

На правах рукописи

Запрудский Валерий Никифорович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ НА БАЗЕ  
КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства  
механизации сельского хозяйства

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор <b>Селиванов Николай Иванович</b>
Официальные оппоненты:	<b>Манасян Сергей Керопович</b> доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», заведующий кафедрой «Механизация сельского хозяйства» <b>Хорош Алексей Иванович</b> кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», доцент кафедры «Автомобили, тракторы и лесные машины»
Ведущая организация	ГНУ «Красноярский научно- исследовательский институт сельского хозяйства» СО Россельхозакадемии

Защита состоится «20» декабря 2013г. в 9<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.037.01 при ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» по адресу: 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90. Телефон/факс: 8(391) 227-36-09, e-mail; dissovet@kgau.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «19» ноября 2013г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90, КрасГАУ, ученому секретарю диссертационного совета ДМ 220.037.01 Бастрону Андрею Владимировичу.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

А. В. Бастрон

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Главный критерий технического обеспечения основной обработки почвы – энергоресурсосбережение в технологиях, характеризующее меньшими затратами мощности и топлива при максимальной производительности с конечной оценкой себестоимости и рентабельности производства продукции. Поэтому основное направление снижения затрат при внедрении ресурсосберегающих технологий почвообработки в АПК Восточной Сибири ориентировано на использование широкозахватных почвообрабатывающих посевных комплексов с высокомошными (320-420кВт (435-570л.с.)) зарубежными и отечественными тракторами колесной формулы 4К4б «Кировец» серии К-744Р 5-8 кл. мощностью 205-300кВт (280-410л.с.). Их энергонасыщенность в комплектации со сдвоенными колесами и максимальным операционным весом составляет 15-17Вт/кг при запасе крутящего момента двигателя 30-55%.

Снижения топливно-энергетических затрат и повышения производительности можно достигнуть на основе системных принципов адаптации почвообрабатывающих агрегатов к основным природно-производственным факторам. Формируемый комплекс для ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы требует обоснования вариантов оптимального агрегатирования мобильных энергетических средств (МЭС) с переменными массоэнергетическими параметрами. Поэтому адаптация параметров и режимов работы почвообрабатывающих агрегатов на базе основных типоразмеров тракторов серии К-744Р к зональным технологиям основной обработки почвы является перспективным направлением экономии топливно-энергетических ресурсов и приобретает особую актуальность.

Работа выполнена по тематическому плану научно-исследовательских работ КрасГАУ в соответствии с координационным планом научного обеспечения АПК РФ (проблема IX, задание 03) на 2011-2015 гг.

**Степень разработанности темы.** Основанием для определения цели и постановки задач исследования являются: тенденции развития и использования средств механизации обработки почвы; степень разработанности теории системной адаптации тракторов к природно-производственным условиям; результаты эксплуатации и экспериментальной оценки эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения.

**Цель работы** – повышение эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов на базе колесных тракторов высокой мощности (серии К-744Р) путем их адаптации к зональным технологиям основной обработки почвы.

### **Задачи исследования:**

1) выполнить анализ развития технического обеспечения ресурсосберегающих технологий в растениеводстве и обосновать структуру системной адаптации почвообрабатывающих агрегатов к природно-производственным условиям;

2) разработать математические модели системы оптимизации эксплуатационных параметров колесных тракторов и агрегатов для операционных технологий основной обработки почвы;

3) обосновать условия функционирования и эксплуатационные параметры колесных тракторов высокой мощности для операций основной обработки почвы;

4) определить рациональные тягово-скоростные режимы и параметры агрегатов для зональных технологий обработки почвы на базе тракторов серии К-744Р разных типоразмеров;

5) разработать и дать технико-экономическую оценку рекомендациям по рациональному использованию тракторов серии К-744Р на основной обработке почвы в условиях АПК Красноярского края.

**Объект исследования** – процесс формирования энергетических и технико-экономических показателей почвообрабатывающих агрегатов на базе колесных тракторов высокой мощности.

**Предмет исследования** – закономерности формирования и взаимосвязь показателей рабочего хода почвообрабатывающих агрегатов с эксплуатационными параметрами трактора колесной формулы 4К4б.

**Научная гипотеза** – повышение эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов на базе колесных тракторов высокой мощности может быть достигнуто за счет адаптации их параметров и режимов работы к зональным технологиям основной обработки почвы.

**Методы исследования** включали определение условий эффективного функционирования колесных тракторов для обоснования их параметров и режимов работы в составе почвообрабатывающих агрегатов на основе системного анализа, моделирования технологических процессов и оптимизации оценочных показателей.

**Научную новизну работы составляют:**

1) структура системы ресурсосбережения механизации почвообработки на основе оптимальной адаптации тракторных агрегатов к зональным технологиям;

2) модели и алгоритмы многоуровневой системы оптимизации эксплуатационных параметров и режимов работы колесных тракторов для операций основной обработки почвы;

3) результативные признаки адаптации колесных 4К4б тракторов к зональным технологиям основной обработки почвы;

4) рациональные тягово-скоростные режимы, параметры и показатели эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов на базеразных типоразмеров тракторов серии К-744Р.

**Практическую значимость представляют:**

1) методика и результаты адаптации колесных тракторов высокой мощности к зональным технологиям основной обработки;

2) рекомендации по агрегатированию основных типоразмеров тракторов серии К-744Р с почвообрабатывающими машинами и орудиями.

**На защиту выносятся:**

1) структура и модели многоуровневой системы адаптации колесных тракторов для операций основной обработки почвы;

2) результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности использования разных типоразмеров тракторов серии К-744Р на основной обработке почвы.

**Достоверность научных положений.** Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы теоретическими решениями и экспериментальными данными, полученными в работе, не противоречат известным положениям наук: «Теория трактора» и «Эксплуатация машинно-тракторного парка», базируются на строго доказанных выводах и согласуются с опубликованными ранее материалами по теме исследований.

**Личный вклад соискателя** состоит в получении результатов, изложенных в диссертации, проведении теоретического анализа научных экспериментов, обработке и апробации результатов исследования, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

**Реализация результатов:**

1) рекомендации по повышению эффективности разных типоразмеров тракторов «Кировец» на основной обработке почвы использованы с.-х. предприятиями Красноярского края: СПК «Шилинский», ООО «ОПХ Боготольское», ЗАО «Агрофирма Маяк», ИП «КФК Усков В.В.» – при выборе состава и режимов работы почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения на их базе;

2) результаты исследований в виде методики оптимизации эксплуатационных параметров и режимов работы тракторов «Кировец» при агрегатировании с почвообрабатывающими машинами и комплексами внедрены в учебный процесс и практику научных исследований ФГБОУ ВПО КрасГАУ.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на международных (2012, 2013 гг.), всероссийской (2011 г.) и региональной (2010 г.) научно-практических конференциях (г. Красноярск, КрасГАУ).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 16 работ, из которых 12 – в рекомендованных ВАК изданиях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников и приложений, изложена на 158 страницах машинописного текста, содержит 41 рисунок и 23 таблицы, список литературы из 105 наименований. Приложения составляют 12 страниц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность, степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи, показаны научная новизна и практическая ценность работы, приведены основные положения и результаты исследования, выносимые на защиту.

**В первом разделе** «Состояние вопроса» проведен анализ ресурсосберегающих технологий в растениеводстве и их технического обеспечения, рассмотрены тенденции улучшения эксплуатационных качеств колесных тракторов общего назначения, установлены приоритеты формирования и прогнозируемый состав тракторного парка в АПК РФ и Красноярского края к 2020 г. Показана важность проблемы использования потенциальных возможностей современных тракторов высокой мощности при выполнении технологических операций, обусловленная недостаточной адаптацией к природно-производственным условиям.

Большой вклад в решение проблемы ресурсосберегающего агрегатирования энергонасыщенных тракторов внесли: Л.Е. Агеев, А.А. Зангиев, С.А. Иофинов,

А.Ю. Измайлов, Н.В. Краснощеков, И.П. Ксенович, Н.Г. Кузнецов, Г.М. Кутьков, В.Н. Кычев, А.П. Савельев, В.А. Самсонов, Н.И. Селиванов, В.И. Черноиванов, В.А. Эвиievi др. При этом установлено, что на современном этапе развития отрасли растениеводства особую актуальность приобретает проблема адаптации нового поколения тракторов высокой мощности к зональным условиям, поскольку ограниченный опыт эксплуатации и недостаточный объем научно-технической

информации требуют развития и систематизации основных принципов и способов ресурсосберегающего использования почвообрабатывающих агрегатов на их базе.

**Во втором разделе** «Технологические основы и модели адаптации почвообрабатывающих агрегатов к условиям использования» обоснована структура, модели и алгоритм многоуровневой системы адаптации почвообрабатывающих агрегатов к природно-производственным условиям.

