений веса трактора и мощности его двигателя в зависимости от удельного сопротивления, как фактора, наиболее сильно влияющего на оптимальные параметры тракторов.

Как видно из рисунка 11 для различных типов сеялок оптимальное значение веса трактора лежит на различных уровнях. Рекомендуется разделить посевные агрегаты на 2 группы по энергоемкости.

В первой группе будут находиться сеялки с удельным сопротивлением почвы до 2,4 кН/м, во второй группе посевные комплексы с удельным сопротивлением почвы от 3 до 5,5 кН/м.

Для первой группы сеялок оптимальный вес трактора 35-60 кН, а мощность двигателя 70-147 кВт (95-200 л.с.), рисунок 12.

Рисунок 11 – Изменение оптимального веса трактора, работающего в составе различных посевных агрегатов, от удельного сопротивления почвы

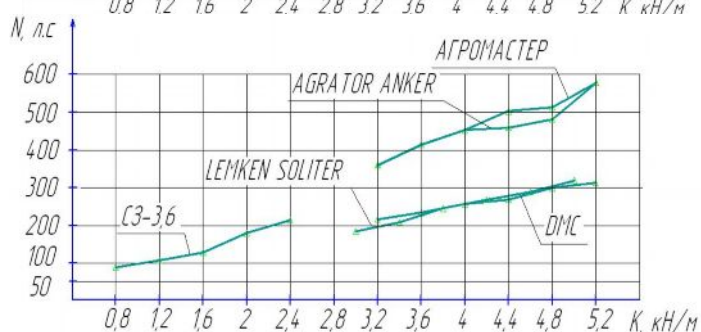
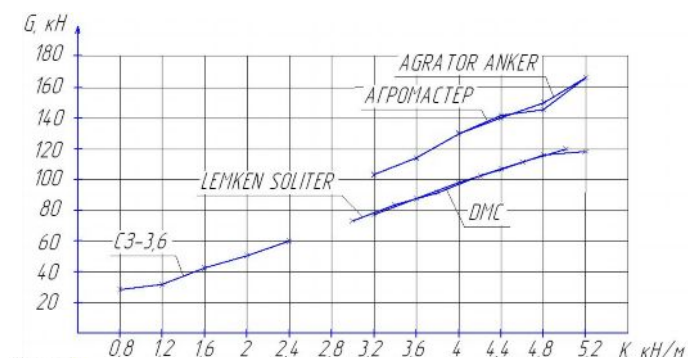


Рисунок 12 – Изменения оптимальной мощности двигателя трактора, работающего в составе различных посевных агрегатов, от удельного сопротивления почвы

Для посевных комплексов второй группы оптимальный вес трактора колеблется в пределах от 80 до 160 кН, а мощность двигателя от 147 до 405 кВт (200-550 л.с.). При этом для посевных комплексов с шириной захвата 12 м рекомендуются трактора весом от 80 до 110 кН, с мощностью двигателя от 147 до 220 кВт (200-300 л.с.), а для посевных комплексов с шириной захвата 16 м рекомендуются трактора весом от 110 до 160 кН, с мощностью двигателя от 257 до 405 кВт (350-550 л.с.). Оптимальная скорость равна максимально допустимой по агротребованиям на качество посева.

