

На правах рукописи



Медведев Александр Алексеевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАХОТНЫХ АГРЕГАТОВ
НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ
ТРАКТОРОВ**

**(на примере пахотного агрегата К-744Р1 + ПБС – 7/9
в условиях Самарской области)**

Специальности: 05.20.01 – технологии и средства
механизации сельского хозяйства; 05.20.03 – технологии
и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов –2005

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский ГАУ имени Н.И. Вавилова»

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Рыбалко Александр Григорьевич

кандидат технических наук, профессор
Лявин Юрий Федорович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Дементьев Александр Иванович

кандидат технических наук, доцент
Кокушкин Арсений Борисович

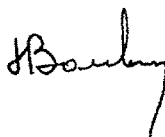
Ведущая организация: Федеральное государственное научное учреждение «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока»

Защита диссертации состоится 24 июня 2005 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д-220.061.03 при ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «20» мая 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Н.П. Волосевич

2006-4
5943

2143727

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В аграрном секторе страны сложилась трудная ситуация. Технический потенциал села уменьшился по тракторному парку с 1380 тыс. штук в 1990 году до 698 тыс. штук в настоящее время. Ежегодно списывается техники в 10-15 раз больше, чем приобретается. Многие заводы сельскохозяйственного направления сократили выпуск своей продукции. По прогнозу к 2010 году в пределах сроков амортизации будут находиться лишь 28 % тракторов.

На первый план в этой ситуации выдвигается решение следующей задачи - каким образом при всем многообразии рынка сельскохозяйственных машин и наличия разномарочного машинно-тракторного парка, находящегося в эксплуатации у сельхозпроизводителя, подобрать тракторный агрегат, который удовлетворял бы требованиям ресурсосберегающих технологий.

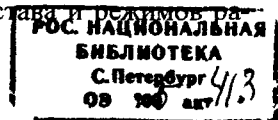
Формируемый технологический комплекс машин для ресурсо- и влагосберегающих технологий на возделывании зерновых культур не подкреплён на настоящий момент разработками по вариантам оптимального агрегатирования новых орудий с перспективными энергонасыщенными тракторами и новых перспективных энергонасыщенных тракторов с существующими орудиями. Не определены оптимальные соотношения между скоростью, шириной захвата и весом машин в составе энергонасыщенных агрегатов с точки зрения максимального экономического эффекта.

В связи с этим работа, выполненная с целью решения ряда этих вопросов, является актуальной.

Цель работы. Оптимизация эксплуатационных показателей пахотных агрегатов на базе современных энергонасыщенных тракторов.

Объект исследований. Технологический процесс вспашки и средства контроля за режимами работы пахотных агрегатов.

Методика исследований. Общая методика исследований включала определение условий эффективного осуществления процесса вспашки, обоснование состава и режимов ра-



боты новых почвообрабатывающих орудий и энергонасыщенных тракторов.

Экспериментальное подтверждение рабочих гипотез осуществлялось с использованием практического исследования факторов, влияющих на процесс вспашки. Экспериментальные данные обрабатывались методом вариационной статистики и регрессивного анализа. В работе использованы методы моделирования процессов и оптимизации оценочных показателей.

Научная новизна диссертации заключается в комплексном подходе к решению задачи повышения эффективности использования пахотных агрегатов путем оптимизации, анализа и обобщения теоретических положений, в результате которых:

- спрогнозированы уровни эффективности использования современных тракторных агрегатов;
- предложена экономико-математическая модель оценки критериев оптимальности тракторных агрегатов;
- разработана методика подбора эффективных ресурсосберегающих почвообрабатывающих тракторных агрегатов;
- обоснованы результаты опытной проверки подбора тягово-скоростных режимов почвообрабатывающих агрегатов с трактором К-744Р1;
- предложен метод корректировки эксплуатационных режимов почвообрабатывающих агрегатов с помощью штатной информационно-измерительной системы контроля режимов работы трактора (ИСКРТ).

Практическая ценность работы. Проведенные исследования и их результаты служат основанием для практического использования экспресс-метода выбора состава и режимов работы пахотных агрегатов и оперативной корректировки их при изменении условий эксплуатации.

Реализация результатов исследований. Результаты, полученные в процессе работы, использованы хозяйствами Кинельского района: ФГУП «Учебно-опытное хозяйство Самарской ГСХА», ОАО «Комсомолец», при выборе состава и режимов работы новых почвообрабатывающих агрегатов, ЗАО Петербургский тракторный завод по производству тракторов К-744Р1 при создании рекомендаций и требований по агрегатированию.

Апробация работы. Результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на кустовых совещаниях Департамента сельского хозяйства Администрации Самарской области, международной научно-практической конференции «Проблемы качества продукции в 21 веке» (18-19 мая 2003 г.) и на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, аспирантов и научных сотрудников ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ имени Н.И. Вавилова» в 2002-2004 гг.

Публикации. По результатам работы опубликовано 8 печатных работ, объемом 3,05 печатных листов, в том числе 1,24 печатных листов лично соискателем.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка использованной литературы из 136 наименований, приложений. Работа содержит 120 страниц, включая 18 таблиц и 20 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение раскрывает актуальность темы, научную новизну и практическую значимость работы.

Первая глава «Состояние вопроса и задачи исследований» содержит анализ состояния машинно-тракторного парка, эффективности его использования в производстве Самарской области.

В настоящее время техническая политика АПК строится на следующих приоритетах:

- формирование оптимального парка машин и оборудования;
- поддержание высокой технической готовности парка машин;
- обеспечение инженерно-технической системы кадрами;
- информационное обеспечение АПК.

Формирование оптимального парка машин осложняется на фоне его старения. В Самарской области 60% комбайнов и 53% тракторов находятся за пределами нормативных сроков эксплуатации, такому парку невозможно ставить задачи об интенсификации использования такой техники. Однако, как по-

казал анализ, инженерно-технический уровень техники, выпускаемой в России и странах СНГ довольно высок и сопоставим с мировыми требованиями по ресурсо- и энергосберегающим свойствам. Из сравнительного анализа конструкций тракторов следует, что тракторы по мощности, удельному расходу топлива, конструктивным решениям ходовых систем и трансмиссии, навесоспособности гидросистем примерно равнозначны. Но отечественные тракторы, как правило, уступают зарубежным по уровню комфортности работы тракториста, по показателям надежности, по наличию систем автоматической диагностики узлов и агрегатов трактора и систем контроля за режимами работы трактора и агрегата в целом, адаптированных к ведению координатного земледелия. Существующий комплекс тракторных агрегатов для ресурсосберегающих технологий на настоящий момент не достаточно эффективен.