Использование научно обоснованных принципов операционных технологий механизированных работ позволило установить основные уровни (задачи) системы адаптации энергонасыщенных тракторов и почвообрабатывающих агрегатов к условиям эксплуатации (рис.1).

На первом уровне решаются задачи:  $Z_{1.1}$  – обоснования операционных технологий  $n_i$  основной обработки почвы и их технического обеспечения  $n_{TC}$ ;  $Z_{1.2}$  – выбора ресурсосберегающих принципов воздействия на обрабатываемый материал и определения оптимальных значений рабочей скорости  $V_{opt}^*$  при выполнении отдельных операций.

Критерием ресурсосбережения для принятия управляющих решений является минимум суммы приведенных затрат в расчете на единицу выполненной работы

$$Cn_{\sum_{i=1}^{n_{opt}}} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^{n_{opt}} C_{ni} \rightarrow \min. \quad (1)$$

При решении задач первого уровня все типы почвообрабатывающих агрегатов, с учетом классификационных признаков, видов и объемов  $V_i$  работ, объединяющих родственные по назначению и близкие по энергоемкости  $K_a$  и технологическим требованиям к их параметрам операции, целесообразно разделить на следующие группы: для отвальной и глубокой безотвальной обработки почвы; комбинированные для основной безотвальной обработки почвы; для поверхностной обработки почвы и посева.

После выбора энергосберегающих технологий  $n_i$ , энергетических средств  $n_{ЭС}$  и рабочих машин  $n_{Mopt}$  по критерию ресурсосбережения (1) и определения  $V_{opt}^*$  на последующих уровнях решаются задачи экономии ресурсов на каждой отдельной группе операций путем оптимизации массоэнергетических параметров тракторов, состава и режимов работы соответствующих агрегатов.

На втором уровне решаются задачи оптимизации параметров и режимов работы трактора в заданных (для группы работ) производственных условиях:  $Z_{2.1}$  – обоснования устойчивого движения трактора по тягово-сцепным свойствам  $\varphi_{krop}$  для обобщенной характеристики опорной поверхности;  $Z_{2.2}$  – определения удельного энергетического потенциала трактора  $(\xi_N^* \Theta)_{ji}^*$  при вероятностном характере обобщенных производственных воздействий;  $Z_{2.3}$  – оптимизации массоэнергетических параметров трактора  $(m_{э}, \xi_N^* N_{ээ})_{ji}^*$  для отдельных групп операций  $n_i$ ;  $Z_{2.4}$  – оптимизации базовых значений эксплуатационных параметров трактора  $(\bar{m}_{э}, \bar{N}_{ээ})_{ji}^*$  и внешней характеристики двигателя  $(K_M, n_H)$  с учетом занятости  $F_i$  на операциях и превалирующего класса длиныгона  $l_r$ . Управляющие воздействия на конструкционно-

технологические ( $K_M, m_{\text{э}}$ ) параметры и топливные ( $G_T$ ) показатели принимаются на основе оценки и принятия решения по критериям устойчивого, без снижения рабочей скорости, движения ( $\eta_T \rightarrow \max$ ).

В основу оптимизации эксплуатационной массы  $m_{\text{э}}$  и мощности  $N_{\text{э}}$  (энергетического потенциала  $\xi_N \cdot N_{\text{э}}$ ) положена тенденция создания параметрического ряда МЭС с переменными массоэнергетическими параметрами, обеспечивающими их эффективное функционирование на разных операциях основной обработки почвы и классах длины гона. При установленной оптимальной энергонасыщенности  $\mathcal{E}_{ji}^*$ , или  $(\xi_N^* \mathcal{E})_{ji}^*$ , для конкретной технологической операции значения  $m_{ji}^*$  и  $N_{ji}^*$  трактора определяются исходя из минимума удельных энергозатрат  $E_{\Pi \sum V_i} \rightarrow \min$ .

Третий уровень ресурсосбережения связан с конкретизацией состава и режимов работы каждого агрегата на базе выбранных массоэнергетических параметров ( $\bar{N}_{\text{эси}} / \bar{m}_{\text{эси}}$ ) энергомашин по соответствующим частным критериям оптимальности. Он включает решение задач оптимизации целостной системы (МТА) с учетом взаимосвязей ее подсистем между собой и окружающей средой на режиме рабочего хода:  $Z_{3.1}$  – оптимизации расчетных тягового ( $\bar{P}_{\text{кр}}$ ) и скоростного ( $\bar{V}^*$ ) режимов работы трактора по каналам отбора мощности и тяги;  $Z_{3.2}$  – оценки показателей технологического уровня трактора ( $W^*, C_j$ );  $Z_{3.3}$  – комплектования ресурсосберегающих агрегатов ( $B_{pi}^*$ ). Управление режимом рабочего хода принимается на основе оценки и анализа скоростных режимов работы двигателя и агрегата.

Основные критерии ресурсосбережения представляют минимум удельных топливных и энергетических затрат ( $g_{\omega}, E_n \rightarrow \min$ ). Выходными параметрами являются оптимальные значения рабочей скорости  $\bar{V}_{\text{опт}}$  и ширины захвата агрегата  $B_{\text{Ропт}}$ .

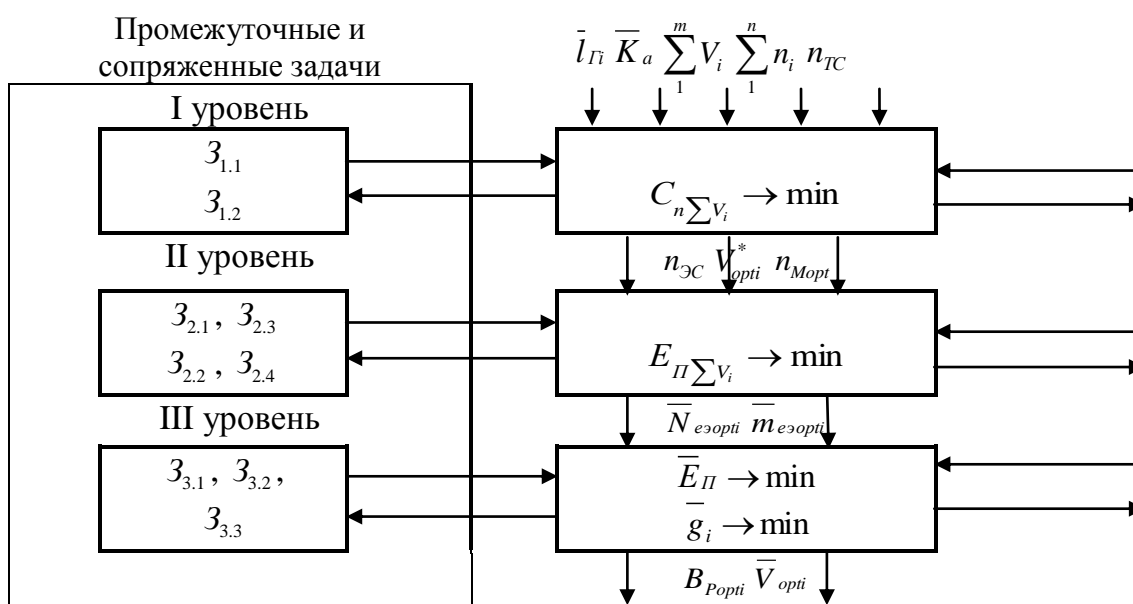


Рисунок 1 – Структурная схема многоуровневой системы адаптации почвообрабатывающего агрегата к природно-производственным условиям

Наивысшая эффективность агрегата достигается при максимальной чистой производительности  $W$  ( $m^2/c$ ) и наименьших удельных энергозатратах  $E_{II}$  ( $Дж/м^2$ )

$$\begin{cases} W = P_{KP} V / K_0 \mu_K \rightarrow \max; \\ E_{II} = \mu_K K_0 / \eta_T \rightarrow \min. \end{cases} \quad (2)$$

Для оценки указанных показателей агрегата, независимо от тягового усилия  $P_{KP}$  и удельного тягового сопротивления  $K_0$ , из уравнений системы (2) получим

$$\begin{cases} K_{II} = V / \mu_K = V [1 + \Delta K (V^2 - V_0^2)] \\ K_{EII} = \mu_K^2 / \eta_T V [1 + \Delta K (V^2 - V_0^2)]^2 / \eta_T V. \end{cases} \quad (3)$$