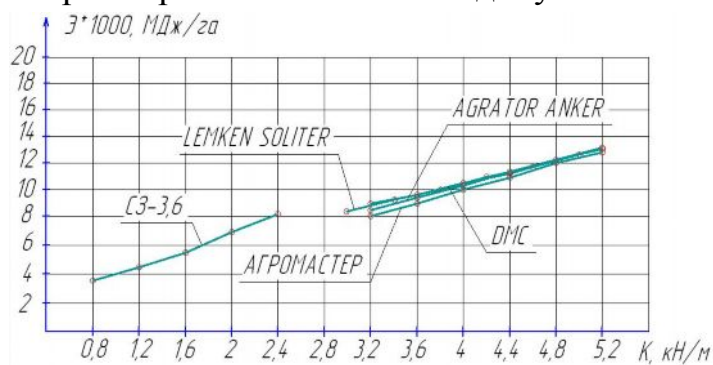
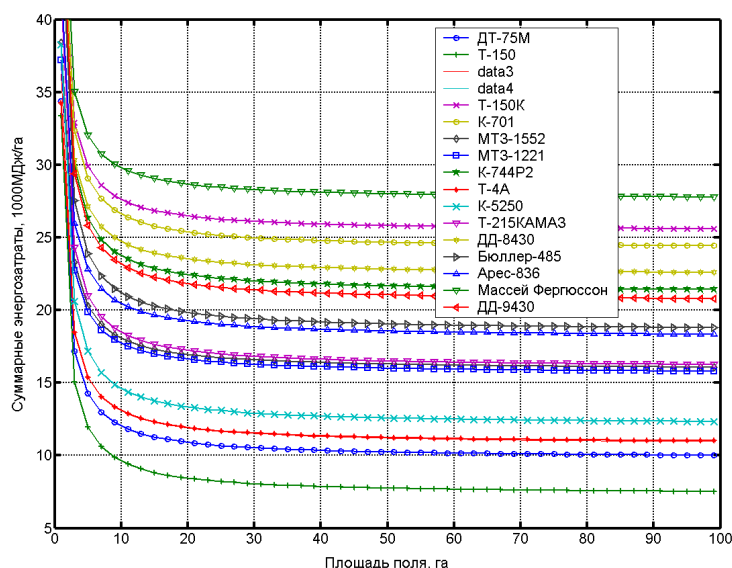


Рисунок 13 – Изменение суммарных энергетических затрат посевных агрегатов от удельного сопротивления почвы рабочим органам посевных машин

На рисунке 13 представлены графики изменения суммарных энергетических затрат посевных агрегатов от удельного сопротивления почвы рабочим органам посевных машин. Отсюда видно, что минимальные суммарные энергетические затраты обеспечивают сеялки типа СЗ-3,6, из числа посевных комплексов – меньшие энергозатраты обеспечивают те агрегаты, у которых ширина захвата максимальная: это Агромастер и Agrator anker у которых ширина захвата равна 16 м.

Энергетическую эффективность от внедрения рекомендуемых основных параметров трактора, работающего в составе посевных агрегатов с различными сеялками, можно рассчитать путем сравнения энергетических затрат реальных тракторов широко используемых на производстве и трактора с оптимальными параметрами.

На рисунке 14 представлены графики зависимости суммарных энергетических затрат посевных агрегатов,



составленных на базе различных марок реальных тракторов, с сеялками Агромастер, в зависимости от площади поля.

Рисунок 14 – Изменение суммарных энергетических затрат посевных агрегатов с сеялкой Агромастер, составленных на базе реальных тракторов

Как видно из рисунка 14 минимальные суммарные энергетические затраты обеспечивают посевные агрегаты, составленные на базе гусеничных тракторов. Из колесных тракторов минимальные суммарные энергетические затраты обеспечивает посевной агрегат с трактором К-5250. Суммарные энергозатраты составляют 12338 МДж/га для поля площадью 100 га. Основные параметры данного трактора: вес – 120 кН; мощность двигателя 185 кВт (252 л.с.). Из предыдущих расчетов известно, что у трактора с оптимальными параметрами вес колеблется в пределах от 110 до 160 кН, а

мощность двигателя должна быть от 257 до 405 кВт (350-550 л.с) в зависимости от условий работы. Отсюда можно заключить, что трактор К-5250, обладая оптимальным весом для работы в составе посевного агрегата с сеялкой Агромастер, имеет недостаточную мощность двигателя.

Использование на данной технологической операции других тракторов ведет к повышению суммарных энергетических затрат. Разница колеблется в пределах от 1321 до 16767 МДж/га в зависимости от трактора, что и составляет энергетическую эффективность использования полученных нами рекомендаций.