В результате анализа этих проблем установлено, что в настоящий момент как никогда остро встает вопрос об эффективном использовании возможностей машинно-тракторных агрегатов и в первую очередь оптимизации их технической составляющей - улучшения тягово-скоростных характеристик с целью ресурсосбережения при выполнении энергоемких операций по почвообработке.

На основании анализа состояния вопроса поставлены следующие задачи исследований:

- теоретически обосновать и разработать методы оптимизации тягово-скоростных и конструктивных параметров МТА на базе современных энергонасыщенных тракторов;
- сформировать математические модели процессов функционирования пахотных агрегатов позволяющие прогнозировать их тягово-скоростные и конструктивные параметры;
- провести оценку эксплуатационных показателей работы агрегатов в условиях эксплуатации, характерных для Самарской области;
- предложить метод и средства для оценки и обоснования технических уровней эффективности использования трактора;
- провести производственную проверку пахотного агрегата оснащенного ИСКРТ и дать технико-экономическую оценку.

Во второй главе «Математические модели оценки критериев оптимальности МТА и прогнозирования их энергосберегающих свойств» теоретические предпосылки раскрываются с позиции обоснования оптимальных параметров МТА, анализа структурных взаимосвязей основных производственных факторов при формировании и функционировании технических комплексов на основе принципа ресурсосбережения. Стратегия ресурсосбережения в настоящее время заняла главенствующее положение во всех федеральных и региональных программах совершенствования сельскохозяйственного производства. Однако на практике производственные технологии очень часто относят к разряду ресурсосберегающих не по критерию совокупного расходования материальных ресурсов, а по факту наличия физической экономии одного или нескольких ресурсов.

Обеспечение высокого качества функционирования МТА - сложная задача, результат которой определяется многими слагаемыми: внешними условиями, конструктивными параметрами, техническим состоянием агрегата, мастерством исполнителя и др. С позиции системного подхода, например, процесс почвообработки может быть представлен схематично (рис.1).

Для повышения эффективности и качества работы системы необходимо проанализировать все возможные состояния ее подсистем, определить варианты, когда процесс протекает оптимальным образом. На качество функционирования системы оказывают влияние внешняя среда, управляющие воздействия исполнителя-оператора, конструктивные параметры и техническое состояние машины. Уменьшить возмущающее воздействие на систему можно изменением параметров обрабатываемого материала (поля), путем применения дополнительных обработок или специальных приспособлений; усилить управляющее воздействие повышением уровня подготовки тракториста и введением приборов, контролирующих показатели работы агрегата. При этом основную роль выполняет механизатор, который должен подать на вход системы (МТА) такие управляющие воздействия, которые позволяют достичь оптимального или близкого к нему уровня функционирования агрегата.

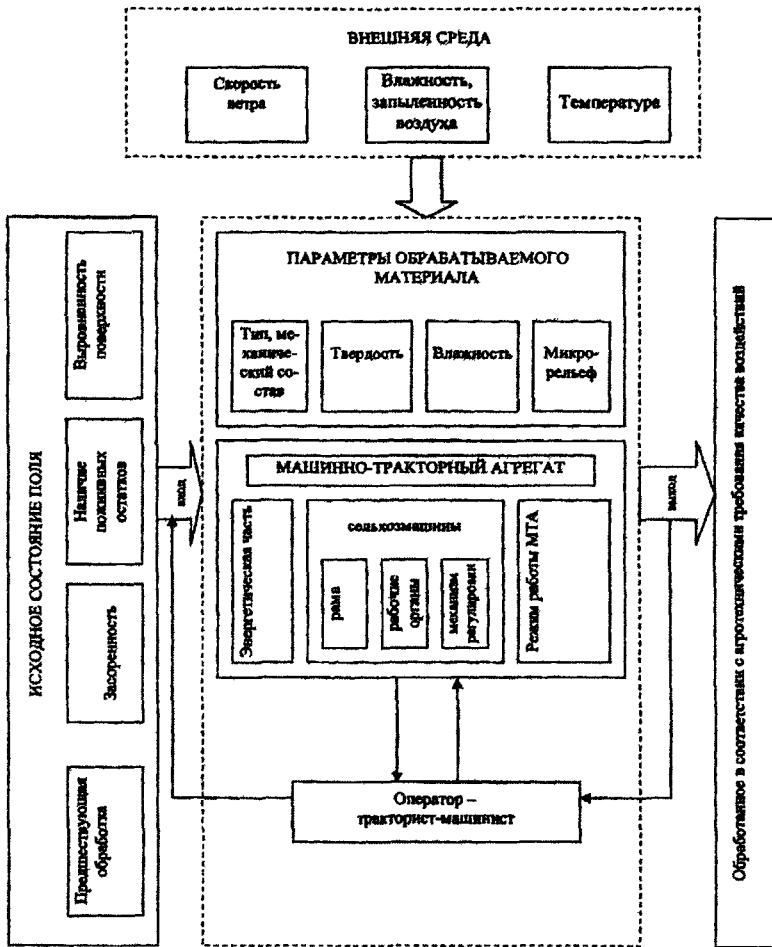


Рис 1 Показатели функционирования системы (Внешняя среда – МТА – Оператор-машинист)

Научно-технический уровень испытаний сельскохозяйственной техники в значительной мере определяется степенью совершенства методических принципов, положенных в основу нормативных документов, регламентирующих порядок испытаний. В этой связи задача внедрения в практику испытаний системного или кибернетического подхода является актуальной и чрезвычайно важной. Применение системного подхода при испытаниях дает возможность анализировать поведение объекта испытаний не только в каких-то одиночных, случайно сформировавшихся условиях, но и во всем диапазоне режимов и условий реальной эксплуатации.

Сложная взаимозависимость показателей функционирования машинно-тракторных агрегатов современного уровня породила множество подходов к обоснованию оптимальных параметров пахотных агрегатов и методов оптимизации их свойств.