В этих выражениях  $K_{II}$  – эквивалента производительности, а  $K_{EII}$  – эквивалента энергозатрат – зависят от скорости движения  $V$ , тягового КПД трактора  $\eta_T$  и характеристики удельного сопротивления агрегата  $\mu_K = [1 + \Delta K (V^2 - V_0^2)]$ , учитывающей его возрастание  $\Delta K$  при  $V > V_0 = 1,4 м/с$ . Потенциальный диапазон рабочих скоростей агрегата можно установить на первом уровне с использованием принятых выше эквивалент. При этом максимальная скорость  $V_{\max}^*$  соответствует наивысшей производительности  $K_{II} = V / \mu_K \rightarrow \max$ , а минимальная  $V_{\min}^*$  – наименьшим удельным энергозатратам  $K_{EII} = E_K / K_{II} \rightarrow \min$ . Значения указанных скоростей движения определяются соответственно из условий  $dK_{II} / dV = 0$  и  $dK_{EII} / dV = 0$

$$\begin{cases} V_{\max}^* = \sqrt{(1 - \Delta K V_0^2) / \Delta K}; \\ V_{\min}^* = \sqrt{(1 - \Delta K V_0^2) / 3\Delta K}. \end{cases} \quad (4)$$

Значения скоростей  $V_{\max}^*$  и  $V_{\min}^*$  зависят только от величины  $\Delta K$ . Поэтому агрегат, составленный по критерию  $K_{II \max}$ , при  $V_{\max}^*$  будет иметь максимальную производительность с удельными энергозатратами  $K_{EII} > K_{EII \min}$ , а по критерию  $K_{EII \min}$ , при  $V_{\min}^*$  будет обеспечивать наименьшую производительность. Оптимальное (рациональное) значение скорости агрегата  $V_{opt}^*$  выбирается из условия  $V_{\min}^* < V_{opt}^* \leq V_{\max}^*$ , независимо от типа и тягового режима использования трактора. При ее определении следует использовать компромиссный вариант, учитывающий характер протекания зависимостей  $K_{II}$ ,  $K_{EII} = f(V)$  и агрегатования.

Анализ результатов моделирования (рис.2) показал, что снижение коэффициента  $\Delta K$  от 0,20 до 0,06 приводит к повышению  $V_{\max}^*$  и  $V_{\min}^*$  от 1,74 до 3,83 м/с и от 1,40 (ограничение по  $V_0$ ) до 2,21 м/с соответственно. Соотношение значений эквиваленты производительности  $K_{II}(V_{\max}^*) / K_{II}(V_{\min}^*)$  при  $\Delta K \leq 0,12 c^2 / m^2$  составляет 1,14-1,17, а при  $\Delta K > 0,12 c^2 / m^2$  только 1,03-1,09. Отношение  $K_{EII}(V_{\max}^*) / K_{EII}(V_{\min}^*)$  при этом достигает 1,33 и 1,18.



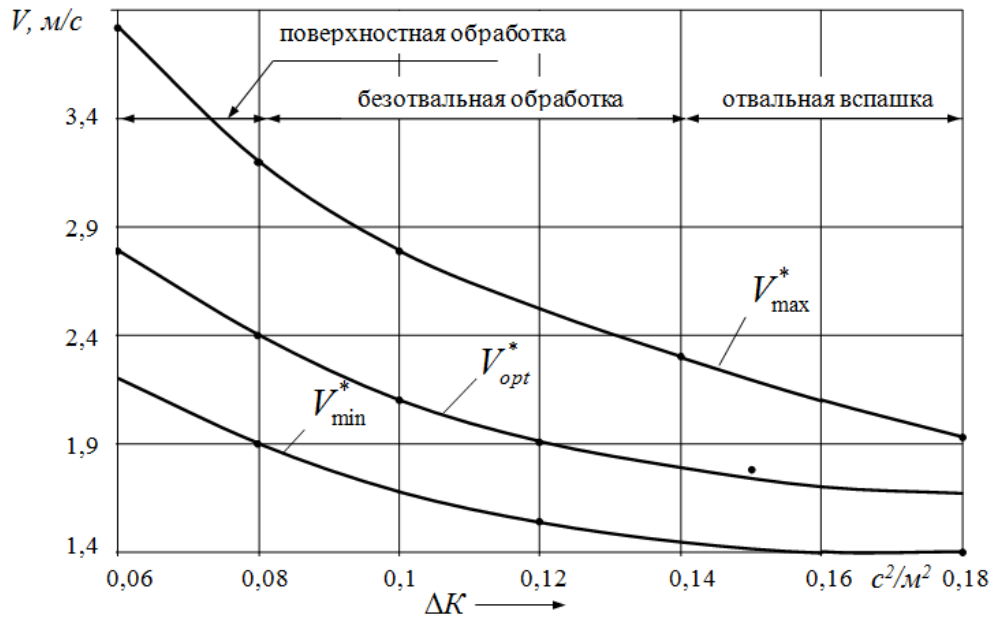


Рисунок 2 – Влияние характеристики тягового сопротивления  $\Delta K$  на рациональный диапазон скоростей почвообрабатывающих машин и агрегатов

Полученные значения показателей эффективности позволили обосновать выбор оптимальной скорости агрегата из условий:

$$\begin{cases} K_{EП}(V_{opt}^*) = (1,06 - 1,07)K_{EП\min}, \text{ при } \Delta K \leq 0,12c^2/m^2; \\ K_{EП}(V_{opt}^*) = (1,09)K_{EП\min}, \text{ при } \Delta K > 0,12c^2/m^2. \end{cases} \quad (5)$$

Указанным значениям  $V_{opt}^*$  соответствуют эквиваленты производительности:

$$\begin{cases} K_{П}(V_{opt}^*) = (0,96 - 0,97)K_{П\max}, \text{ при } \Delta K \leq 0,12c^2/m^2; \\ K_{П}(V_{opt}^*) = (0,98 - 0,99)K_{П\max}, \text{ при } \Delta K > 0,12c^2/m^2. \end{cases} \quad (6)$$

Приведенные интервалы  $(V_{\max}^* - V_{opt}^*)$  рабочих скоростей на операциях основной обработки почвы находятся внутри рекомендуемых по агротребованиям скоростных интервалов  $V_{ai}$  и соответствуют значениям теоретической скорости движения на передачах рабочего диапазона (2,2-2,8 м/с) колесных тракторов.

Исходя из установленной задачи первого этапа второго уровня адаптации  $Z_{2.1}$ , под оптимальным тяговым режимом работы трактора подразумевается соотношение тягового усилия  $P_{KPopt}$  и рабочей скорости  $V_{opt}^*$ , при которых достигается максимум тягового КПД трактора  $\eta_T = N_{KP} / \xi_N^* \cdot N_{e3} = \max$ . Тяговый КПД трактора можно выразить в виде произведения трех КПД, учитывающих потери мощности в трансмиссии  $\eta_{TP}$ , потери на качение трактора  $\eta_f$  и на буксование движителя  $\eta_\delta$ . Поэтому для однотипных тракторов на одноименных почвенных фонах КПД сопротивления качению и буксование  $\delta$  удобнее определять в функции  $\varphi_{kp}$ , используя при обработке результатов тяговых испытаний аппроксимативные модели:

$$\begin{cases} \eta_j = \varphi_{KP} / (\varphi_{KP} + f); \\ \delta = \alpha \varphi_{KP} / (v - \varphi_{KP}), \end{cases} \quad (7)$$

где  $\alpha$  и  $v$  – эмпирические коэффициенты, определяемые экспериментально.

Тогда, с учетом установленных зависимостей, критерий оптимизации

$$\eta_T = \eta_{TP} \cdot \left[ \frac{\varphi_{кр}}{\varphi_{кр} + f} \right] \cdot \left\{ 1 - \left[ \frac{\alpha \cdot \varphi_{кр}}{\epsilon - \varphi_{кр}} \right] \right\} \rightarrow \max. \quad (8)$$

Таким образом, все тяговые характеристики трактора могут быть выражены функцией одного аргумента – коэффициента использования сцепного веса  $\varphi_{кр}$ .

По критерию (8) можно определить значение  $\varphi_{кр\text{opt}}$ , соответствующее  $\eta_{T\text{max}}$

$$\varphi_{кр\text{opt}} = \xi \cdot \left[ 1 - \frac{\sqrt{a(1+a+\epsilon/f)}}{(1+a)} \right], \quad (9)$$

где  $\xi = (\epsilon/f)(1+a)/(f - a\epsilon + af)$ .

Использование универсального метода табулирования при оценке рационального диапазона изменения  $\varphi_{кр}$  позволяет выделить основные режимы работы трактора на потенциальной тяговой характеристике:  $\varphi_{кр\text{max}}$  – с допустимым буксованием  $\delta_\delta$  и тяговым КПД  $\eta_{T1}$ ;  $\varphi_{кр\text{opt}}$  – с буксованием  $\delta_{\text{opt}} \leq \delta_D$  и максимальным тяговым КПД  $\eta_{T\text{max}} > \eta_{T1}$ ;  $\varphi_{кр\text{min}}$  – с буксованием  $\delta_{\text{min}} < \delta_{\text{opt}}$  и  $\eta_{T1}$  (рис.3).

