На правах рукописи

ФЕДЬКИН
Денис Сергеевич

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ КОМБИНИРОВАННЫХ АГРЕГАТОВ С ТРАКТОРАМИ КЛАССА 1,4

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – Пушкин - 2013

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Джабборов Нозим Исмоилович

Официальные оппоненты:

Керимов Мухтар Ахмиевич, доктор технических наук, ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», профессор кафедры «Автомобили и тракторы».

Дементьев Александр Михайлович, кандидат технических наук, Псковский государственный университет, доцент, зам. декана механико-машиностроительного факультета.

Ведущая организация: федеральное государственное учреждение «Северо-Западная государственная зональная машиноиспытательная станция»

Защита диссертации состоится 24 декабря 2013 г. в 13 часов 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 220.060.06 при ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» по адресу: 196601, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2,СПбГАУ, ауд. 2.719.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «__» _____ 2013 г.

Автореферат размещен на сайтах: www.vak2.ed.gov.ru www.spbgau.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор В.Т. Смирнов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В сельском хозяйстве России сохраняется ряд проблем, сдерживающих инновационное развитие отрасли. Производительность труда низкая, что связано с использованием устаревших технологий в растениеводстве и животноводстве. Существующий парк сельскохозяйственной техники в России является устаревшим. По мнению экспертов до 70% техники изношено физически, а доля морально устаревшей техники превышает 90%. Это негативно отражается на конкурентоспособности отечественных сельхозпроизводителей.

Качество значительной части отечественной сельскохозяйственной техники не соответствуют современным требованиям. В 2009 г. 79% от общего количества испытанной техники изготовлены с отступлением от технических условий, 49% не соответствуют требованиям безопасности и условиям труда.

Выполненный анализ исследований по обоснованию режимов работы МТА, методов проектирования комбинированных агрегатов блочно-модульной структуры показывает на необходимость обоснования рациональных режимов работы и разработки организационно-технологических мероприятий, позволяющих повысить их энергоэффективность и эксплуатационную надежность.

Тема диссертационной работы соответствует тематическому плану НИОКР ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии и утверждена Ученым советом института 3 февраля 2011 года (протокол №1).

Целью исследований является обоснование эксплуатационных режимов универсального комбинированного агрегата блочно-модульной структуры УКПА-2,4 с трактором класса 1,4, обеспечивающих энергоэффективность технологических процессов обработки почвы и эксплуатационной надежности МТА.

Объект исследований. Универсальный комбинированный почвообрабатывающий агрегат блочно-модульной структуры МТА-2,4 в агрегате с трактором МТЗ-920, специально оборудованный для проведения экспериментов и технологический процесс предпосевной обработки и подготовки почвы к посеву.

Предмет исследований. Закономерности изменения эксплуатационных, агротехнических и технико-экономических показателей универсального комбинированного почвообрабатывающего агрегата УКПА-2,4 с трактором класса 1,4.

Научная новизна: Установлены закономерности изменения эксплуатационных, агротехнических и технико-экономических показателей универсального комбинированного почвообрабатывающего агрегата УКПА-2,4 с трактором класса 1,4 с учетом случайного характера внешней нагрузки. Получены показатели энергоэффективности технологического процесса обработки почвы и ее подготовки к посеву МТА МТЗ-920+УКПА-2,4. Усовершенствована методика выбора критериев и формирования сбалансированной системы эксплуатационных показателей для оценки эффективности использования МТА МТЗ-920+УКПА-2,4. Обоснованы эксплуатационные режимы работы, обеспечивающие эффективность функционирования и эксплуатационную надежность МТА МТЗ-920+УКПА-2,4.

Практическая значимость диссертационной работы заключается:

- в разработанной «Базе данных технических характеристик тракторов и стендовых испытаний двигателей для оптимального проектирования сельскохозяйственных агрегатов» (свидетельство о государственной регистрации базы данных №2012620731);
- в предложенных картах потока выполнения технологических процессов;

- в обоснованных оптимальных скоростных и нагрузочных режимах работы универсального комбинированного почвообрабатывающего агрегата УКПА-2,4 с трактором класса 1,4;

- в разработанной номограмме для определения твердости почвы в английской, метрической и технической системах.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены:

- на научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, г. Санкт-Петербург-Пушкин в 2011году;

- на Международной научно-практической конференции молодых ученых «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы» в Санкт-Петербургском государственном аграрном университете, г. Санкт-Петербург 2013 год;

- на конференции «Молодых ученых и специалистов Отделения механизации, электрификации и автоматизации, посвященной 145-летию академика ВАСХНИЛ В.П. Горячкина и 130-летию академика ВАСХНИЛ М.Г. Евреинова» в ГНУ ВИЭСХ, г. Москва 2013 год;

- на «VI Ежегодной смотр - сессии аспирантов и молодых по отраслям наук» ВГМХА им. В.Н. Верещагина, г. Вологда 2012 год.

Реализация результатов. Результаты исследований внедрены в учебном процессе на инженерном факультете ВГМХА им. Н.В. Верещагина, на инженерно-технологическом факультете Калмыцкого государственного университета и на факультете механизации Таджикского аграрного университета, в отделе механизации Института земледелия Таджикской АСХН и в Ленинградской плодоовощной опытной станции РАСХН.

Публикации. По теме диссертации опубликовано всего 15 работ, в том числе в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ – 7.

Получен патент РФ на полезную модель № 130473 «Комбинированный почвообрабатывающий агрегат».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 96 наименований и 8 приложений. Она включает 85 рисунков и 36 таблиц, общий объем работы 188 страниц.

На защиту по специальности 05.20.01 выносятся следующие основные научные положения:

- усовершенствованная методика выбора критериев оценки эффективности и формирование сбалансированной системы эксплуатационных показателей МТА;

- методика разработки карт потока выполнения технологических процессов, внедрение которых позволит повысить эксплуатационную надежность МТА;

- закономерности изменения и оптимальные значения эксплуатационных показателей универсального комбинированного почвообрабатывающего агрегата блочно-модульной структуры УКПА-2,4 в агрегате с тракторами тягового класса 1,4;

- оптимальные скоростные и нагрузочные режимы работы универсального комбинированного почвообрабатывающего агрегата блочно-модульной структуры, обеспечивающие эффективное его функционирование с тракторами класса 1,4;

- результаты технико-экономической оценки эффективности результатов исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы диссертации, сформулированы цель, задачи исследований и основные научные положения,

выносимые на защиту по специальности 05.20.01.