Анализ этих подходов показал, что в обстановке сложных и скоротечных процессов взаимосвязи внутри системы «Внешняя среда – машина – человек» только элементы автоматического контроля и управления режимами работы агрегатов способны удерживать их в оптимальных пределах.

Существующие методы оптимизации эксплуатационных показателей машинно-тракторных агрегатов через моделирование производительности громоздки в вычислениях и кроме энергетических характеристик требуют сведений о различных эксплуатационных коэффициентах технического и технологического характера, зависящих от условий эксплуатации, и поэтому не могут быть приемлемы для целей автоматизации управления режимами работы тракторных агрегатов.

Наиболее перспективным направлением в реализации систем автоматизированного контроля является использование резервов и возможностей современных методов математической статистики и математического моделирования.

Для реализации этих моделей на практике в них необходимо в первую очередь учитывать важнейшие эксплуатационные характеристики работы МТА - тяговый КПД и коэффициент загрузки двигателя.

Тяговый КПД зависит главным образом от сцепных свойств движителей трактора и состояния поля. Состояние и рельеф поля имеют ярко выраженную вероятностно-статистическую природу, которая оказывает решающее влияние на тяговое сопротивление машины ($P_{кр}$), а, следовательно, и на коэффициент использования сцепного веса:

$$\varphi_{кр} = P_{кр} / G_T \quad (1)$$

Функционально показатель буксования (δ) зависит от коэффициента использования эксплуатационного веса, то есть $\delta = f(\varphi_{кр}) = f(P_{кр} / G_T)$. При этом точного аналитического выражения, описывающего функцию нет. На практике используют различного рода аппроксимативные модели, параметры которых определяют по результатам тяговых испытаний. Чаще всего используют модель:

$$\delta = \alpha \bullet \varphi_{кр} / (\beta - \varphi_{кр}), \quad (2)$$

где α, β – числовые коэффициенты, которые необходимо определить экспериментально.

Заметим, что исходный вид модели затрудняет непосредственное применение данного метода для определения неизвестных параметров оперативно. Чтобы это стало возможным, предлагаем в математической модели использовать преобразованное выражение:

$$1/\delta = (\beta - \varphi_{кр}) / \alpha \bullet \varphi_{кр} = (\beta / (\alpha \bullet \varphi_{кр})) + (-1/\alpha), \quad (3)$$

приведенное, используя метод подстановки $Y = 1/\delta$, $b_1 = \beta/\alpha$, $b_0 = -1/\alpha$, $X = 1/\varphi_{кр}$, к стандартному линейному уравнению типа $Y = b_0 + b_1 X$.

Для всех типов тракторов, функция буксования, выраженная в явном виде, однозначно указывает предельный уровень их полезной крюковой нагрузки, удовлетворяющей агротехнические требования по допустимой величине буксования. Алгоритм вычисления этой нагрузки при заданной величине допустимого уровня буксования δ_d принимает вид:

$$P_{кр}(\delta_d) = G_T \bullet (\beta \bullet \delta_d / (\alpha + \delta_d)). \quad (4)$$

Тяговый КПД трактора с учетом ограничений по буксованию определяется из выражения:

$$\eta_T = \eta_m \bullet [\varphi_{кр} / (\varphi_{кр} + \Gamma)] \bullet \{1 - [\alpha \bullet \varphi_{кр} / (\beta - \varphi_{кр})]\}. \quad (5)$$

Таким образом, все тяговые характеристики трактора могут быть выражены функцией одного аргумента. КПД трактора имеет точку максимума и некоторую зону допустимых значений по буксованию, которая и будет определять допустимые величины тяговых усилий, соответствующих оптимальному значению коэффициента использования сцепного веса трактора ($\varphi_{кр}$).

Представляется возможность определения оптимальных тягово-скоростных характеристик МТА по критерию максимизации тягового КПД трактора. Алгоритм предполагает использование только технических параметров работы агрегата, а математические модели, определяющие изменения тягового КПД, позволяют применять машинную обработку данных.

Скорость движения, ширина захвата и масса агрегата в значительной мере определяют соотношение установленной и потребляемой мощности трактора. Они определяют коэффициент загрузки двигателя и тяговый КПД трактора, которые и являются важнейшими ресурсосберегающими эксплуатационно-техническими характеристиками работы машинно-тракторных агрегатов. Для определения этих характеристик в математическую модель процесса необходимо ввести изменение сил сопротивления плуга. Предложено использовать для этого классическую формулу акад. Горячкина В. П. Однако сложность определения коэффициентов рациональной формулы и неустойчивость даже их средних значений, определенных по данным динамометрирования в многообразных почвенных условиях, привели к появлению ряда других расчетных формул, либо являющихся более усложненными вариантами формулы, либо, наоборот, вызванных стремлением получить более простой способ определения тягового сопротивления плугов для конкретных почвенных условий. Подобную ситуацию можно объяснить тем, что коэффициенты формулы многими исследователями воспринимались как некие устойчивые константы, каждая из которых определялась раздельно по результатам специально реализованных натурных экспериментов.

Какой бы точностью ни обладали отдельные способы определения коэффициентов, они всегда будут несогласованными между собой. Это приводит к большим расхождениям величин тяговых сопротивлений плуга, определенных с использованием рациональной формулы и непосредственно измеренных. В силу указанных обстоятельств формулу Горячкина В.П. используют как модель в теоретических исследованиях и не применяют как таковую при решении практических задач.

Исследования В.А. Прокопенко показывают, что коэффициенты формулы можно согласованно определять, используя для этого существующую теорию реализации активно-пассивных экспериментов.