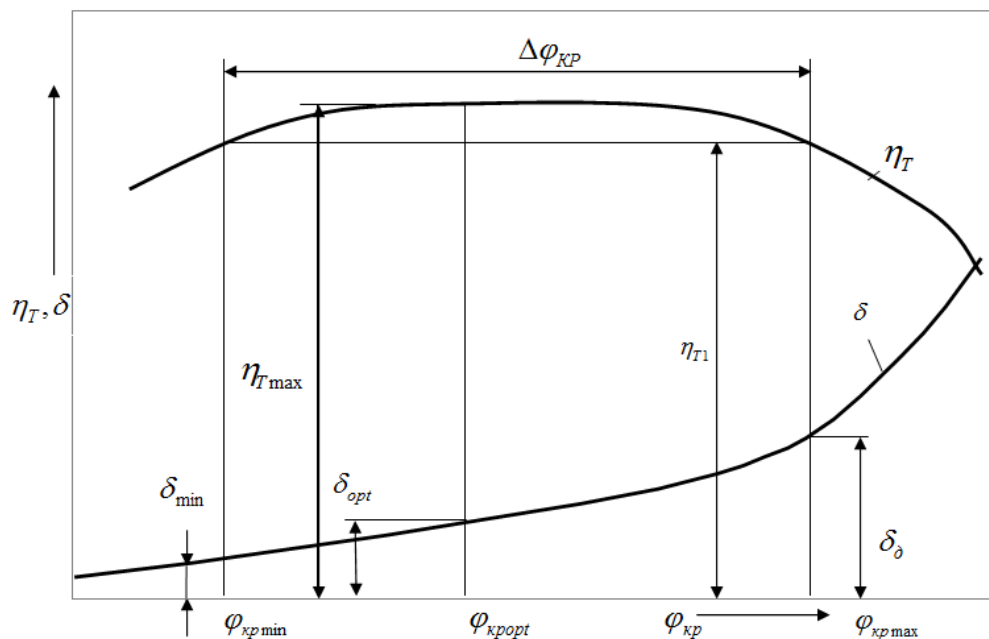


Рисунок 3 – Определение рационального тягового диапазона трактора

Уравнение энергетического баланса трактора в тяговом режиме при равномерном движении с рабочей скоростью  $V$  на горизонтальной поверхности запишется в виде

$$\xi_N^* N_{\epsilon 3} \eta_{TP} \eta_\delta = K_a B_P V + (1 + \mu_f) f \cdot m_s g V. \quad (10)$$

Левая часть уравнения (10) представляет номинальную эксплуатационную мощность двигателя  $N_{\epsilon 3}$ , приведенную к ведущим колесам трактора при установленных значениях коэффициента ее использования  $\xi_N^*$ , КПД трансмиссии  $\eta_{TP}$  и КПД буксования  $\eta_\delta = (1 - \delta)$ .

Первое выражение в правой части уравнения (10) определяет затраты мощности  $N_{кр}$  на перемещение рабочей машины

$$N_{KP} = K_0 [1 + \Delta K (V^2 - V_0^2)] B_P V, = \varphi_{KP} m_{\varepsilon} g V, \quad (11)$$

а второе представляет затраты мощности двигателя на качение трактора  $N_f$  с учетом потерь в шинах и подвеске  $\mu_f \approx (0,05-0,1)f_o$  при  $f = (1 + \mu_f)f_o + C(V - V_0)$

$$N_f = f m_{\varepsilon} g V. \quad (12)$$

Тогда уравнение (10) примет вид

$$\xi_N^* \eta_{TP} \eta_{\delta} N_{e\varepsilon} = (\varphi_{KP} + f) m_{\varepsilon} g V. \quad (13)$$

Параметр оптимизации задачи  $Z_{2.2}$  – удельный энергетический потенциал трактора при критерии  $E_K = \mu_K / \eta_T \rightarrow \min$  выразится как

$$(\xi_N^* \varepsilon)_{opt} = \left( \frac{\xi_N^* N_{e\varepsilon}}{m_{\varepsilon}} \right)_{opt} = \left[ \frac{(\varphi_{KP} + f) \cdot V \cdot g}{\eta_{mp} \cdot \eta_{\delta}} \right]_{opt}, \quad (14)$$

асоответствующая ему эквивалента эксплуатационной массы

$$K_{m\varepsilon} = K_{II} \cdot E_K / \xi_N^* \varepsilon = V / \eta_T \cdot \xi_N^* \cdot \varepsilon. \quad (15)$$

При известных зависимостях коэффициентов загрузки двигателя по крутящему моменту  $\xi_{Mji}^* = \bar{M}_{Kji} / M_{Hji}$  и скоростному режиму  $\xi_{\omega ji}^* = \bar{n}_{gji} / n_{Hji}$  от коэффициентов приспособляемости  $K_M$  и вариации нагрузки  $v_{MC}$  экстремальное значение коэффициента использования мощности выразится как  $\xi_{Nji}^* = (\xi_M^* \cdot \xi_W^* \cdot \xi_{N_1}^*)_{ji}$ . Коэффициент  $\xi_{N_1}^*$ , учитывающий недоиспользование мощности из-за снижения скоростного режима при колебаниях нагрузки, рассчитывается по выражению

$$\xi_{N_1}^* = (0.80 + 0.167 K_M - 0.642 v_{MC}) + \frac{(n_H - n_M)(1 - \xi_M^* \cdot \xi_{\omega}^*)}{(n_{XX \max} - n_H)(K_M - 1)}. \quad (16)$$

Оптимальные (номинальные) значения массоэнергетических параметров трактора для основных технологических операций и соответствующего класса длины гона определяются при установленной чистой производительности  $W_i^*$  и  $E_{nji} \rightarrow \min$

$$\begin{cases} f_1(\xi_N^* N_{e\varepsilon})^* ji = W_i^* \cdot K_{oi} \cdot \mu_{ki} / \varphi_{IHji}^*; \\ m_{\varepsilon ji}^* = \left[ \frac{(\xi_N^* N_{e\varepsilon})^* \cdot \eta_{TP} (1 - \delta_H)}{V^* \cdot g (\varphi_{KPH} + f)} \right] ji. \end{cases} \quad (17)$$

На этом же этапе предварительно определяется рабочая ширина захвата агрегата для конкретной операции и установленного класса длины гона

$$B_{Pi}^* = W_i^* / V^*. \quad (18)$$

Для каждого класса длины гона основные значения энергетического потенциала и эксплуатационной массы трактора определяются решением моделей:

$$(\xi_N^* \bar{N}_{e\varepsilon})^* j = \sum_{i=1}^i (\xi_N^* N_{e\varepsilon})_{ji}^* F_i; \quad (19)$$

$$\bar{m}_{\varepsilon j}^* = \sum_{i=1}^i m_{\varepsilon ji}^* \cdot F_i, \quad (20)$$

где  $F_i = T_i / \sum_1^i T_i$  – соотношение годовой занятости трактора на основной обработке

почвы по  $i$ -й технологии  $T_i$  и на всех почвообрабатывающих операциях  $\sum_1^i T_i$ .

Их решение позволяет обосновать целесообразность и эффективность создания энергетического средства с переменными массоэнергетическими параметрами, адаптированными к основным почвообрабатывающим технологиям и классам длины гона:

$$\varphi_{кпрі} \lambda(\xi_{\bar{N}} \bar{N}_{eэ})_{ji} = \frac{(\xi_{\bar{N}} \bar{N}_{eэ})_{j}^*}{(\xi_{\bar{N}} \bar{N}_{eэ})_{ji}^*} = \lambda \omega_i^* \cdot \lambda \mu_{ki} / \lambda \eta_{пнj}; \quad (21)$$

$$\lambda_{mэji}^* = \frac{\lambda_{кпрji}^* j i}{\lambda \varphi_{кпрji}} = \frac{\lambda(\xi_{\bar{N}} \bar{N}_{eэ})_{ji}^* \cdot \lambda_{трj} \cdot \lambda \eta_{эj}}{\lambda V_{opti}^* \cdot \lambda(\varphi_{кр} + f) j}. \quad (22)$$

Относительный показатель технической производительности  $\Pi = 0,36 \cdot W \cdot \tau$  для сравнительной оценки тракторов выразится как

$$\lambda_{\Pi} = \lambda_{\xi_{\bar{N}}} \lambda_{N_{eэ}} \lambda_{\eta_{пн}} \lambda_{\tau} / \lambda_{\mu_k}, \quad (23)$$

где  $\Pi_0$  – техническая производительность агрегата (га/ч) с базовым трактором;  $\lambda_{\tau} = T_p / T_{p0}$ .