В первой главе приведен анализ условий функционирования МТА в Северо-Западной зоне России, исследований по оптимизации параметров и режимов работы, организационно технологические мероприятия по повышению эффективности и эксплуатационной надежности функционирования МТА, оценка качества технологических операций обработки почвы. На основе аналитического обзора сформулированы цель и задачи исследования.

В соответствии с указанной целью было предусмотрено решение следующих основных задач:

1. Разработка базы данных технических характеристик тракторов и стендовых испытаний двигателей для оптимального проектирования сельскохозяйственных агрегатов.
2. Совершенствование методики выбора критериев оценки эффективности работы и формирование сбалансированной системы эксплуатационных показателей МТА.
3. Определение вероятностно-статистических характеристик и закономерности изменения агротехнических показателей и эксплуатационных параметров МТА.
4. Обоснование оптимальных скоростных и нагрузочных режимов работы, обеспечивающих повышение качества и эффективность работы почвообрабатывающего МТА блочно-модульной структуры с тракторами класса 1,4.
5. Разработка карт потока выполнения (визуализация) технологических процессов, обеспечивающих повышение эксплуатационной надежности МТА.
6. Технико-экономическая оценка эффективности результатов исследований.

Во второй главе изложены теоретические основы повышения энергоэффективности технологического процесса обработки почвы путем оптимизации эксплуатационных режимов комбинированного агрегата УКПА-2,4 в агрегате с трактором класса 1,4. Усовершенствована методика выбора критериев и формирование сбалансированной системы эксплуатационных показателей МТА, основные принципы которой заключается:

- в учете допустимых агротехническими требованиями скоростных режимов и качества работы МТА;
- в применении наиболее стабильного по сравнению с экономическими показателями оценочного критерия эффективности функционирования МТА – энергоемкости технологического процесса и годового энергетического эффекта.

На основе анализа показателей и условия выполнения технологического процесса в качестве основного критерия оценки эффективности функционирования МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 был выбран – максимум годового энергетического эффекта $Э_г \rightarrow \max$. Был произведен анализ чувствительности выбранного основного критерия $Э_г \rightarrow \max$ к другим дополнительным критериям и эксплуатационным параметрам МТА. С этой целью были построены графики, отражающие зависимости основного критерия от дополнительных; дополнительных критериев от влияющих на них параметров.

В качестве примера на рисунках 1-3 представлены зависимости годового энергетического эффекта $Э_г$ от производительности $W_ч$ и годовой загрузки $t_г$ МТА, а также от энергоемкости $Э_i$ технологического процесса предпосевной обработки почвы. На рисунке 4 показана зависимость часовой

производительности $W_ч$ МТА МТЗ- 920+УКПА-2,4 от коэффициента использования времени смены τ.

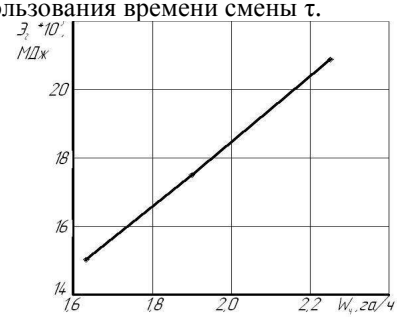

Рисунок 1 – Зависимость годового энергетического эффекта $Э_г$ от часовой производительности $W_ч$ МТА МТЗ-920+УКПА-2,4

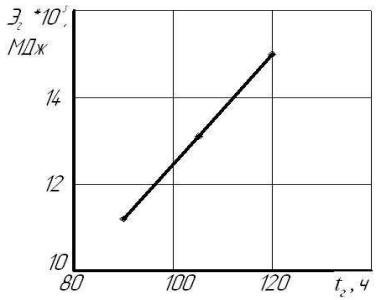

Рисунок 2 - Зависимость годового энергетического эффекта $Э_г$ от годовой загрузки $t_г$ МТА МТЗ-920+УКПА-2,4

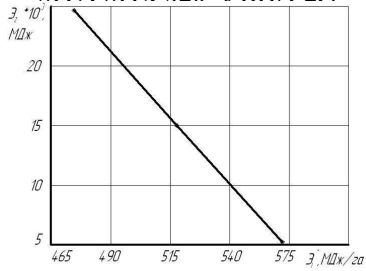

Рисунок 3 – Зависимость годового энергетического эффекта $Э_г$ от энергоемкости технологического процесса $Э_i^*$ обработки почвы МТА МТЗ-920+УКПА-2,4

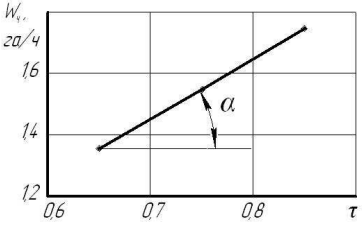

Рисунок 4 - Зависимость часовой производительности $W_ч$ МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 от коэффициента использования времени смены τ

Анализ построенных зависимостей позволил установить значения тангенса угла наклона исследуемых целевых функций и по ним - степень чувствительности критериев оценки эффективности МТА к изменению каждого отдельного взятого входного параметра. В результате была сформирована итоговая таблица 1, представляющая собой сбалансированную систему эксплуатационных показателей МТА МТЗ-920+УКПА-2,4.

Таблица 1 – Сбалансированная система эксплуатационных показателей МТА МТЗ 920 + УКПА-2,4 по критерию максимум годового энергетического эффекта $\overline{Э}_г \rightarrow \max$

Параметр	Расчетная формула	Значения tgα
$\overline{Э}_г$ - годовой энергетический эффект, МДж/агрегат	$\overline{Э}_{г\max} = (Э_{iн} - \overline{Э}_i^*) \cdot t_г \cdot \overline{W}_ч^*$	-