В связи с тем, что основная экономия энергетических затрат от использования предлагаемых рекомендаций по подбору основных параметров трактора и посевного агрегата получается за счет снижения энергии теряемого урожая, то можно подсчитать - каковы пределы экономии затрат в денежном выражении. Разделим сэкономленную энергию на энергоемкость 1 кг зерна, для пшеницы это 14,5 МДж/кг. Получится, что мы снижаем потери зерна от 91 до 1156 кг/га или в рублях, исходя из закупочной стоимости зерна пшеницы 3-го класса 9 руб/кг (цена 2016 г.), от 819 до 10407 руб/га в зависимости от марки трактора, используемого на посеве.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Разработана системная энергетическая математическая модель посевных машинно-тракторных агрегатов. Выявлена зависимость каждой составляющей суммарных энергетических затрат от основных параметров трактора (массы трактора и мощности его двигателя), параметров и режимов работы посевного МТА. Системная математическая модель, исходя из методологии системного анализа, состоит из математических и логических модулей. Лично автором разработана: математическая модель модуля системной математической модели для расчета часового расхода топлива двигателем в зависимости от параметров и режимов работы трактора и МТА; предложены зависимости для определения параметров колесного движителя в зависимости от массы трактора; разработан метод определения максимального давления колесного движителя трактора на почву на основе теории подобия и теории планирования многофакторного эксперимента, получены математические модели зависимости максимального давления колеса на почву от его диаметра, ширины профиля и давления в шинах, от твердости почвы, массы трактора и скорости МТА.

2. Разработана программа и методика экспериментальных исследований, основные задачи которых исходят из теоретических исследований и необходимости проверки отдельных модулей системной энергетической математической модели на адекватность.

На основе агротехнических испытаний посевных агрегатов с различными сеялками выявлены пределы их допустимых рабочих скоростей. У большинства посевных агрегатов допустимая рабочая скорость находится в пределах от 6 до 13 км/ч: при посеве сеялкой СЗ-3,6 со скоростью от 5 до 11,3 км/ч обеспечивается устойчивая глубина заделки семян, и отклонение от нормы высева находится в пределах допустимого - 5%; требования на качество посева сеялкой AGROMASTER обеспечиваются на скоростях от 6,7 до 14,5 км/ч; сеялка DMC - 601 может качественно сеять на скоростях от 6,65 до 14,6 км/ч, а сеялка Lemken Solitair от 6,72 до 12,0 км/ч; сеялка Agrator ancer 12200 обеспечивает агротехнические требования на качество выполнения посева на скоростях от 6 до 13 км/ч.

Для расчета производительности посевных МТА экспериментально получены уравнения: зависимости радиуса поворота от параметров МТА; времени загрузки бункеров различных посевных комплексов в зависимости от ширины захвата МТА. Полученные уравнения регрессии статистически значимы, имеют коэффициент корреляции выше 0,9.

Проверка на адекватность математической модели модуля для расчета производительности посевных МТА показала сходимость расчетных и фактических значений производительности различных посевных агрегатов в пределах 8-9 %, что допускается при нормировании производительности посевных МТА.

Проверка на адекватность модуля для расчета часового расхода топлива двигателем трактора в составе посевного МТА показала сходимость расчетных и фактических величин в пределах 3-4 %.

Математические модели для расчета максимального давления колеса трактора на почву по критерию Фишера статистически значимы (формулы 15, 16, 17).

Сравнение с данными, имеющимися в различных изданиях, показало, что наиболее стабильные результаты получаются при использовании формулы 15. Ошибка предсказания значений максимального давления колеса на почву находится в пределах от 3 до 15 % в зависимости от марки трактора и условий их работы.

По результатам многофакторного эксперимента получено уравнение зависимости урожая от ширины захвата, рабочей скорости посевного агрегата на базе трактора Джон Дир – 9430 и давления в шинах трактора (формула 18).

Из уравнения видно, что урожайность ячменя получается максимальной при - возможно максимальной ширине захвата посевного агрегата, минимально допустимой рабочей скорости движения и допустимо низком давлении в шинах трактора, это согласуется с расчетными данными с использованием энергетической математической модели посевных агрегатов.