Применяя методы эквивалентных преобразований и подстановки, получаем

$$\rho_{кр} = P_{кр} / (h \bullet b), \quad (6)$$

где $\rho_{кр}$ — удельное тяговое сопротивление плуга, кН/м^2 , и преобразовываем математическую модель к виду:

$$\rho_{кр} = \Psi \bullet G_n / (h \bullet b) + k + \varepsilon \bullet V^2, \quad (7)$$

Далее, используя подстановки: $Y = \rho_{кр}$, $\beta_1 = \Psi$, $X_1 = G_n / (h \bullet b)$, $\beta_0 = k$, $\beta_2 = \varepsilon$, $X_2 = V^2$, модель преобразуется в линейное по параметрам, которое с учетом аддитивной помехи ξ принимает следующий вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \bullet X_1 + \beta_2 \bullet X_2 + \xi. \quad (8)$$

Включение составляющей ξ в алгоритм оптимизации эксплуатационных показателей пахотных агрегатов с конкретным испытываемым трактором должен быть зафиксирован (еще на стадии испытаний) в органе управления режимами работы — ИСКРТ считаем обязательным. Это позволяет учесть суммарное влияние на величину тягового сопротивления погрешностей измерений и других известных и неизвестных факторов, которые не вошли в явном виде в модель, но действие которых целесообразно учесть. В общем случае количество не учитываемых моделью факторов может быть сколь угодно большим, но, как показывает анализ результатов многочисленных экспе-

риментов, среди них нет резко выделяющихся. Поэтому, в силу центральной предельной теоремы, для помехи можно принять нормальный закон распределения с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $D[\xi]=\sigma^2$, то есть

$$\xi \sim N(0, \sigma^2). \quad (9)$$

Для нахождения оценок неизвестных коэффициентов β_0 , β_1 и β_2 и их статистического анализа на фоне помехи в данном исследовании использован метод регрессионного анализа, так как его исходные посылки в наибольшей степени согласуются с условиями решаемой нами задачи.

Если исследуемый объект описывается последней моделью и допускает при этом возможность одновременного измерения мгновенных значений входных и выходных переменных, то полученные результаты можно представить в виде системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} b_1 d_{11} + b_2 d_{12} = d_{1Y}; \\ b_1 d_{21} + b_2 d_{22} = d_{2Y}. \end{cases} \quad (10)$$

Из этой системы, используя метод Крамера, имеем:

$$\begin{cases} b_1 = (d_{1Y}d_{22} - d_{2Y}d_{12}) / (d_{11}d_{22} - d_{21}d_{12}); \\ b_2 = (d_{11}d_{2Y} - d_{21}d_{1Y}) / (d_{11}d_{22} - d_{21}d_{12}); \\ b_0 = m_Y - b_1 m_{X1} - b_2 m_{X2}. \end{cases} \quad (11)$$

Величину оценки дисперсии помехи ξ определяют по формуле:

$$S^2[\xi] = (n-2)^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 X_{i1} - b_2 X_{i2})^2. \quad (12)$$

Полный статистический анализ полученных оценок b_0 , b_1 и b_2 неизвестных коэффициентов β_0 , β_1 и β_2 осуществляются по стандартной методике регрессионного анализа. При статистической значимости полученных оценок можно считать, что неизвестные коэффициенты формулы Горячкина для данных условий эксперимента полностью определены. Помимо опре-

деления коэффициентов, регрессионный анализ позволяет по результатам эксперимента оценить также и величину остаточной дисперсии $S^2[\xi]$, которая характеризует собой вариацию тягового усилия, обусловленную действием не учитываемых формулой Горячкина влияющих факторов.

С учетом полученных коэффициентов имеем:

$$R_{кр} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2, \quad (13)$$

где $R_{кр}$ – оценка удельного тягового сопротивления плуга.

Истинное значение удельного тягового сопротивления плуга находится в интервале:

$$R_{кр} - t_\alpha \cdot S[\xi] \cdot (1+n^{-1})^{0,5} \leq \rho_{кр} \leq R_{кр} + t_\alpha \cdot S[\xi] \cdot (1+n^{-1})^{0,5}, \quad (14)$$

где t_α – критерий Стьюдента при уровне значимости α (5% или 10%); $S[\xi]$ – среднеквадратическое отклонение помехи.

Третья глава «Программа и методика исследований» содержит программу и особенности методов экспериментальных исследований.

Методика исследований основана на системном подходе и включает проведение фотохронометражных наблюдений, паспортизацию условий испытаний техники, ее агротехническую и эксплуатационно-технологическую оценку, оценку надежности исследуемых пахотных агрегатов, систематизацию и обработку полученной информации на ПЭВМ.

Обработка экспериментальных данных проводилась методами математической статистики и теории вероятностей с использованием стандартных программ на ЭВМ.

Достаточными для наших целей являются точность оценки $\varepsilon(Y)$ в пределах (0,05 – 0,1) и доверительная вероятность $P(\varepsilon)$ в пределах (0,9 – 0,95).

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приводятся результаты тяговых испытаний современных тракторных агрегатов на базе К-744Р1, многофакторного эксперимента с новым для производства плугом

ПБС-7/9 и оптимизации показателей работы с использованием метода контроля за режимами использования МТА (ИСКРТ).

По результатам тяговых испытаний трактора определены значения неизвестных коэффициентов математической модели буксования и тягового КПД трактора. $\alpha=0,108$; $\beta=0,768$. Функция $\delta=f(\varphi_{кр})$, вычисленная при этих параметрах по выражению 2 приведена в таблице 1.

Таблица 1

Функция буксования трактора К-744Р1

$\varphi_{кр}=P_{кр}/G_T$	δ	$P_{кр}, \text{кН}$
0,1	0,0162	15,0
0,15	0,0262	22,5
0,2	0,0380	30,0
0,25	0,0521	37,5
0,3	0,0692	45,0
0,35	0,0904	52,5
0,4	0,1174	60,0
0,45	0,1528	67,5
0,5	0,2015	75,0
0,55	0,2725	82,5
0,6	0,3857	90,0
0,65	0,5949	97,5

По данным испытаний для исследуемого нами трактора К-744Р1 тяговый КПД $\eta_m=0,91$, $f=0,08$ является экстремальным значением в функции $\eta_T=f(\varphi_{кр})$. Классический способ определения максимального значения этой функции: $d\eta_T/d\varphi_{кр}=0$. Однако при современном уровне программно-компьютерного обеспечения эту задачу проще решать универсальным методом табулирования с последующим применением стандартной функции статистической обработки «МАКС» MS Excel. Результаты табулирования представлены на рисунке 2.