Продолжение таблицы 1

$W_{\text{ч}}$ - производительность МТА, га/ч	$\overline{W}_{ч}^{*} = 0{,}36 \cdot \eta_{\text{т}} \cdot \tau \cdot k_a^{-1} \cdot \overline{N}_{e}^{*}.$	6420,13
$Э_i$ - энергоемкость технологического процесса, МДж/га	$Э_i^{*} = \left[g_{\text{т}}(\alpha_{\text{т}} + f_{\text{т}}) + g_{\text{э}}(\kappa_{\text{т}} + f_{\text{э}}) + g_{\text{к}}(\kappa_{\text{к}} + f_{\text{к}})\right] \cdot \overline{W}_{\text{см}}^{*-1} + g_{\text{у}}\overline{W}_{\text{см}}^{*-1} + g_{\text{уп}}\overline{W}_{\text{см}}^{*-1}$	195,60
$N_{\text{кр}}$ - тяговая мощность трактора, кВт	$\overline{N}_{кр}^{*} = 0{,}5[a'^{*}\overline{P}_{кр}^{*} + в'^{*}\overline{P}_{кр}^{*2}(1+\nu_{\text{р}}^2)] - [a_1'^{*}\overline{P}_{кр}^{*} + в_1'^{*}\overline{P}_{\text{кр}}^{*2}(1+\nu_{\text{р}}^2)]\Phi(t_{\text{р.н}})\nu_{\text{р}}$	0,0695
N_e - эффективная мощность двигателя, кВт	$\overline{N}_{\text{е}}^{*} = c\{0{,}5[a^{*}\overline{M}_{\text{к}}^{*} + в^{*}\overline{M}_{\text{к}}^{*2}(1+\nu_{\text{м}}^2)] - [a_1^{*}\overline{M}_{\text{к}}^{*} + в_1^{*}\overline{M}_{\text{к}}^{*2}(1+\nu_{\text{м}}^2)]\Phi(t_{\text{н}}^{*}) + в_1^{*}\varphi(t_{\text{н}}^{*})\overline{M}_{\text{к}}^{*2}\nu_{\text{м}}\} + в_1'^{*}\varphi(t_{\text{р.н}})\overline{P}_{\text{кр}}^{2}$	0,0452
V_p - скорость МТА, м/с	$\overline{V}_{\text{р}}^{i*} = 0{,}5(a'^{*} + b'^{*}\overline{P}_{\text{кр}}^{i*}) - (a_1'^{*} + b_1'^{*}\overline{P}_{\text{кр}}^{i*})\Phi(t_{\text{н}}^{*}) + b_1'^{*}\varphi(t_{\text{н}}^{*})\overline{P}_{\text{кр}}^{i*}\nu_{\text{р}}$	14,00
η_T - КПД трактора	$\eta_{,} = \overline{N}_{кр}^{*} / \overline{N}_{e}^{*}.$	3,564
$P_{\text{кр}}$ - тяговое усилие, кН	-	1,50
$M_{\text{к}}$ - момент на валу двигателя, Нм	-	0,2307
$\text{n}_{\text{д}}$ - частота вращения вала двигателя, мин$^{-1}$	$\overline{n}_{\text{д}}^{*} = 0{,}5(a^{*} + в^{*}\overline{M}_{\text{к}}^{*}) - [a_1^{*} + в_1^{*}\overline{M}_{\text{к}}^{*}]\Phi(t_{\text{н}}^{*}) + в_1^{*}\varphi(t_{\text{н}}^{*})\overline{M}_{\text{к}}^{*}\nu_{\text{м}}$	0,0273

где $Э_{i.\text{н}}$, $\overline{Э}_i^{*}$ - базовое (номинальное) и оптимальное значения энергоемкости технологического процесса, МДж/га; $t_{\text{г}}$ - годовая загрузка агрегата, ч; $\overline{W}_{\text{ч}}^{*}$ - оптимальное значение производительности МТА, га/ч; B_p - рабочая ширина захвата МТА, м; $\overline{\text{V}}_{\text{р}}^{*}$ - оптимальное значение рабочей скорости МТА, м/с; τ - коэффициент использования времени смены; k_a^{-1} - удельное сопротивление агрегата, кН/м; $\overline{\text{N}}_{\text{е}}^{*}$ - оптимальное значение эффективной мощности двигателя, кВт; $\overline{\text{N}}_{\text{кр}}^{*}$ - оптимальное значение

Продолжение таблицы 1

тяговой мощности трактора, кВт; $f_T, f_э, f_к$ – коэффициенты, учитывающие дополнительные энергозатраты на производство топлива (МДж/кг) электроэнергии (МДж/кВт·ч) и тепла (МДж/ккал); α_T – теплосодержание топлива, МДж/кг; $g_э, g_к$ – израсходованное за смену количество электроэнергии (МДж/кВт·ч/см) и тепла (ккал/см); $g_y = \alpha_o q_a T_{см} T_{ОГ}^{-1}$ – условная часть энергозатрат, пропорциональная расходу материалов при выполнении технологического процесса; α_o – энергетический эквивалент (затраты энергии на производство единицы данного вида технологического материала), МДж/кг; q_a – расход технологического материала (семена, удобрения, пестициды и т.п.) в единицу времени, кг/ч; $T_{см}$ – время смены, ч; $T_{ОГ}$ – срок действия технологического материала; $g_{уп} = E_{ж} + E_T + E_м + E_c$ – условно постоянная часть топливно-энергетических затрат; $E_{ж}$ – энергозатраты живого труда, МДж/см; $E_T, E_м, E_c$ – энергоемкость трактора, машины и сцепки, МДж/ч; $a', a_1', в', в_1'$ – постоянные величины и угловые коэффициенты, определяемые по тяговой характеристике трактора; $\overline{P}_{кр}^{*}$ – экстремальное (или оптимальное) значение тягового усилия трактора, соответствующее выбранному критерию эффективности; $v_м = \sigma_м / \overline{M}_к^{*}$ - коэффициент вариации крутящего момента на коленчатом валу двигателя; $\overline{M}_к^{*}$ – экстремальное (оптимальное) значение крутящего момента на валу двигателя, соответствующее выбранному критерию эффективности; $\varphi(t_н) = (2\pi)^{-1/2} \int_0^{t_н} exp(-t_н^2/2)dt$ - нормированная интегральная функция Лапласа; $\varphi(t_н) = (2\pi)^{-1/2} exp(-t_н^2/2)$ - нормированная плотность распределения аргумента $t_н$; $a^{*}, a_1^{*}, в^{*}, в_1^{*}$ постоянные величины и угловые коэффициенты, для определения вероятностных оценок эффективной мощности и частоты вращения вала двигателя, определяемые по стендовой характеристики; $a'^{*}, a_1'^{*}, в'^{*}, в_1'^{*}$ - постоянные величины и угловые коэффициенты, для определения вероятностных оценок тяговой мощности и скорости движения МТА

Представленная система (таблица 1) отражает рациональное количество критериев и управляемых параметров, подлежащих оптимизации на предмет достижения максимального годового энергетического эффекта при работе МТА МТЗ-920+УКПА-2,4.