**В третьем разделе** «Методика экспериментальных исследований» представлены программа, объекты, параметрические модели и методы стендовых, полевых и производственных испытаний, измерительная аппаратура.

На первом этапе исследований выполнена статистическая оценка параметров тягово-скоростных режимов работы и показателей топливной экономичности почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения на базе тракторов К-744Р<sub>2</sub>/Р<sub>3</sub>.

Стендовые испытания проводились на лабораторной установке, включающей электрический тормозной стенд KS-56В-4 с установленной мощностью 200кВт и синхронной частотой вращения  $n_c = 1500 \text{ мин}^{-1}$ , двигатель ЯМЗ-240Б, коробку передач (КП) и дополнительную КП, выполняющую роль мультипликатора. Динамические параметры установки обеспечивали имитацию нагрузочных режимов для оценки энергетических и топливных показателей силового агрегата тракторов условиях рядовой эксплуатации.

Лабораторно-полевые и технологические испытания проводились на сплошной и предпосевной культивации агрегатом К-744Р<sub>2</sub>+АКП-8,4 «Лидер», а также на глубокой и поверхностной обработке почвы агрегатом К-744Р<sub>2</sub>+БДМ 6×4П «М». Для расчета параметрических моделей в виде уравнений использованы программы и приложения в MicrosoftofficeExcel 2007.

**В четвертом разделе** «Результаты исследования эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов на базе тракторов «Кировец» приведены результаты оценки эффективности работы агрегатов разного технологического назначения на базе пяти основных типоразмеров тракторов (К-744Р<sub>1</sub>, Р<sub>2</sub>, Р<sub>3</sub>, Р<sub>2М</sub>, Р<sub>3М</sub>) серии К-744Р.

На основании статистического анализа результатов испытаний и рекомендаций изготовителей по энергоемкости применяемых технологий и их технического обеспечения все операции основной обработки почвы в АПК региона можно разделить на три группы:

1) отвальная вспашка и глубокое рыхление почвы на глубину 0,21-0,23м и 0,40-0,50м соответственно при  $\bar{K}_{0i} = 11,0-14,0 \text{ кН/м}$ ,  $\Delta \bar{K}_i = 0,15-0,18 \text{ с}^2/\text{м}^2$ ,  $v_{\bar{K}0i} = 0,10$  и  $(v_{opt}^* - v_{max}^*) = 1,8-2,1 \text{ м/с}$ ;

2) послеуборочная безотвальная комбинированная обработка (сплошная культивация), дискование и чизелевание на глубину 0,14-0,16м и 0,20-0,30м соответственно при  $\bar{K}_{oi} = 4,70-6,50 \text{ кН/м}$ ,  $\Delta\bar{K}_i = 0,10 \text{ с}^2/\text{м}^2$ ,  $v_{\bar{K}_{oi}} = 0,07-0,10$  и  $(V_{opt}^* - V_{max}^*) = 2,1-2,8 \text{ м/с}$ ;

3) послеуборочная поверхностная обработка на глубину 0,06-0,12м, предпосевная обработка, обработка и посев по нулевой технологии при  $\bar{K}_{oi} = 3,10-5,10 \text{ кН/м}$ ,  $\Delta\bar{K}_i = 0,06 \text{ с}^2/\text{м}^2$ ,  $v_{\bar{K}_{oi}} = 0,07$  и  $(V_{opt}^* - V_{max}^*) = 2,80-3,80 \text{ м/с}$ .

На рисунке 4 представлено соотношение объемов работ (площадей) по группам технологий основной обработки почвы в АПК Красноярского края. Превалирующей (55%) является минимальная технология с безотвальной обработкой и чизелеванием почвы. Поверхностная комбинированная обработка ( $h = 0,08 - 0,12 \text{ м}$ ) и посев по нулевой технологии производятся на 30% площадей по 15% соответственно. Отвальной вспашке и глубокому рыхлению, отнесенным по энергоемкости к первой группе родственных операций, подвергаются около 15% площадей – 10 и 5% соответственно.

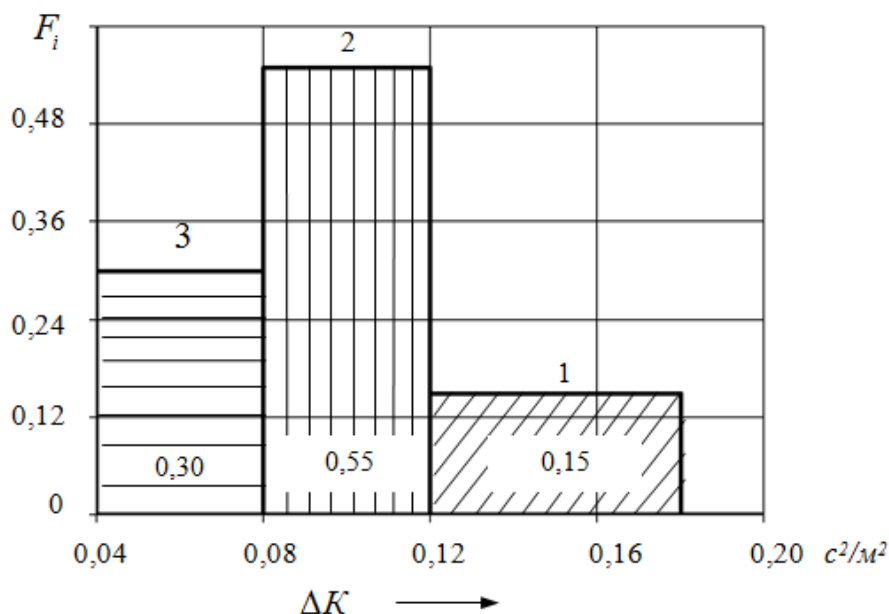


Рисунок 4– Соотношение объемов работ по группам технологий основной обработки почвы в АПК Красноярского края: 1 – отвальная вспашка и глубокое рыхление; 2 – безотвальная комбинированная обработка; 3 – поверхностная обработка и посев по нулевой технологии

Результаты моделирования момента сопротивления по закону арксинуса в стендовых условиях подтвердили общий характер изменения и высокую достоверность расчетного определения оптимального значения коэффициента использования мощности при вероятностном характере внешней нагрузки (рис. 5).

Общие закономерности воздействия температуры масла  $t_M$  и частоты вращения входного вала  $n_1$  в виде кодированных факторов  $x_1 = (t_M - 60)/30$  и  $x_2 = (n_1 - 1700)/200$  на потери холостого хода и КПД КП трактора «Кировец», на примере передачи III-3, определяются адекватными ( $R = 0,990$ ) параметрическими уравнениями регрессии второй степени:

$$\bar{N}_{xx} = 3,51 + 0,37x_1 + 0,85x_2 + 0,21x_1x_2 + 1,43x_1^2x_2^2; \quad (24)$$

$$\bar{\eta}_{КП} = 0,934 + 0,003x_1 - 0,001x_1x_2 - 0,007x_1^2. \quad (25)$$

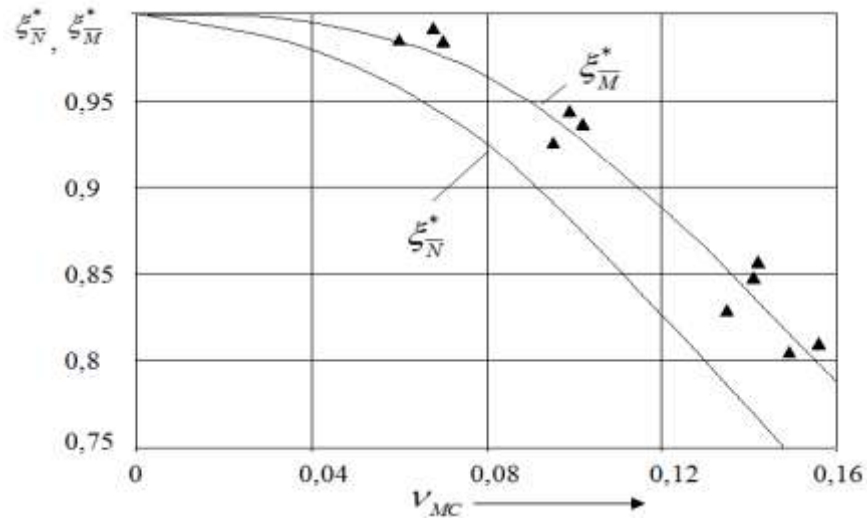


Рисунок 5–Зависимость энергетических показателей двигателя от параметров нагрузки ( $K_M = 1,20$ ): — расчет; ▲ – моделирование ( $f_a = 1,5 \text{ c}^{-1}$ )

Величина общего КПД трансмиссии тракторов серии К-744Р на основных нагрузочно-скоростных режимах работы при оптимальной температуре  $t_M = 60-80^\circ\text{C}$  масла составляет 0,88-0,90. Большие значения КПД характерны для тракторов К-744Р<sub>2</sub>/Р<sub>3</sub>. Параметры неустановившейся нагрузки практически не оказывают влияния на его величину.