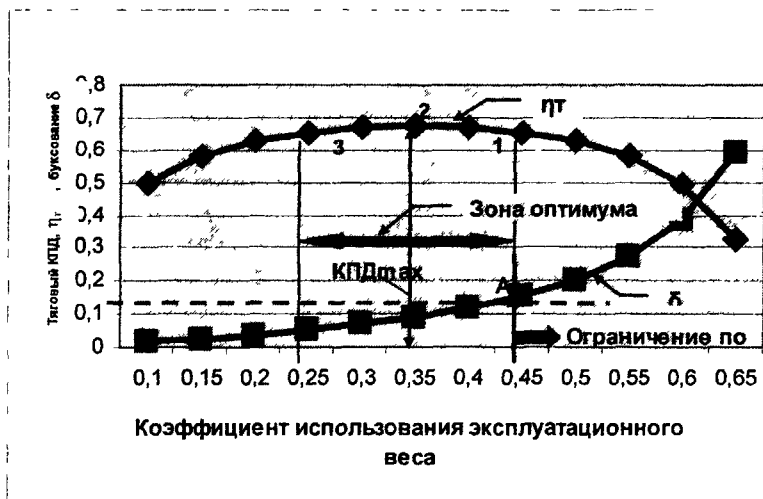


Рис. 2. Изменение тягового КПД трактора К-744Р1 от коэффициента использования эксплуатационного веса: 1,2,3 – точки соответственно граничной крюковой нагрузки по буксованию, оптимальной и минимально возможной

Максимальное значение тягового КПД исследуемого нами трактора К-744Р1 равно 67,37%. Так как это значение соответствует $\varphi_{кр\ max} = P_{кр} / G_T = 0,35$, то в точке 2 величина крюковой нагрузки из этого соотношения равна $P_{кр}(2) = 52,5$ кН. При этом величина буксования составляет 9% ($\delta(2) = 0,09$). Так как $\delta(2) < \delta_d = 0,15$, то имеется возможность величину граничной крюковой нагрузки повысить до уровня $P_{кр\ max} = 67,5$ кН, которому соответствует $\delta(1) = 0,15$. При этом тяговый КПД трактора снизится примерно на 2% (точно 1,92%). Если принять такой же уровень снижения тягового КПД от уменьшения крюковой нагрузки, то $P_{кр\ min} = 37,5$ кН. Таким образом, по критерию тягового КПД с позиций симметрии оптимальный диапазон крюковой нагрузки трактора К-744Р1 лежит в пределах от 37,5 до 67,5 кН. Эти показатели заносятся в информационно-измерительную систему как граничные. Именно эти граничные условия использования трактора на различных видах работ и при изменении условий эксплуатации является основанием для выработки управляющего воздействия на терминал

ИСКРТ. При этом на терминал выводятся и сопутствующие показатели – ограничение по скорости, степень использования эффективной мощности и крутящих моментов двигателя.

Ограничение крюковой нагрузки по буксованию $P_{кр}$ (δ_d)=67,5 кН при $\varphi_{кр}=0,45$ соответствует тяговому КПД η_T =65,45%, который ниже максимального значения ($\eta_T < \eta_{Tmax}$ =67,37%) и находится на ниспадающей ветви графика тягового КПД. Характер его изменения на этом участке обусловлен влиянием на работу агрегата корректорной ветви нагрузочной характеристики двигателя энергетического средства.

Оптимальные скоростные и нагрузочные характеристики трактора К-744Р1 представлены на графике баланса номинальной мощности (рис. 3), а математическая версия в выражении:

$$V = N_n \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_m \cdot (1 - \delta) / [(\varphi_{кр} + f) \cdot g \cdot m,] = \\ = N_n \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_m \cdot (1 - \delta) / (P_{кр} + G_T \cdot f), \quad (15)$$

где N_n – номинальная мощность трактора, кВт; $P_{кр}$, G_T - крюковая нагрузка и вес трактора, кН.

Коэффициент ε_N в выражении выполняет согласующую роль между нагрузочной способностью двигателя и вероятно-стными статистическими свойствами изменения крюковой нагрузки. Максимальный тяговый КПД трактора соответствует $\varepsilon_N=1,0$. Такой режим работы является оптимальным и в то же самое время наиболее устойчивым: при перегрузке система приходит в свое равновесное состояние за счет снижения скорости движения агрегата (корректорная ветвь), а при снижении крюковой нагрузки двигатель переходит на регуляторную ветвь своей нагрузочной характеристики, где устойчивое состояние поддерживает регулятор топлива. С учетом вероятностной природы эксплуатационную нагрузку двигателя рекомендуется подбирать таким образом, чтобы максимальные моменты двигателя M_m и сил сопротивления $M_{им}$ удовлетворяли условию:

$$M_{им} \leq 0,97 M_m. \quad (16)$$

Допустимая величина перегрузки исследуемого нами трактора К-744Р1 (корректорная ветвь), выраженная в единицах мощности составляет 25 кВт или 12% от номинальной мощности.

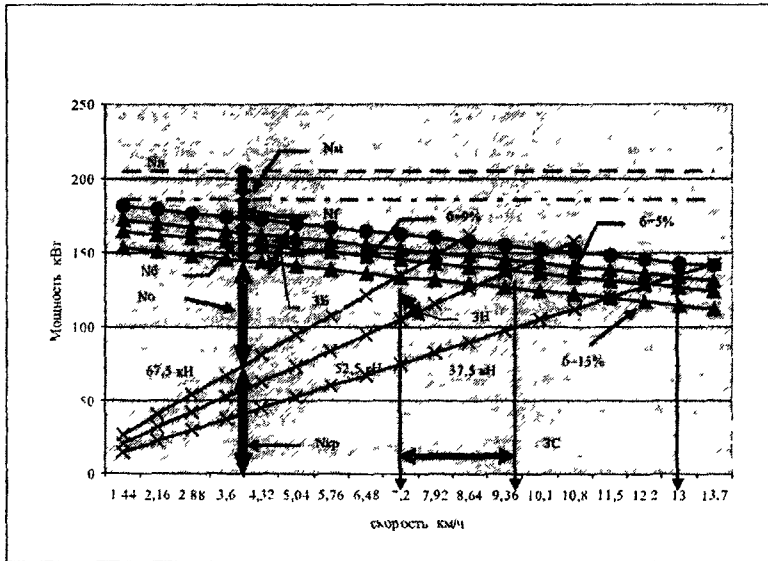


Рис. 3. График баланса номинальной мощности трактора К-744Р1 с оптимально-допустимыми зонами эксплуатации. ЗБ – зона, ограниченная буксованием, ЗН – зона оптимальной величины нагрузки; ЗС – зона оптимальных скоростных режимов:

х, ▲, ◆ - соответственно крюковая мощность при нагрузке на крюке 37,5, 52,5 и 67,5 кН; потери мощности на буксование при $\delta=5, 9$ и 15% и на перекатывание

Тяговый КПД трактора имеет одну точку максимума (точка 2 на рис. 4), в которой эффективная мощность равна величине номинальной мощности, то есть $\epsilon_N=1,0$. Для каждого трактора численное значение максимального тягового КПД имеет свою величину. Она зависит от сцепных свойств движителя трактора, состояния двигателя и ходовой системы, типа почв, состояния поверхности поля, погодных условий, времени года и целого ряда других факторов, которые по сравне-

нию с перечисленными выше факторами хотя и являются менее значимыми, но их влияние все же имеет место.

В современной теории эксплуатации МТП оптимальный режим работы трактора по критерию $\eta_T \rightarrow \max$ имеет место на той передаче, где тяговая мощность наибольшая — $N_{кр1} = N_{кр \max}$. При этом энергосберегающему режиму работы пахотного агрегата соответствуют скорости, удовлетворяющие условию $V_{\delta} \leq V \leq V_0$, где V_{δ} — скорость, которая соответствует допустимой величине по буксованию. Для исследуемого трактора К-744Р1 имеем $7,23 \leq V \leq 9,57$ км/ч.

По результатам многофакторного эксперимента математическая модель тягового сопротивления плуга, с полностью определенными коэффициентами имеет вид:

$$P_{кр} = 0,8 \cdot G_{п} + 0,31 \cdot h \cdot b + 0,0158 \cdot h \cdot b \cdot V^2. \quad (17)$$

Тяговые сопротивления плуга ПБС-7/9, вычисленные по этой модели при его различных эксплуатационных состояниях, представлены на рисунке 4.

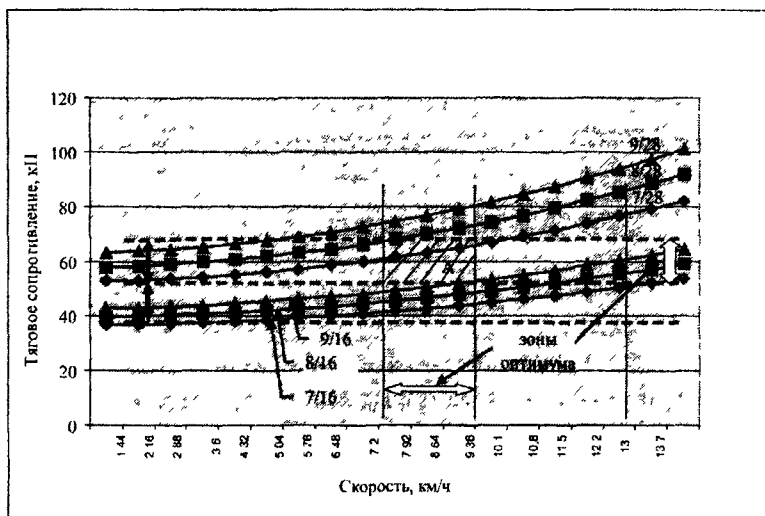


Рис. 4. Тяговое сопротивление плуга ПБС-7/9:
 ◆, ■, ▲ - соответственно в 7,8 и 9 корпусной комплектации
 при глубине обработки 16 и 28 см.

Зоны оптимальных силовых и скоростных режимов работы потенциального почвообрабатывающего агрегата, которые выделены нами из условия максимального тягового КПД трактора, практически полностью могут быть заполнены рабочими состояниями плуга ПБС-7/9. Область оптимальных тягово-скоростных режимов работы агрегата в условиях реализованного эксперимента находится в пределах:

- по крюковому усилию от 52,5 до 67,5 кН;
- по скоростным режимам от 7,23 до 9,57 км/ч,

и реализуется в зоне максимальных значений тягового КПД агрегата (0,65-0,67)

За границы указанных зон выходят лишь 8-и и 9-и корпусная рабочая комплектация плуга ПБС-7/9, работающая на режиме глубины вспашки 28 см и более. Режим плуга 9/16 (9 – корпусов; 16 – глубина обработки, см) практически полностью удовлетворяет требованию максимума тягового КПД трактора К-744Р1 (точка А на рис.5). Расчетная глубина обработки почвы в точке максимального тягового КПД в заданных или определенных оперативно с использованием штатной измерительной системы ИСКРТ:

$$h_0 = (P_{кр} - 0,8 \cdot G_n) / b(0,31 + 0,0158 \cdot V^2). \quad (18)$$

$$h_0 = (5250 - 0,8 \cdot 1950) / 540(0,31 + 0,0158 \cdot 2,6596^2) = 16,1 \text{ см.}$$

Таким образом, для пахотного агрегата в составе конкретного трактора и плуга оптимальные тягово-скоростные режимы работы могут быть определены по критерию максимизации тягового КПД. Все характеристики определяются математически для любых производственных условий и могут проводиться в автоматическом режиме аппаратурой установленной непосредственно на борту трактора. В нашей работе это система ИСКРТ.

Эффективность выбора ширины захвата и скоростного режима пахотного агрегата К-744Р1+ПБС-7/9 в зоне максимального тягового КПД подтверждена результатами лабораторно-

полевых испытаний, которые представлены на диаграмме (рисунок 5). Диаграмма иллюстрирует явное преимущество такого выбора и при этом обеспечивается прирост производительности на 15-20% и снижение расхода топлива на 12-15%.