При определении вероятностных оценок эксплуатационных параметров МТА, (рисунок 5, на примере эффективной мощности двигателя), в качестве входной переменной (или аргумента) рассматриваются крутящий момент $M_к$ на коленчатом валу двигателя и тяговое усилие $P_{кр}$ трактора, плотность распределения которых равна:

$$\varphi(M_к) = (\sigma_м\sqrt{2\pi})^{-1} exp\left[-(M_к - \overline{M}_к)^2/(2\sigma_м^2)\right], \quad (1)$$

$$\varphi(P_{кр}) = (\sigma_p\sqrt{2\pi})^{-1} exp\left[-(P_{кр} - \overline{P}_{кр})^2/(2\sigma_p^2)\right], \quad (2)$$

где $\overline{M}_к$ – математическое ожидание крутящего момента на коленчатом валу двигателя, Н.м; $\overline{P}_{кр}$ – математическое ожидание тягового усилия трактора, кН; $\sigma_м$ – среднее квадратическое отклонение крутящего момента $M_к$ на коленчатом валу двигателя, Н.м; σ_p – среднее квадратическое отклонение тягового усилия $P_{кр}$ трактора, кН.

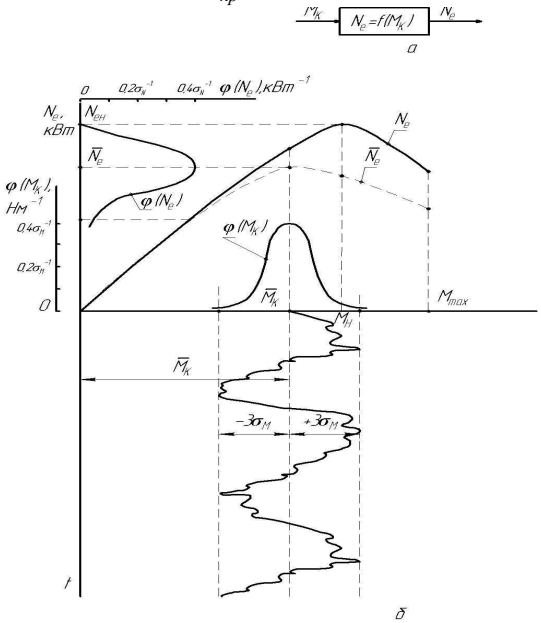

Рисунок 5 - Одномерная модель МТА (*а*) и схема к определению вероятностных оценок эффективной мощности двигателя (*б*)

В общем случае математическое ожидание выходных параметров МТА вычисляется по формуле:

$$\overline{Y}_i = \int_{-\infty}^{\infty} Y\varphi(Y)dY = \int_{-\infty}^{\infty} f(X)\varphi(X)dX, \quad (3)$$

где $\varphi(Y) = \varphi(X)\,|\,dX/d\overline{Y}\,|$ – плотность распределения вероятностей случайной величины Y_i; $\varphi(X)$ – плотность распределения вероятностей входной переменной X; $f(X)$ – детерминированная функция, устанавливаемая в процессе стендовых испытаний двигателя и тяговых испытаний трактора.

Были установлены постоянные величины и угловые коэффициенты для определения вероятностных оценок энергетических параметров двигателя Д-243 трактора МТЗ-920.

Для определения средних и оптимальных значений энергетических

параметров МТА была использована программа для ЭВМ «Расчет и оптимизация энергетических параметров дизельных двигателей в составе МТА» //Свидетельство № 2010615019.

Профессором Н.И. Джабборовым, доцентами А.В. Добриновым и Д.В. Бутусовым предложено визуализировать техноло-гические процессы производства сельскохозяйствен-ной продукции**.** Визуализа-ция технологии по другому называется карта потока выполнения технологи-ческих процессов. Визуализация процессов показывает связь между информационным и материальным потоками.

Разработка карт потока вы-полнения процессов произ-водится в определенной по-следовательности. Общая блок - схема алгоритма их разработки показана на рисунке 6.

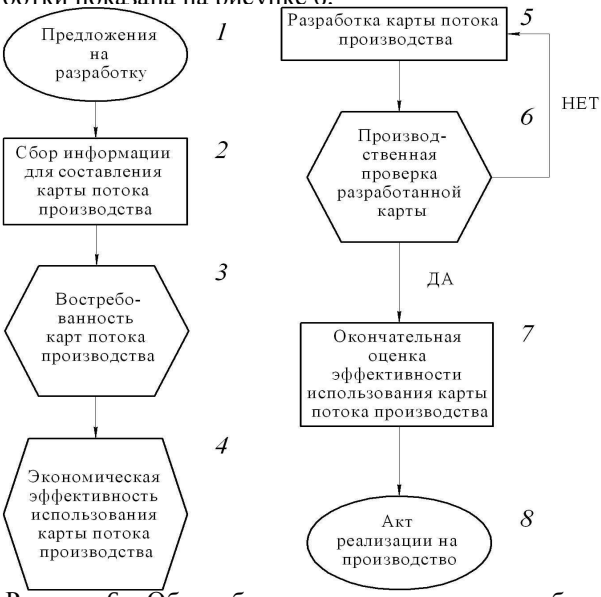

Рисунок 6 – Общая блок-схема алгоритма разработки карты потока выполнения технологического процесса

В целом визуализация процесса состоит из трех уровней. Визуализация первого уровня состоит из визуализации технологии в целом. Визуализация второго уровня состоит из визуализации отдельного технологического процесса. Визуализация третьего уровня состоит из визуализации технологического процесса ЕТО, ТО или ремонта технических средств. Карта потока выполнения технологического процесса позволяет управляющему, ответственному за реализации технологии, легко контролировать и корректировать ход и качества выполнения всех полевых механизированных работ.

В третьей главе изложена программа и условия экспериментальных исследований, представлены методики их проведения и обработки опытных данных, применяемые приборы, измерительные устройства и оборудования.

В начальном этапе исследований были произведены расчеты по обоснованию конструктивных параметров УКПА-2,4, на основе «Базы данных технических характеристик тракторов и стендовых испытаний двигателей для оптимального проектирования сельскохозяйственных агрегатов» (свидетельство №2012620731) и программы для ЭВМ «Расчет конструктивных параметров почвообрабатывающих и посевных агрегатов блочно-модульной структуры» (свидетельство №2011616385).