По результатам лабораторно-полевых испытаний получены выражения для определения осредненных значений коэффициента сопротивления качению трактора на стерневом фоне при комплектовании одинарными и сдвоенными колесами:

$$\begin{cases} f_1 = 0,09 + 0,010(V - V_0); \\ f_2 = 0,05 + 0,011(V - V_0). \end{cases} \quad (26)$$

Анализ различных сочетаний  $\varphi_{КР}$  и  $f$  позволил установить графические зависимости  $\delta, \eta_T = f(\varphi_{КР}, V)$  (рис. 6) и определить рациональные тяговые диапазоны ( $\varphi_{КР\text{опт}} - \varphi_{КР\text{max}}$ ) использования тракторов серии К-744Р с одинарными (0,369-0,450) и сдвоенными (0,350-0,490) колесами на стерне колосовых. Взаимосвязи  $\delta, \eta_T = f(\varphi_{КР}, V)$  для тракторов серии К-744Р с одинарными и сдвоенными колесами в установленных тяговых диапазонах ( $\varphi_{КР\text{max}} - \varphi_{КР\text{min}}$ ), с достаточной для расчетов достоверностью, аппроксимированы выражениями:

$$\begin{cases} \delta_1 = 0,110 \cdot \varphi_{КР} / (0,773 - \varphi_{КР}); \\ \delta_2 = 0,110 \cdot (\varphi_{КР} - 0,044) / (0,813 - \varphi_{КР}). \end{cases} \quad (27)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_{T1} = 0,89 \left\{ \frac{\varphi_{KP}}{\varphi_{KP} + [0,09 + 0,010(V - 1,4)]} \right\} \left[ 1 - \frac{0,11 \cdot \varphi_{KP}}{(0,773 - \varphi_{KP})} \right]; \\ \eta_{T2} = 0,89 \left\{ \frac{\varphi_{KP}}{\varphi_{KP} + [0,05 + 0,011(V - 1,4)]} \right\} \left[ 1 - \frac{0,11 \cdot (\varphi_{KP} - 0,044)}{(0,813 - \varphi_{KP})} \right]. \end{array} \right. \quad (28)$$

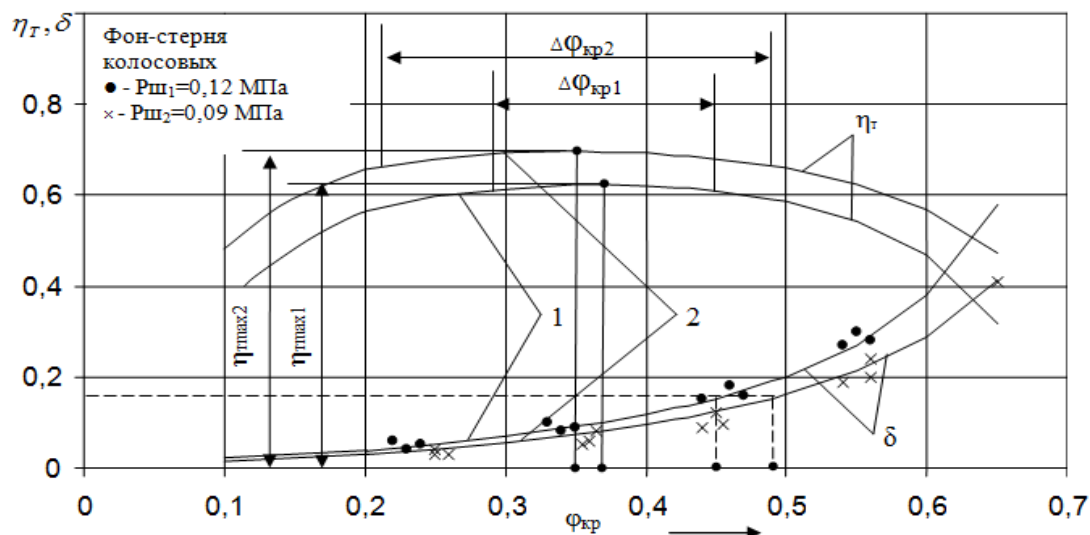


Рисунок 6 – Зависимость буксования и тягового КПД тракторов серии К-744Р от коэффициента использования эксплуатационного веса: 1 – одинарные колеса; 2 – двойные колеса

Полученные по результатам моделирования зависимости удельного энергетического потенциала ( $\xi_N \mathcal{E}$ ) и эквиваленты эксплуатационной массы  $K_{mэ}$  трактора 4К46 (рис. 7) показывают, что повышение номинальной скорости движения от 1,6 до 3,8 м/с в режиме максимального тягового КПД сопровождается ростом ( $\xi_N \mathcal{E}$ )<sup>\*</sup> от 9,02 до 23,23 Вт/кг. Опережающий рост энергонасыщенности обусловлен снижением тягового КПД на 3,0% из-за увеличения сопротивления качению трактора в указанном скоростном интервале. Коэффициент использования эксплуатационной массы на режиме  $\eta_{Tmax}$  снижается, а при  $\varphi_{KPmax}$ , наоборот, возрастает с повышением скорости, что обусловлено соответствующим изменением коэффициентов  $\varphi_{KPopt}$  и  $\varphi_{KPmax}$ .

Сдваивание колес, с одновременным понижением давления в шинах с 0,14-0,16 до 0,09-0,10 МПа, снижает величину ( $\xi_N \mathcal{E}$ )<sup>\*</sup><sub>opt</sub> в среднем на 17%. На режиме допустимого буксования ( $\xi_N \mathcal{E}$ )<sup>\*</sup><sub>max</sub> остается неизменным из-за соотношения  $\lambda \varphi_{KPmax} / \lambda \eta_{T1} = 1,0$ . Расширение рационального тягового диапазона от  $\varphi_{KPopt} = 0,35$  до  $\varphi_{KPmax} = 0,49$  увеличивает эффективность использования эксплуатационной массы при допустимом буксовании в среднем на 10,9%, а на режиме  $\eta_{Tmax}$ , наоборот, уменьшает на 5,4%.

Результаты моделирования показали, что для характерной в АПК края и равномерной занятости трактора на всех видах обработки почвы значения показателей ( $\xi_N \mathcal{E}$ )<sup>\*</sup> и  $K_{mэ}$ <sup>\*</sup> находятся в пределах: на одинарных колесах

(13,9-14,5)Вт/кг и (0,253-0,254)с<sup>2</sup>/м соответственно; на сдвоенных – (12,9-13,5)Вт/кг и (0,249-0,250)с<sup>2</sup>/м. Для тракторов, оснащенных отечественными дизелями с коэффициентом приспособляемости  $K_M = 1,18-1,31$  и  $\xi_N^* = 0,925-0,935$ , потребная энергонасыщенность  $\bar{\varepsilon}^*$  составляет (14,9-15,6)Вт/кг на одинарных и (13,8-14,5)Вт/кг на сдвоенных колесах.

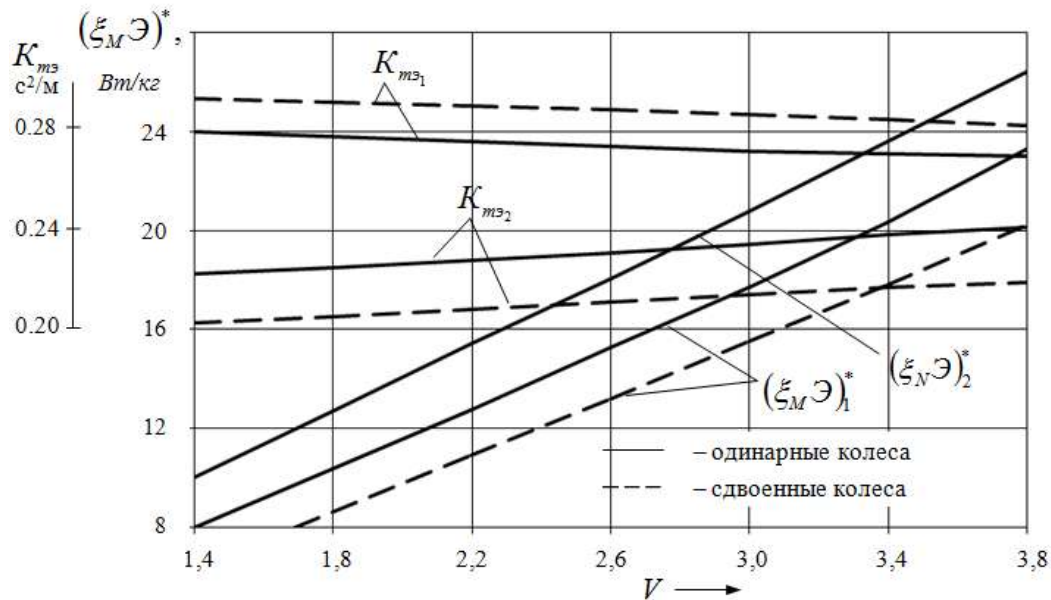


Рисунок 7 – Зависимость удельного энергетического потенциала  $(\xi_N \bar{\varepsilon})^*$  и эквиваленты эксплуатационной массы  $K_{mэ}$  трактора 4К4б от скорости рабочего хода: 1 – режим  $\eta_{Tmax}$ ; 2 – режим  $\delta_d$