Посевной комплекс с трактором ДжонДир-9430 при давлении в его шинах 0,16 МПа, скорости 7 км/час, при переходе от варианта с шириной захвата 4,2 м на вариант с шириной захвата 12,5 м обеспечивает повышение урожайности 2,7 ц/га. По теоретическим расчетам эта разница составит 2,43 ц/га, отклонение 10%

Для давления в шинах трактора 0,07 МПа такие же изменения ширины захвата посевного комплекса приведут к повышению урожайности на 1,3 ц/га, тогда как по теоретическим расчетам изменение урожайности составит 1,28 ц/га, отклонение 1,5%.

3. Посевные агрегаты по энергоемкости разделены на две группы. В первой группе находятся сеялки с удельным сопротивлением почвы до 2,4 кН/м, во второй группе – посевные комплексы с удельным сопротивлением почвы от 3 до 5,5 кН/м.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что для первой группы сеялок оптимальный вес трактора 36-60 кН, а мощность двигателя 70-147 кВт (95-200 л.с.).

Для посевных комплексов второй группы оптимальный вес трактора колеблется в пределах от 80 до 160 кН, а мощность двигателя от 147 до 405 кВт (200 -550 л.с.). При этом для посевных комплексов с шириной захвата 12 м рекомендуются трактора весом от 80 до 110 кН, с мощностью двигателя от 147 до 220 кВт (200-300 л.с.), а для посевных комплексов с шириной захвата 16 м рекомендуются трактора весом от 110 до 160 кН, с мощностью двигателя от 257 до 405 кВт (350-550 л.с.). Оптимальная скорость равна максимально допустимой по агротехническим требованиям на качество проведения посева.

4. Из числа посевных комплексов минимальные суммарные энергетические затраты обеспечивают агрегаты с шириной захвата 16 м - это Агромастер и Agrator anker (от 8000 до 12500 МДж/га в зависимости от удельного сопротивления почвы рабочим органам). Экономия энергетических затрат от использования трактора с оптимальными параметрами находится в пределах от 1321 до 16767 МДж/га в зависимости от марки трактора, взятого для сравнения. При этом потери зерна снижаются в пределах от 91 до 1156 кг/га или в рублях, исходя из закупочной стоимости зерна пшеницы 3-го класса 9 руб/кг (цена 2016 г.), от 819 до 10407 руб/га.

В перспективе исследования могут быть направлены на оптимизацию основных параметров тракторов на других технологических операциях, отличающихся энергоемкостью и применяемыми сельскохозяйственными машинами. Разделение технологических операций на группы по энергоемкости позволит получить информацию о минимально необходимом количестве классов тракторов по тяговому усилию, сократив тем самым количество марок тракторов, что позволит снизить затраты на поддержание тракторов в исправном состоянии.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Хафизов Р.Н. Зависимость урожайности от параметров посевного комплекса / Р.Н. Хафизов, К.А. Хафизов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – №12. – С. 20 – 21.
2. Хафизов Р.Н. Повышения эффективности использования тракторов / Р.Н. Хафизов, К.А. Хафизов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – №12. – С. 14 – 15.
3. Хафизов Р.Н. Определение оптимальных параметров трактора для производства в Республике Татарстан / К.А. Хафизов, Р.Н. Хафизов // Наука в центральной России. – Тамбов, 2013. – №2. – С. 17 – 19.
4. Хафизов К. А. Выбор технологий и их техническое обеспечение для устойчивого развития АПК Татарстана в условиях введения экономических санкций / К. А. Хафизов, Р. Н. Хафизов // Вестник Казанского государственного аграрного университета – Казань, 2014. - № 4 (34). – С. 88 – 94.
5. Хафизов К. А. Основные направления развития технического сервиса в АПК Татарстана / К. А. Хафизов, Р. Н. Хафизов, Н. Р. Адигамов // Вестник Казанского государственного аграрного университета – Казань, 2014. - № 4 (34). – С. 95 – 102.
6. Хафизов К. А. Энергетический метод оптимизации основных параметров тракторов / К. А. Хафизов, Р. Н. Хафизов // Вестник Казанского государственного аграрного университета – Казань, 2015. - № 1 (35). – С. 75 – 81.
7. Хафизов К. А. Определение количества техники, необходимой для сельского хозяйства Татарстана / К. А. Хафизов, Р. Н. Хафизов // Вестник Казанского государственного аграрного университета – Казань, 2015. - № 1 (35). – С. 82 – 88.
8. Хафизов Р.Н. Метод расчета энергии урожая, потерянного из-за негативного воздействия движителей трактора на почву / Р.Н. Хафизов // Вестник Казанского государственного аграрного университета – Казань, 2015. - № 3 (37). – С. 81 – 85.
9. Хафизов Р.Н. Методика многофакторного эксперимента по определению зависимости давления движителей трактора на почву от параметров трактора, движителя и физико-механических свойств почвы / Р.Н. Хафизов // Вестник Казанского государственного аграрного университета – Казань, 2015. - № 3 (37). – С. 86 – 92.