Далее был осуществлен синтез почвообрабатывающего агрегата УКПА-2,4 и проведены его экспериментальные исследования в производственных условиях.

Результаты экспериментальных исследований в дальнейшем сравнивались с данными теоретических расчетов с целью подтверждения адекват-

ности разработанной методики расчета и обоснования оптимальных скоростных и нагрузочных режимов работы объекта исследований.

Общий вид объекта испытаний*) показан на рисунке 7. Общий вид МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 при выполнении технологического процесса обработки почвы и подготовки ее к посеву показан на рисунке 8.

Рисунок 7 – Общий вид объекта испытаний

Рисунок 8 – МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 при выполнении технологического процесса

На рисунке 9 показано поле до (справа) и после обработки (слева) почвы универсальным комбинированным почвообрабатывающим агрегатом УКПА-2,4 с трактором МТЗ-920.

Рисунок 9 – Поле до (справа) и после обработки (слева) почвы универсальным комбинированным почвообрабатывающим агрегатом УКПА-2,4 с трактором МТЗ-920

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась по РТМ44-62 с использованием ЭВМ и методического пособия проф. А.М. Валге «Обработка данных в Excel на примерах».

При определении средних и оптимальных значений эксплуатационных параметров была использована программа для ЭВМ «Расчет и оптимизация энергетических параметров дизельных двигателей в составе МТА» //Свидетельство № 2010615019).

В четвертой главе приведены результаты синтеза УКПА-2,4, вероятностно-статистический анализ и закономерности изменения эксплуатационных показателей, оптимальные эксплуатационные режимы работы МТА МТЗ-920+УКПА-2,4, карты потока выполнения технологических процессов. В качестве примера приводим закономерности изменения некоторых эксплуатационных параметров МТА.

-) Объект испытаний подготовлен в отделе 5 ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии д.т.н., проф. Н.И. Джабборовым, к.т.н., доц. А.В. Добриновым и аспирантами Д.С. Федькиным и А.В. Лобановым.*

Глубина обработки почвы. На рисунке 10 показаны зависимости вероятностно-статистических оценок глубины обработки почвы $h_{см}$ от скорости движения $\overline{V_p}$ МТА МТЗ-920+УКПА-2,4, а на рисунке 11- плотности распределения вероятностей глубины обработки почвы.

С использованием интерполяционной формулы Лагранжа были определены эмпирические зависимости вероятностных оценок глубины обработки $h_{см}$, гребнистости $h^{г}$ поля и степени рыхления (крошения) K_o (таблица 2).

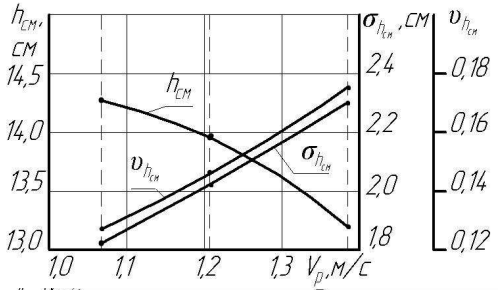

Рисунок 10 - Зависимости вероятностно-статистических оценок глубины обработки почвы $h_{см}$ от скорости движения $\overline{V_p}$ МТА МТЗ-920+УКПА-2,4

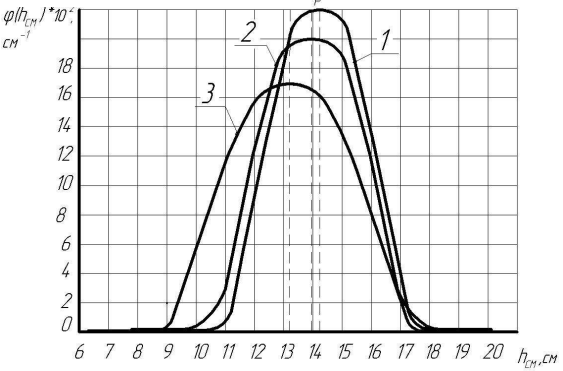

Рисунок 11 - Плотности распределения вероятностей глубины обработки почвы при работе МТА МТЗ-920+УКПА-2,4: 1 - $\overline{V_p} = 1{,}077 м/с$; 2 - $\overline{V_p} = 1{,}217 м/с$; 3 - $\overline{V_p} = 1{,}382 м/с$

Таблица 2 - Эмпирические зависимости вероятностно-статистических оценок агротехнических параметров от скорости движения МТА МТЗ-920+УКПА-2,4

Показатель	Вероятностные оценки	Расчетная формула
Глубина обработки почвы, $h_{см}$	$\overline{h}_{см}$, см	$-6{,}1813\overline{V_p^2} + 11{,}8226\overline{V_p} + 8{,}6668$
	$\sigma_{hсм}$, см	$1{,}1142\overline{V_p^2} - 1{,}1988\overline{V_p} + 1{,}8287$
	$\nu_{hсм}$	$0{,}1781\overline{V_p^2} - 0{,}2872\overline{V_p} + 0{,}2307$
Высота гребней, $h^{г}$	$\overline{h}^{г}$, см	$13{,}661\overline{V_p^2} - 40{,}839\overline{V_p} + 35{,}077$
	$\sigma_{г}$, см	$2{,}477\overline{V_p^2} - 7{,}467\overline{V_p} + 6{,}879$

Продолжение таблицы 2

	$\nu_{h_г}$	$-0,069\overline{V_p^2}+0,259\overline{V_p}+0,047$
Степень крошения, K_o	K_o, %	$-4,0380\overline{V_p^2}+14,1918\overline{V_p}+78,4592$

Установлены закономерности изменения удельного сопротивления стрельчатых лап от глубины обработки почвы в пределах рабочих скоростей движения агрегата $\overline{V_p}=1,389-3,056 м/с$ (рисунок 12).

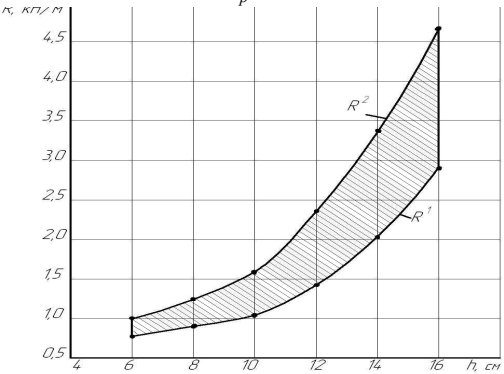

Рисунок 12 - Зависимости удельного сопротивления почвообрабатывающего агрегата со стрельчатыми лапами от глубины обработки почвы

Пределы изменения удельного сопротивления R (кН/м) агрегата со стрельчатыми лапами описываются эмпирической зависимостью:

- верхний предел: $R^2=0,03675h_{см}^2-0,4655h_{см}+2,643$,

при $\overline{V_p}=3,056 м/с$;

- нижний предел: $R^1=0,024625h_{см}^2-0,34525h_{см}+2,069$

при $\overline{V_p}=1,389 м/с$.