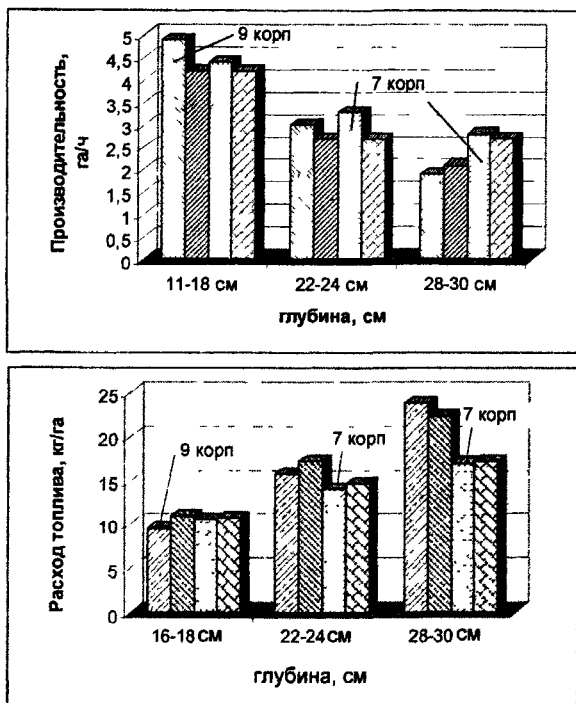


Рис. 5 Диаграмма производительности и расхода топлива пахотным агрегатом с 9, 8, 7 и 6 корпусами

В пятой главе «Производственная проверка и экономическая эффективность исследований» приведены результаты внедрения испытываемых агрегатов в сельскохозяйственном производстве Самарской области.

Производственная проверка предусматривала оценку сравнительной эффективности реализации испытываемого пахотного агрегата с бортовой системой ИСКРТ.

Базовый и испытываемый агрегаты работали в одинаковых условиях, с одним и тем же трактором и тем же механизатором. Отличием являлся подход к выбору комплектации плуга рабочими корпусами и соответствующей ей скорости выполнения работы.

В базовом варианте комплектацию плуга и выбор скоростных режимов осуществлял сам механизатор, сообразно со своим опытом и интуицией. В испытываемом агрегате при выборе комплектации и режимов вспашки были использованы разработанные рекомендации и оборудование, позволяющее контролировать и поддерживать оптимальные режимы работы агрегата.

Анализ полученных данных показывает, что методика выбора оптимальных тягово-скоростных режимов работы пахотного агрегата в зоне максимального тягового КПД, при работе двигателя с заходом на корректорную ветвь дала положительный эффект. Эффект выражен в повышении производительности на 12%, снижении энергозатрат на 8,5%.

Трудоемкость вспашки зяби в условиях хозяйства плугом ПБС-7/9 получена равной 0,353 чел.-ч./га, что на 10,2% выше, чем у испытываемого агрегата. Себестоимость вспашки составила 301,20 руб./га у плуга ПБС-7/9 в хозяйстве и 277,57 руб./га у испытываемого агрегата. Степень снижения себестоимости получена равной 7,8 %.

Разница в себестоимости способствовала получению годовой экономии себестоимости в размере 17,6 тыс. руб.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений (62000 рублей) получен равным 3,5 года.

На основании теоретических и экспериментальных исследований пахотного агрегата К-744Р1 с плугом ПБС-7/9 разработана номограмма выбора ширины захвата плуга и передачи при различной глубине пахоты (рис. 6). В основу расчетов номограммы заложены алгоритмы расчетов максимального тягового КПД и тягового сопротивления плуга, при работе двигателя с заходом на корректную ветвь своей характеристики.

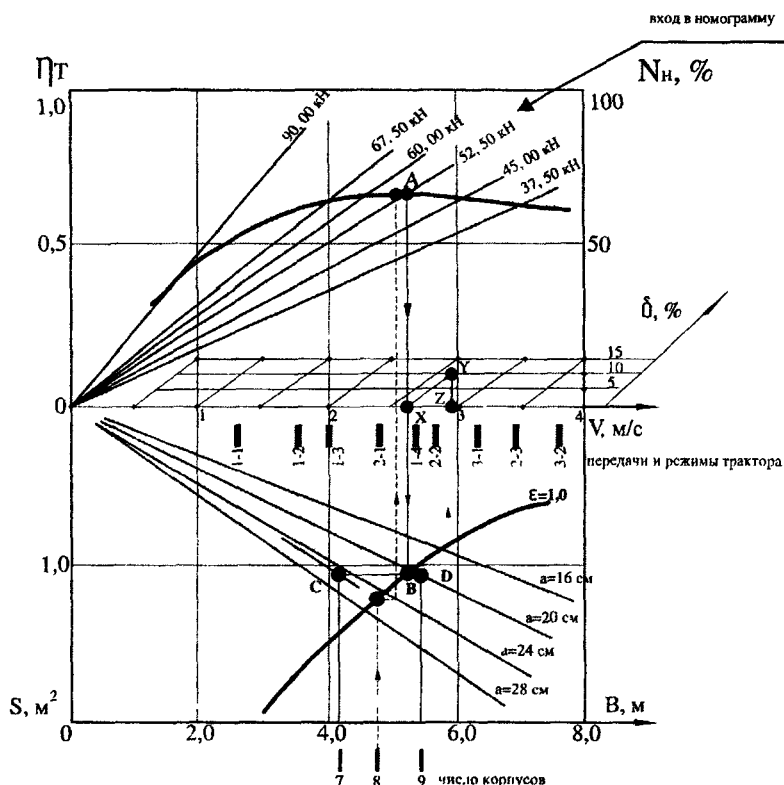


Рис. 6. Номограмма выбора оптимальных эксплуатационных параметров пахотного агрегата К-744Р1+ПБС-7/9 $S=a \cdot b$, где a – глубина обработки, м, b – ширина захвата, м

Определение числовых значений параметров агрегата происходит по следующей схеме. По лучу оптимальной крюковой нагрузки спускаемся до кривой тягового КПД (точка А) и опускаем перпендикуляр до оси скоростей (точка Х). Это точка соответствует рабочей скорости агрегата. Затем, двигаясь по точкам $X \rightarrow Y \rightarrow Z$, определяем теоретическую скорость, по которой выбираем номер передачи трактора.

Продолжив перпендикуляр из точки А до пересечения с кривой $\epsilon=1$ (точка В). Из этой точки, перемещаясь параллель-

но оси скоростей (V) до пересечения с лучом требуемой глубины обработки (точки С или D). Опустив перпендикуляр из одной из них на ось ширины захвата (B) и выбираем число рабочих корпусов.