В таблице 1 приведены расчетные тягово-скоростные режимы работы и соответствующие им потенциальные диапазоны изменения массоэнергетических параметров тракторов 4К4б при удельных сопротивлениях рабочих машин  $(\bar{K}_{0min} - \bar{K}_{0max})i$  для операций основной обработки почвы установленных групп и длине гона  $l_r > 1000$  м. Условием рационального функционирования трактора является использование в тяговом диапазоне, ограниченном  $\varphi_{KPopr}$  и  $\bar{\varphi}_{KP} = 0,5(\varphi_{KPopr} + \varphi_{KPmax})$  при изменении номинальной скорости  $V_H^*$  от минимального до максимального значения.

Таблица 1 – Потенциальные диапазоны изменения массоэнергетических параметров колесных тракторов 4К4б для операций основной обработки установленных групп при  $l_r > 1000$  м

Группа операций	$(\bar{K}_{0min} - \bar{K}_{0max}),$ кН/м	$V_H^*,$ м/с	Комплек- тация	$\varphi_{KPH}$	$(\xi_N \bar{\varepsilon})^*,$ Вт/кг	$(\xi_N N_{eэ})^*,$ кВт	$\bar{m}_э,$ т
1	11,0-14,0	2,10	1к	0,41	13,4	189-240	14,1-18,0
			2к	0,41	11,8	167-213	14,1-18,0
2	4,70-6,50	2,45	1к	0,41	15,7	244-338	15,6-21,4
			2к	0,41	13,9	216-299	15,6-21,4
3	3,10-5,10	3,30	1к	0,37	19,3	253-416	13,1-21,5
			2к	0,35	16,2	224-368	13,8-22,6



Осредненные (с учетом занятости) значения эксплуатационной массы и энергетического потенциала тракторов 4К46 на одинарных и сдвоенных колесах для установленных групп родственных операций основной обработки почвы на длине гона  $l_r > 1000m$  изменяются от 17,3 до 20,9 т и от 234 до 334 кВт (рис. 8).

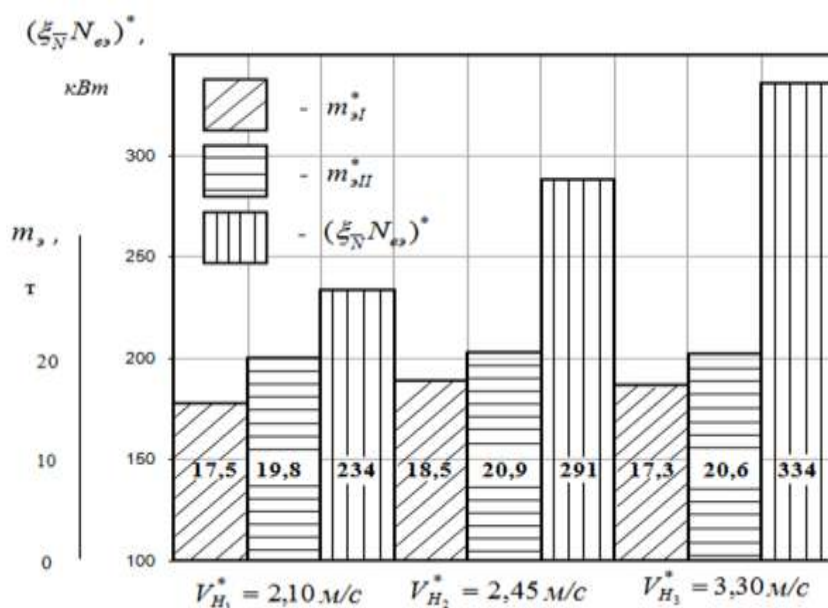


Рисунок 8 – Осредненные значения массоэнергетических параметров колесных 4К46 тракторов на одинарных  $(m_{ol})^*$  и сдвоенных  $(m_{oll})^*$  колесах для установленных групп почвообрабатывающих операций

Для характерного в АПК региона соотношения объемов работ по разным технологиям обработки почвы и соответствующей занятости осредненные значения энергетического потенциала и эксплуатационной массы трактора на одинарных колесах должны составлять при  $l_r > 1000m$  – 277,8 кВт и 18,0 т. На сдвоенных колесах масса трактора возрастает до 20,3 т. При равномерной занятости на операциях 2-й и 3-й групп энергетический потенциал трактора должен быть повышен до 312,8 кВт. Этим требованиям отвечают тракторы К-744Р<sub>3</sub> и К-744Р<sub>3М</sub> мощностью  $N_{es} = 265$  и 295 кВт, массой  $m_{es} = 17,5m$  (20,0 т) и 17,0 т (19,5 т) на одинарных и (сдвоенных) колесах соответственно.

Результаты производственных испытаний почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения на базе трактора К-744Р<sub>2</sub> позволили определить действительные нагрузочно-скоростные режимы работы и показатели эффективности их использования. При этом установлено, что действительные значения показателей тягово-скоростных режимов и эффективности отличаются от потенциальных по результатам моделирования не более чем на 5%. Указанное свидетельствует о достаточно высокой достоверности полученных характеристик и оценочных показателей используемой методологии многоуровневой системы оптимизации эксплуатационных параметров почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения для адаптации к производственным условиям.

По результатам моделирования и производственных испытаний рекомендовано предпочтительное использование и предложены условия рационального агрегатирования тракторов разных типоразмеров с основными типами

почвообрабатывающих машин и посевных комплексов в АПК Красноярского края (табл. 2). Указанные условия могут быть положены в основу комплектования почвообрабатывающих агрегатов для реализации зональных операционных технологий основной обработки почвы.

Таблица 2 – Рациональное агрегатирование тракторов серии К-744Р с основными типами почвообрабатывающих посевных машин и орудий в АПК Красноярского края

Технология и тип машин и орудий	Модель, максимальная ширина захвата, м (количество корпусов)				
	К-744Р <sub>1</sub>	К-744Р <sub>2</sub>	К-744Р <sub>2М</sub>	К-744Р <sub>3М</sub>	К-744Р <sub>3М</sub>
<i>Традиционная</i> Плуг полунавесной ПТК 9-35 Плуг оборотный ППО Плуг чизельный ПЧ	$\begin{pmatrix} 8к \\ 9к \\ 6см \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 9к \\ 10к \\ 7см \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 7к \\ 10к \\ 7см \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 10к \\ 12к \\ 8см \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 8к \\ 12к \\ 8см \end{pmatrix}$
<i>Минимальная</i> Дискатор 4-рядный Культиватор КТС АКП «Лидер»	6/7м 7/8м 7,2/8,5м	6/7м 7/8м 7,2/8,5м	6/7м 7/8м 7,2/8,5м	7/8м 8/10м 8,5/10,8м	7/8м 8/10м 8,5/10,8м
<i>Поверхностная обработка и нулевая технология</i> АКП «Лидер» Посевной комплекс «Кузбасс» Посевной комплекс «Томь»	9/10м ПК-8,5/9,7 Томь-6,3/6,3	10/12м ПК-9,7/9,7 Томь-10/10	10/12м ПК-9,7/9,7 Томь-10/10	12/14м ПК-12,2/12,2 Томь-12/12	10/13м ПК-9,7/12,2 Томь-10/12

Примечание: в знаменателе – для тракторов на сдвоенных колесах.

**В пятом разделе** «Оценка эффективности использования тракторов серии К-744Р на основной обработке почвы» дана сравнительная оценка технико-экономических показателей почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения на базе тракторов серии К-744Р.