Установлены эмпирические зависимости технико-экономических показателей МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 от скорости его движения (таблица 5).

Таблица 5 - Эмпирические зависимости технико-экономических показателей МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 от скорости $\overline{V_p}$ (м/с) его движения (агрофон – поле из-под картофеля, глубина обработки почвы $h_{см}=13,0-14,5 см$, $\overline{V_p}=1,0-2,0 м/с$)

Показатель	Расчетная формула
Производительность МТА $\overline{W_ч}$, га/ч	$-0,0009\overline{V_p}^2+0,6941\overline{V_p}-0,0025$
Расход топлива $Q_{га}$, кг/га	$4,9268\overline{V_p}^2-20,9018\overline{V_p}+28,2965$
Прямые топливно-энергетические затраты $\overline{E_П}$, МДж/га	$259,6617\overline{V_p}^2-1101,5900\overline{V_p}+1491,2733$
Энергоемкость технологического процесса $\overline{E_i}$, МДж/га	$380,6720\overline{V_p}^2-1641,1545\overline{V_p}+2266,4508$

Были обоснованы оптимальные значения эксплуатационных показателей и уровня их использования от коэффициента вариации нагрузки МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 при различных значениях коэффициента вариации нагрузки и удельного сопротивления агрегата, которые подробно изложены в диссертации. В качестве примера в таблице 6 приведены эмпирические зависимости для определения оптимальных значений уровней использования эксплуатационных показателей от коэффициента вариации нагрузки МТА МТЗ-920+УКПА-2,4.

Таблица 6 – Эмпирические зависимости уровня использования эксплуатационных показателей от коэффициента вариации нагрузки МТА МТЗ-920+УКПА-2,4

Показатели	Вероятностные оценки показателя	Эмпирические зависимости
Производительность МТА	$\lambda^*_{\overline{W_ч}}$	$-0{,}063\nu_д^2 - 0{,}853\nu_д + 0{,}998$ * $-0{,}136\nu_д^2 - 0{,}847\nu_д + 1{,}001$ ** $0{,}295\nu_д^2 - 0{,}979\nu_д + 1{,}008$ ***
Энергоемкость технологического процесса	$\lambda^*_{\overline{Э}_i}$	$1{,}120\nu_д^2 + 0{,}244\nu_д + 1{,}008$ * $1{,}193\nu_д^2 + 0{,}237\nu_д + 1{,}004$ ** $0{,}691\nu_д^2 + 0{,}399\nu_д + 0{,}995$ ***
Тяговая мощность трактора	$\lambda^*_{\overline{N}_{кр}}$	$-3{,}16\nu_р^2 - 33{,}019\nu_р + 38{,}902$ * $-0{,}136\nu_р^2 - 0{,}847\nu_р + 1{,}001$ ** $0{,}295\nu_р^2 - 0{,}979\nu_р + 1{,}008$ ***
Эффективная мощность двигателя	$\lambda^*_{\overline{N}_e}$	$0{,}225\nu_д^2 - 0{,}937\nu_д + 1{,}003$
Рабочая скорость движения МТА	$\lambda^*_{\overline{V}_р}$	$-0{,}134\nu_р^2 - 0{,}824\nu_р + 0{,}996$ * $0{,}224\nu_р^2 - 0{,}949\nu_р + 1{,}005$ ** $0{,}087\nu_р^2 - 0{,}819\nu_р + 0{,}908$ ***
Тяговое усилие трактора	$\lambda^*_{\overline{P}_{кр}}$	$-0{,}072\nu_р^2 - 0{,}018\nu_р + 0{,}998$ * $-0{,}360\nu_р^2 + 0{,}102\nu_р + 0{,}996$ ** $0{,}143\nu_р^2 - 0{,}059\nu_р + 1{,}008$ ***
Частота вращения вала двигателя	$\lambda^*_{\overline{n}_ф}$	$1{,}622\nu_д^2 - 0{,}918\nu_д + 1{,}030$
Крутящий момент на валу двигателя	$\lambda^*_{\overline{M}_к}$	$-1{,}618\nu_д^2 - 0{,}024\nu_д + 0{,}976$

Карта потока выполнения технологического процесса предпосевной обработки МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 (рисунок 13) способствует снижению психологической напряженности исполнителя и тем самым предупреждает технические отказы, повышает эксплуатационную надежность МТА.

Результаты расчетов технико-экономической эффективности использования предложенных разработок приведены в таблицах 7 и 8.

Рисунок 13 – Карта потока выполнения технологического процесса предпосевной обработки и подготовки почвы к посеву МТА МТЗ-920+УКПА-2,4

Таблица 7 - Технико-экономические показатели работы комбинированных агрегатов УКПА-2,4 и АКП-2,5 (при прочих равных условиях; $K_a = 4{,}41кН/м$; $\eta_T = 0{,}60$; $\nu_м = 0{,}167$)

Показатель	УКПА-2,4	АКП-2,5 (СЗ МИС)	± % от аналога
Глубина обработки, см	6 – 20	8 - 16	+ 25,0
Производительность, га/ч	2,13	1,20	+ 77,5
Затраты труда, чел.-ч/га	0,47	0,83	- 43,37
Расход топлива, кг/га	4,8	12,3	- 60,97
Прямые топливно-энергетические затраты, МДж/га	254,677	648,20	-60,7
Энергоемкость процесса, МДж/га	362,993	1148,03	- 68,38
Масса, кг	850	2000	- 57,5

Приведенные в таблице 7 данные подтверждают превосходство основных параметров разработанного почвообрабатывающего агрегата УКПА-2,4 по сравнению с отечественным аналогом АКП-2,5.