Обратным ходом по выбранному числу корпусов уточняем крюковую нагрузку, которая будет соответствовать выбранной ширине захвата плуга.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Учитывая факты, что более 50% тракторного парка и парка сельскохозяйственных машин находится за пределами нормативных сроков эксплуатации, его разномарочность и негативные перспективы пополнения как никогда остро встает вопрос о более эффективном использовании возможностей имеющихся машинно-тракторных агрегатов и, в первую очередь, об оптимизации их технической составляющей: тягово-скоростных характеристик в целях ресурсосбережения при выполнении энергоемких операций по почвообработке.

2. Инженерно-технический уровень отечественных энергонасыщенных тракторов в основном соответствует мировым требованиям к сельскохозяйственным энергетическим средствам, кроме уровня комфортности, надежности и наличия информационных систем позволяющих вести автоматическую диагностику работы основных агрегатов с места оператора и адаптированных к ведению точного (координатного) земледелия.

3. Наиболее перспективным направлением при оптимизации параметров машинно-тракторных агрегатов и автоматизации управления режимами их эксплуатации в режиме использования систем автоматизированного контроля является использование резервов и возможностей современных методов математической статистики и математического моделирования, в которых скорость движения (V), ширина захвата (b) и вес агрегата (G) в значительной мере определяют соотношение установленной и потребляемой мощности трактора. Они характеризуют коэффициент загрузки двигателя (ϵ_N) и тяговый КПД трактора ($\eta_T = f(\varphi_{кр})$) (5), которые являются важнейшими ресурсосберегающими эксплуатационными характеристиками работы машинно-тракторных агрегатов.

Метод определения оптимальных тягово-скоростных характеристик МТА по критерию максимизации тягового КПД трактора позволяет использовать только технические параметры работы агрегатов ($N_{н}$, $P_{кр}$, $\delta_{д}$, G , $\Phi_{кр}$), а математические модели, характеризующие изменения тягового КПД, позволяют применять машинную (компьютерную) обработку данных (2, 5, 15, 17).

4. Алгоритм комплексного определения неизвестных коэффициентов математической модели оптимизации состава и режимов работы пахотных агрегатов, осуществим на основе теории реализации активно-пассивного эксперимента и машинной обработки результатов.

5. Сопоставление оптимальных характеристик энергетического средства и сил сопротивления плуга позволит выбрать управляемый уровень функционирования агрегата. Область оптимальных тягово-скоростных режимов работы агрегата с трактором К-744Р1 в условиях реализованного эксперимента находится в пределах:

- по крюковому усилию от 52,5 до 67,5 кН;
- по скоростным режимам от 7,23 до 9,57 км/ч,

и реализуется в зоне максимальных значений тягового КПД агрегата (0,65-0,67)

6. Адекватность математических моделей подтверждается результатами экспериментальных исследований на уровне 95 % вероятности и позволяет утверждать, что метод оптимизации работы МТА может быть реализован в практической эксплуатации энергонасыщенных тракторов по критерию максимизации тягового КПД. Он реализуется за счет управления агрегатом при наличии в конструкции трактора ИСКРТ - системы контроля, которая на микропроцессорном уровне выводит рекомендации на экран терминала или подает управляющий сигнал в систему автоматического управления.

7. Производственная проверка показала положительный эффект предложенной разработки выраженной в повышении реальной производительности пахотных агрегатов (на 12%) и снижении энергозатрат (на 8%) при использовании оборудования ИСКРТ. Годовая экономия от внедрения разработок составила 17,6 тыс. руб. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений (62000 рублей) получен равным 3,5 года.

**Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах:**

1. Медведев А.А. Моделирование оптимальных параметров почвообрабатывающих машин / Медведев А.А., Прокопенко В.А. // Методы и технические средства испытаний и сертификации технологий и техники: сб. научных трудов международной научно-практической конференции.- М., изд. ФГНУ «Росинформагротех», 2003. с.227-229 (0,2/0,1);
2. Медведев А.А. Региональное машиностроение в зоне Среднего Поволжья / Медведев А.А., Пронин В.М., Давыдов А.И. // Методы и технические средства испытаний и сертификации технологий и техники: сб. научных трудов международной научно-практической конференции.- М., изд. ФГНУ «Росинформагротех», 2003. с.235-242 (0,7/0,23);
3. Медведев А.А. Синтез экономически эффективных мобильных сельскохозяйственных агрегатов по критерию часовых эксплуатационных затрат / Медведев А.А., Прокопенко В.А., Пронин В.М. // научные труды ВИМ, т. 150.- М., 2003. с.81-95 (0,4/0,13);
4. Медведев А.А. Полнее использовать машиностроительный потенциал регионов / Медведев А.А., Прокопенко В.А., Давыдов А.И. // :Самара, Агро-Информ, №55 2003, с. 4-5 (0,3/0.1);
5. Медведев А.А. Оценка эксплуатационной надежности тракторов К-744Р1 / Медведев А.А., Прокопенко В.А., Назаров Э.А. // -Самара, Агро-Информ, №53, 2003, с. 7-9 (0,45/0,15);
6. Медведев А.А. Оптимальный нагрузочно-скоростной режим трактора К-744Р1 / Медведев А.А. // Сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции, - Самара, СГСХА, 2005. с.51-56 (0,25),
7. Медведев А.А. Экспериментальная оценка параметров модели тягового сопротивления плуга ПБС-7/9 / Медведев А.А., Прокопенко В.А., Рыбалко А.Г. // Сборник научных трудов международной научной практической конференции- Ульяновские чтения. - Саратов, СГАУ. 2005. с.16-25. (0,55/0,18);
8. Медведев А.А. Принципы повышения качества функционирования машинно-тракторных агрегатов / Медведев А.А., Лявин Ю.Ф. // Сборник научных трудов международной научной практической конференции-Ульяновские чтения - Саратов, СГАУ, 2005, с.62-65. (0,2/0,1).

Подписано в печать 19.05 05 г
Формат 60×84 1¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Печ. л. 1,0. Тираж 100. Заказ 42/42.

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский ГАУ» им. Н.И. Вавилова, ИЗОиПК
410600, Саратов, Театральная пл., 1.

Р10308

РНБ Русский фонд

2006-4

5973