При выполнении родственных операций основной обработки почвы установленных групп наиболее эффективными по удельным эксплуатационным затратам при  $l_{\geq 1000}$  являются тракторы следующих типоразмеров:

- на отвальной вспашке и глубоком рыхлении – К-744Р<sub>3</sub>/Р<sub>1</sub>;
- на сплошной культивации и поверхностной обработке – К-744Р<sub>2</sub>/Р<sub>3</sub>.

Оснащение тракторов сдвоенными колесами при выполнении операций безотвальной и поверхностной обработки почвы обеспечивает повышение до 11-13% производительности и снижение от 3 до 11% удельных эксплуатационных затрат.

На сплошной поверхностной обработке и культивации почвы целесообразно использовать оснащенные сдвоенными колесами тракторы К-744Р<sub>2М</sub>/Р<sub>3</sub> и К-744Р<sub>3М</sub>. Срок окупаемости комплекта сдвоенных колес составляет от 2,21 до 3,56 года.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. По результатам анализа развития технического обеспечения зональных технологий возделывания сельскохозяйственных культур обоснована структура системной адаптации эксплуатационных параметров почвообрабатывающих агрегатов к природно-производственным условиям, включающая поэтапную оптимизацию скоростных и тяговых режимов рабочего хода, энергетического

потенциала и эксплуатационной массы трактора, ширины захвата машины-орудия с учетом операционных технологий основной обработки почвы и длины гона.

2. Разработанные на основе детерминированно-стохастических связей, с использованием обоснованных параметров-адаптеров, критериев ресурсосбережения и ограничений, математические модели позволили реализовать систему поэтапного прогнозирования и оптимизации эксплуатационных параметров и режимов рабочего хода почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения на базе энергонасыщенных тракторов колесной формулы 4К4б.

3. По установленным характеристикам удельного сопротивления почвообрабатывающих машин и комплексов обоснованы три группы родственных технологических операций основной обработки почвы с интервалами рабочей скорости их выполнения: 1-я гр. (отвальная вспашка и глубокое рыхление) – 1,8-2,1 м/с; 2-я гр. (безотвальная комбинированная обработка и чизелевание) – 2,1-2,8 м/с; 3-я гр. (поверхностная комбинированная обработка и посев по нулевой технологии) – 2,8-3,8 м/с. По соотношению объемов работ (площадей) основной обработки почвы в АПК Красноярского края преобладающей является 2-я группа технологических операций (55%), на 3-ю и 1-ю группы приходится 30 и 15% обрабатываемых площадей соответственно.

4. Результатами экспериментальных исследований подтверждены основные положения теоретического анализа и определены численные значения коэффициентов уравнений взаимосвязи показателей динамических и тягово-сцепных свойств колесных 4К4б тракторов с параметрами тяговой нагрузки и скоростным режимом работы, позволившие обосновать:

– номинальные значения и эксплуатационные допуски рабочей скорости для установленных групп почвообрабатывающих операций  $V_{H1}^* = 2,1-0,3 \text{ м/с}$ ,  $V_{H2}^* = 2,45 \pm 0,35 \text{ м/с}$ ,  $V_{H3}^* = 3,30 \pm 0,5 \text{ м/с}$ ;

– рациональный тяговый диапазон, ограниченный значениями коэффициента использования веса  $\varphi_{KP1} = 0,37-0,41$  на одинарных и  $\varphi_{KP2} = 0,35-0,41$  на сдвоенных колесах;

– интервалы изменения удельного энергетического потенциала тракторов для основных групп почвообрабатывающих операций на одинарных (13,4-18,9 Вт/кг) и сдвоенных (11,9-15,9 Вт/кг) колесах;

– оптимальный диапазон изменения энергетического потенциала  $(\xi_N N_{ez})_i^* = 234-334 \text{ кВт}$ , типоразмерный ряд тракторов и параметры агрегатов для основной обработки почвы при длине гона  $l_r > 1000 \text{ м}$ .

5. По результатам сравнительной оценки потенциальных тягово-динамических характеристик тракторов разных типоразмеров и технико-экономических показателей почвообрабатывающих агрегатов установлены приоритетные группы операционных технологий и рациональные тягово-скоростные режимы их использования при длине гона  $l_r \geq 1000 \text{ м}$ , а также условия агрегатирования с основными типами рабочих машин. Наиболее адаптированными к зональным технологиям обработки почвы по критерию ресурсосбережения являются тракторы следующих типоразмеров:

– отвальная вспашка и глубокое рыхление – К-744Р<sub>3</sub>/Р<sub>1</sub>;  
– безотвальная обработка и дискование стерни ( $h=0,14-0,18 \text{ м}$ ) – К-744Р<sub>3</sub>/Р<sub>2</sub>/Р<sub>2М</sub>;  
– поверхностная обработка и дискование стерни ( $h=0,10-0,12 \text{ м}$ ) и нулевая технология – К-744Р<sub>3М</sub>/Р<sub>3</sub>/Р<sub>2М</sub> на сдвоенных колесах.

6. Исследованиями установлено, что для характерного в АПК Красноярского края соотношения технологий основной обработки почвы наивысшую эффективность обеспечивают агрегаты на базе тракторов К-744Р<sub>3</sub> /Р<sub>2</sub>. Сдвигание колес на операциях минимальной и нулевой технологий повышает производительность и снижает удельные эксплуатационные затраты до 11-13% при окупаемости за 2,2-3,6 года и наиболее целесообразно для тракторов К-744Р<sub>3</sub> /Р<sub>ЗМ</sub>.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### *в изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Селиванов, Н.И. Структура и модели системной адаптации тракторов к условиям функционирования [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2009. – № 1. – С.122–126.

2. Селиванов, Н.И. Взаимосвязь параметров энергетических и тягово-сцепных свойств трактора [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский, С.Н. Селиванов // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2010. – №1. – С.132–137.

3. Селиванов, Н.И. Взаимосвязь параметров энергетических и тягово-динамических свойств трактора [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский, А.В. Кузнецов // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2010. – № 2. – С. 118–123.

4. Селиванов, Н.И. Сравнительная оценка эффективности тракторов [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский, Н.В. Кузьмин // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2010. – №5. – С.119–126.

5. Селиванов, Н.И. Рациональные параметры тракторов общего назначения [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский, Н.В. Кузьмин // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2010. – № 8. – С.115–118.

6. Селиванов, Н.И. Структура экспериментальных исследований адаптации почвообрабатывающих агрегатов к природно-производственным условиям [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2012. – № 3. – С.165–168.

7. Селиванов, Н.И. Эффективность технологических процессов основной обработки почвы [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2012. – №4. – С.179–185.

8. Селиванов, Н.И. Показатели динамических и тягово-сцепных свойств тракторов «Кировец» серии К-744Р [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2012. – №5. – С.297–305.

9. Селиванов, Н.И. Энергетический потенциал колесных 4К46 тракторов общего назначения [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2012. – № 6. – С.156–162.

10. Селиванов, Н.И. Техничко-экономические показатели почвообрабатывающих агрегатов на базе тракторов серии К-744Р [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский, С.А. Зыков // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2012. – № 9. – С.154–162.

11. Селиванов, Н.И. Рациональное использование тракторов серии К-744Р на основной обработке почвы [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2013. – № 3. – С.129–135.

12. Селиванов, Н.И. Оценка эффективности использования тракторов серии К-744Р на основной обработке почвы [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2013. – № 4. – С.166–172.

*в других изданиях*

13. Селиванов, Н.И. Рациональные тягово-скоростные диапазоны использования тракторов 4К4б «Кировец» [Текст] / Н.И.Селиванов, В.Н. Запрудский, В.В. Киреева // Ресурсосберегающие технологии механизации сельского хозяйства: прил. к «Вестнику КрасГАУ»: сб. ст. Вып. 5 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2009. –С. 27–30.

14. Селиванов, Н.И. Обоснование рациональных параметров тракторов «КИРОВЕЦ» для основной обработки почвы [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана и Болгарии: мат-лыМеждунар. науч.-практ. конф. (г. Красноярск, 25-28 июля 2011г.). Ч. 2 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2011. – С.258–264.

15. Селиванов, Н.И. Сравнительная оценка эффективности технологий основной обработки почвы [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лыМеждунар. науч.-практ. конф. Ч 2. Наука: опыт, проблема, перспективы развития / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – С.45–48.

16. Селиванов, Н.И. Тягово-динамические характеристики трактора К-744Р2 [Текст] / Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский, С.А. Зыков // Наука и образование: опыт, проблема, перспективы развития: мат-лыМеждунар. науч.-практ. конф. Ч. 2. Наука: опыт, проблемы, перспективы развития / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – С.48–51.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.  
Подписано в печать 13.11.2013. Формат 60x84/16 Бумага тип. № 1.  
Печать – ризограф. Усл. печ. л. 1,0 Тираж 100 экз. Заказ № 859  
Издательство Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117