Таблица 8 - Показатели энергетической эффективности УКПА-2,4 с трактором МТЗ-920 при реализации оптимальных значений режимов его работы (по $\overline{N}_e^*$; при $K_a = 4{,}41кН/м$; $\tau = 0{,}85$; агрофон – поле из под картофеля, $t_Г = 120ч$)

Агрегат	Вариант	$\lambda^*_{\overline{M}_к}$	$\overline{Э}_i^*$, МДж/га	$\overline{Э}_г^*$, МДж/агрегат
МТЗ-920+УКПА-2,4	Б	0,850	398,195	-
	Р	0,927	392,819	1374,106

Продолжение таблицы 7

*)- нормативная загрузка (базовая) $\lambda^{*}_{\overline{M}_к}$ =0,850 [95];

**)- оптимальная загрузка двигателя (рекомендуемая) $\lambda^{*}_{\overline{M}_к}$ =0,927.

Ожидаемый годовой энергетический эффект от реализации оптимальных режимов работы МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 (таблица 8) составляет 1374,106 МДж/агрегат по сравнению с нормативными данными.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Разработана база данных технических характеристик тракторов и стендовых испытаний двигателей для оптимального проектирования сельскохозяйственных агрегатов, позволяющая выбирать из существующих тракторов наиболее приемлемый вариант по различным группам: типу трактора, тяговому классу или категории мощности, типу двигателя, технических характеристик двигателей, стендовых характеристик двигателей. Использование базы данных обеспечивает упрощение поиска тракторов и двигателей в общем массиве информации по заданным характеристикам, значительно сокращает время разработки новых тяговых или тягово-приводных машин под определенный класс тяги трактора с целью обеспечения максимального значения КПД трактора.

2. Усовершенствована методика выбора критериев оценки эффективности и формирование сбалансированной системы эксплуатационных показателей МТА, основные принципы которой заключается:

- в учете допустимых агротехническими требованиями скоростных режимов и качества работы МТА;
- в применении наиболее стабильного по сравнению с экономическими показателями оценочного критерия эффективности функционирования МТА – энергоемкости технологического процесса и годового энергетического эффекта.

Сбалансированная система эксплуатационных показателей в совокупности позволяет реализовать оптимальные эксплуатационные режимы МТА и способствует достижению наибольшего эффекта от их использования.

3. Определены вероятностно - статистические оценки и закономерности изменения агротехнических и эксплуатационных показателей МТА МТЗ-920+УКПА-2,4. Установлено, что экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими частотами и соответствуют нормальному закону. Вероятность согласия $P(\chi^2)$ эмпирических и теоретических частот агротехнических и эксплуатационных параметров МТА в целом находились в пределах 0,13 – 0,86.

Установлены эмпирические зависимости для определения вероятностно – статистических оценок эксплуатационных показателей МТА от скорости его движения и нагрузки.

4. Обоснованы оптимальные эксплуатационные режимы, позволяющие обеспечить эффективное функционирование МТА МТЗ-920+УКПА-2,4.

Оптимальный по основному критерию $\overline{Э}_г \to \max$ уровень загрузки двигателя Д-243 трактора МТЗ-920 в агрегате с универсальным комбинированным почвообрабатывающим агрегатом УКПА-2,4 при изменении коэф-

фициента вариации нагрузки $0 \le \nu_M \le 0{,}333$ находится в пределах $0{,}83 \le \lambda^*_{\overline{M}_K} \le 1{,}0$.

Для технического нормирования механизированных полевых работ, выполняемых МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 рекомендуется использовать оптимальный уровень загрузки $\lambda^*_{\overline{M}_K} = 0{,}927$, при коэффициенте вариации нагрузки $\nu_M = 0{,}167$.

При изменении коэффициента вариации нагрузки ν_M в пределах $0 \le \nu_M \le 0{,}333$ оптимальные значения уровня использования эксплуатационных показателей МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 находятся в следующих пределах (при удельном сопротивлении агрегата $K_a = 4{,}41 кН/м$, КПД агрегата $\eta_T = 0{,}60$): $1{,}0 \ge \lambda^*_{\overline{W}_ч} \ge 0{,}72$; $1{,}0 \le \lambda^*_{\overline{Э}_i} \le 1{,}193$; $1{,}0 \ge \lambda^*_{\overline{N}_{кр}} \ge 0{,}715$; $1{,}0 \ge \lambda^*_{\overline{N}_e} \ge 0{,}715$; $1{,}0 \ge \lambda^*_{\overline{V}_р} \ge 0{,}720$; $1{,}0 \ge \lambda^*_{\overline{P}_{кр}} \ge 0{,}990$; $1{,}0 \ge \lambda^*_{\overline{n}_\partial} \ge 0{,}861$.

В качестве нормативных значений уровня использования эксплуатационных показателей МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 при коэффициенте вариации $\nu_M = 0{,}167$ установлены следующие (при удельном сопротивлении агрегата $K_a = 4{,}41 кН/м$, КПД агрегата $\eta_T = 0{,}60$): $\lambda^*_{\overline{W}_ч} = 0{,}852$; $\lambda^*_{\overline{Э}_i} = 1{,}082$; $\lambda^*_{\overline{N}_{кр}} = 0{,}858$; $\lambda^*_{\overline{N}_e} = 0{,}853$; $\lambda^*_{\overline{V}_р} = 0{,}853$; $\lambda^*_{\overline{P}_{кр}} = 1{,}0$; $\lambda^*_{\overline{n}_\partial} = 0{,}922$.

Также обоснованы оптимальные скоростные и нагрузочные режимы работы и закономерности изменения эксплуатационных показателей МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 при удельном сопротивлении агрегата $K_a = 5{,}12 кН/м$, $K_a = 5{,}42 кН/м$ и КПД агрегата $\eta_T = 0{,}55$ и $\eta_T = 0{,}65$.

Установлены эмпирические зависимости для определения оптимальных значений эксплуатационных показателей и уровни их реализации от меры рассеяния внешней нагрузки и т.д.

5. Разработаны карты потока выполнения (визуализация) технологических процессов предпосевной обработки и подготовки почвы к посеву МТА МТЗ-920+УКПА-2,4, ЕТО трактора МТЗ-920 и периодичности ТО трактора МТЗ-920, позволяющие повысить эксплуатационную надежность агрегата. Применение карт потока выполнения технологических процессов обеспечивает четкость выполнения всех предусмотренных технологией операций и тем самым предупреждает технические отказы, способствует снижению уровня психологической напряженности исполнителя.

6. Сравнительная оценка основных показателей разработанного почвообрабатывающего агрегата УКПА-2,4 подтверждает его превосходство по сравнению с отечественным аналогом АКП-2,5: по производительности на 77,5%, расходу топлива на 60,97%; энергоемкости технологического процесса на 68,38%.