В монографиях, брошюрах, рекомендациях, учебных пособиях

10. Хафизов К.А. Оптимизация основных параметров трактора. / К.А.Хафизов, Р.Н.Хафизов // Выпускная квалификационная работа. Учебно – методическое пособие

для студентов очного и заочного отделений ИМиТС для направления подготовки специалистов 190109.65. Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2014. – С.155–173.

В материалах международных, всероссийских, межрегиональных конференций, симпозиумов и других изданиях

11. Хафизов Р.Н. Влияние параметров ходовой части трактора на энергетические затраты агрегатов / Р.Н. Хафизов, К.А. Хафизов // Инновационное развитие агропромышленного комплекса: материалы всероссийской научно – практ. конф. Том 77, Ч. 2. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2010. – С. 234 – 238.
12. Хафизов Р.Н. Энергетическая эффективность тракторов и как её повысить / Р.Н. Хафизов, К.А. Хафизов // Аграрная тема. – 2010. – №1. – С. 40 – 42.
13. Хафизов Р.Н. Метод определения часового расхода топлива двигателя в энергетической модели мобильного средства / Р.Н. Хафизов, К.А. Хафизов // IV Международная научно-практическая конференция «Автомобиль и техносфера» - Казань, 2011. - Секция «Е».
14. Хафизов Р.Н. Снижение давления на почву ходовых систем тракторов / Р.Н. Хафизов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Казанского государственного аграрного университета – Казань, 2012. – С. 266 – 267.
15. Хафизов Р.Н. Оборудование для проведения экспериментальных исследований по определению максимального давления колеса на почву / Р.Н. Хафизов // Материалы Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и технические средства в АПК» – Казань, 2013. – С. 187 – 189.
16. Хафизов К.А. Метод определения оптимальных параметров трактора / К.А. Хафизов, Р.Н. Хафизов // Материалы Международной научно-практической конференции «Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники» – Уфа, 2013. – С. 395 – 404.
17. Хафизов Р.Н. Анализ показателей эффективности использования тракторов и агрегатов для выбора критерия оптимизации их параметров / Р.Н. Хафизов // «Научное сопровождение агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы» Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию образования Института механизации и технического сервиса – Казань, Издательство Казанского ГАУ, 2015. – С. 406 – 412.
18. Хафизов Р.Н. Агротехническая и энергетическая оценка посевных агрегатов с различными рабочими органами / Р.Н. Хафизов // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы»: – Казань, Издательство Казанского ГАУ, 2016. – С. 244 – 247.

Патентах и свидетельствах ФИПС

19. Хафизов Р.Н. Программа оптимизации основных параметров трактора для выполнения комплекса операций / К.А. Хафизов, Р.Н. Хафизов // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016611126 от 30.11.2015;
20. Хафизов Р.Н. Программа оптимизации ширины захвата и рабочей скорости посевных комплексов / К.А. Хафизов, Р.Н. Хафизов // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016611127 от 30.11.2015;
21. Хафизов Р.Н. Программа оптимизации количества агрегатов на технологических операциях / К.А. Хафизов, Р.Н. Хафизов // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016611128 от 30.11.2015

Подписано в печать 24.03.2017 г. Формат бумаги 60×84 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,0

Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать трафаретная. Заказ № Тираж 100 экз.

Типография ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 65