Разработанные принципы проектирования позволяют добиваться соответствия конструкции комбинированного агрегата агротехнологическим

требованиям и максимально возможного КПД энергетического средства, что обеспечивает энергоэффективность технологического процесса обработки почвы.

Ожидаемый годовой энергетический эффект только от реализации оптимальных эксплуатационных режимов работы МТА МТЗ-920+УКПА-2,4 при удельном сопротивлении агрегата $K_a = 4{,}41 кН/м$, коэффициента использования времени смены $\tau = 0{,}85$ и годовой загрузки $t_г = 120$ ч составляет 1374,106 МДж на 1 агрегат по сравнению с нормативными данными.

Размер годового энергетического эффекта колеблется в широких пределах в зависимости от удельного сопротивления агрегата, зависящего от типа и состояния почвы, коэффициента использования времени смены, КПД агрегата и других производственных условий.

Перспективы дальнейшей разработки темы: необходимо разработать пакет программ для ЭВМ, позволяющих автоматизировать процесс проектирования универсальных комбинированных почвообрабатывающих агрегатов блочно-модульной структуры, обеспечивающих энергоэффективность технологических операций путём повышения КПД энергетических средств.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих ***изданиях, включенных в перечень ВАК РФ:***

1. Джабборов Н.И., **Федькин Д.С.** Влияние скоростных режимов работы МТА МТЗ-920+УКПА-2,4-02 на показатели качества технологического процесса обработки почвы //Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз» (Земледелец), № 4 - Душанбе. - 2011. - с. 41-42.

2. Джабборов Н.И., Ахмадов Б.Р., Ходжиев Б.Б., Федькин Д.С. Вероятностно-статистическая оценка агротехнических и технико-экономических показателей МТА с тракторами класса 1,4 // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз» (Земледелец), № 4 – Душанбе. – 2011. - с. 39-41.

3. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Лобанов А.В., **Федькин Д.С.** Оценка работы почвообрабатывающего агрегата по тяговому КПД трактора // Механизации и электрификации с-х № 3, 2012 г. - с. 29-30.

4. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Ахмадов Б.Р., Лобанов А.В., **Федькин Д.С.** Градация скоростных и нагрузочных режимов работы МТА по тяговому КПД трактора // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз» (Земледелец),№ 4, - Душанбе. – 2012. – с. 33 – 36.

5. Джабборов Н.И., **Федькин Д.С.** Технико-экономические показатели работы почвообрабатывающего агрегата с трактором класса 1,4 // ВИЭСХ РАСХН Журнал: Инновации в сельском хозяйстве, № 2(4), 2013.

6. Джабборов Н.И., **Федькин Д.С.** Карты потока производства технологических операций и их значение в повышении эксплуатационной надежности МТА // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз» (Земледелец), № 2, Душанбе. – 2013. – с.26-28.

7. Джабборов Н.И., Ахмадов Б.Р., **Федькин Д.С.** Методика разработки карт потока производства технологических процессов // Доклады Таджикской академии сельскохозяйственных наук, № 2(36), Душанбе. – 2013. – с.60-64.

Патенты и свидетельства:

8. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Лобанов А.В., **Федькин Д.С.,** Евсеева С.П. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат / Патент на полезную модель № 130473. Заявка №2013104360. приоритет модели 01 февраля 2013 г. зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 27 июля 2013 г.

9. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Лобанов А.В., Ромачевская В.В., **Федькин Д.С.,** База данных технических характеристик тракторов и стендо-

вых испытаний двигателей для оптимального проектирования сельскохозяйственных агрегатов / Заявка № 2012620395; заявл. 03.05.2012; опубл. 2012. – Бюл. №1 часть II (66).

В других изданиях:

10. **Федькин Д.С.** Комбинированные почвообрабатывающие агрегаты блочно-модульной структуры: вопросы улучшения функциональной работоспособности и показателей материалоемкости // Сборник научных трудов «Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования». – 2011. – с.364-366.

11. Джабборов Н.И., **Федькин Д.С.** Вероятностные оценки агротехнических параметров в зависимости от скорости движения комбинированного почвообрабатывающего агрегата // Сборник научных статей. Материалы международной научно-практической конференции на тему «Эффективное использование биоклиматических факторов при выращивании сельскохозяйственных культур на пахотных землях», посвященная 20-летию XYI сессии Шурои Оли Республики Таджикистан и 15-летию Национального примирения. - 31 марта 2012 г. - с. 263-266.

12. Джабборов Н.И., **Федькин Д.С.** Обоснование критериев оценки эффективности и надежности функционирования МТА // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Актуальные проблемы, перспективы развития сельского хозяйства для обеспечения продовольственной безопасности Таджикистана», посвященной 80-летию образования Института земледелия Таджикской академии сельскохозяйственных наук и 20-летию XYI-й сессии Верховного Совета Республики Таджикистан, том YII 18-19 сентября 2012 года. - с.39-42.

13. Джабборов Н.И., **Федькин Д.С.**, Ахмадов Б.Р. Номограмма для определения твердости почвы по результатам измерений посредством пенетрометра DICKEY-john // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Актуальные проблемы, перспективы развития сельского хозяйства для обеспечения продовольственной безопасности Таджикистана», посвященной 80-летию образования Института земледелия Таджикской академии сельскохозяйственных наук и 20-летию XYI-й сессии Верховного Совета Республики Таджикистан, том YII 18-19 сентября 2012 года. - с.207-209.

14. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Лобанов А.В., **Федькин Д.С.** Оценка КПД трактора в агрегате с универсальным комбинированным почвообрабатывающим агрегатом блочно-модульной структуры // Труды ГОСНИТИ, том 111, часть 1, раздел 1, 2012 г. – с.110-116.

15. Джабборов Н.И., **Федькин Д.С.** Закономерности изменения удельного сопротивления универсального комбинированного почвообрабатывающего агрегата при работе со стрельчатыми лапами // Сборник научных трудов СПГАУ «Технологии и средства механизации сельского хозяйства», посвященный 90-летию Инженерно-технологического факультета - 2012. - с. 51-54.

Подписано в печать 11.11.2013 г. Формат 60x84$^{1/16}$. Бумага офсетная. Тираж 100. Заказ №

Отпечатано на ризографе
ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии,
196625, Санкт-Петербург, Павловск, Фильтровское шоссе, 3.