

**Петухов Дмитрий Анатольевич**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» Новокубанский филиал (КубНИИТиМ)

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Федоренко Вячеслав Филиппович</b> доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса»
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Чаткин Михаил Николаевич</b> доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины имени профессора А.И. Лещанкина», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»  <b>Славкин Владимир Иванович</b> доктор технических наук, профессор кафедры «Механика и технические системы», ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет»
<b>Ведущая организация:</b>	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет» имени П.А. Костычева

Защита состоится 20 октября 2016 г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 220.043.14, на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19, тел/факс 8 (499) 976-21-84.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте университета [www.timacad.ru](http://www.timacad.ru).

Автореферат разослан «\_\_» августа 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор технических наук

Елена Анатольевна Улюкина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В «Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 г.г.» предусмотрено повышение эффективности и конкурентоспособности продукции сельскохозяйственных товаропроизводителей за счет технической и технологической модернизации с.-х. машин. Существующие посевные машины (одно- и двухоперационные типа СЗ-3,6) находятся в производстве более 30 лет и не в полной мере отвечают современным ресурсосберегающим техническим и технологическим требованиям к с.-х. технике, что значительно увеличивает экономические затраты на проведение нескольких технологических операций по обработке почвы и затем посева. Использование многофункциональных посевных агрегатов (МПА) для зерносеющих зон Южного федерального округа недостаточно исследовано в части совмещения технологических операций, а также выбора рациональных параметров и режимов работы. Перед специалистами часто встает вопрос: какое количество технологических операций рационально совмещать в одном проходе агрегата и как оперативно выбрать наиболее эффективный агрегат и рассчитать его рациональную скорость движения, необходимую мощность двигателя трактора, производительность и другие показатели. Особенно остро данный вопрос стоит в настоящее время, так как в «Стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года», предусмотрено создание к тракторам мощностью 220-240 л.с. и 450 л.с. многофункциональных почвообрабатывающе-посевных агрегатов. В связи с этим изучение параметров и режимов МПА для повышения их ресурсосберегающих показателей представляет научный и практический интерес и является актуальным.

**Степень разработанности темы.** Проблемами обоснования параметров и режимов работы посевных агрегатов занимались многие российские ученые. Ими предложено большое количество критериев оптимизации МПА, при этом единого подхода к обоснованию выбора критерия оптимизации параметров не существует. Обычно в качестве критерия оценки принимают многочисленные технические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели, поэтому оптимальные параметры существенно различаются друг у друга, кроме того, в процессе исследований по оптимизации МПА не соизмеряют и не сравнивают эти показатели, которые по своему значению у различных машин не идентичны.

Выбрать единый критерий оптимальности при оценке МПА методически трудно, так как эффективность каждого МПА характеризуется показателями, из числа которых нет единого и универсального, при этом неверно выбранный критерий оптимизации будет приводить к грубым просчетам и снижать достоверность полученных результатов. Вместе с тем ряд исследователей в качестве критерия оценки эффективности сравниваемых вариантов машин предлагают единый обобщенный показатель, обеспечивающий компромисс между отдельными показателями, при этом недоисследованными остаются

вопросы количества совмещаемых технологических операций в одном проходе агрегата и обоснования параметров и режимов МПА при совмещении операций обработки почвы и высева семян зерновых культур. Отсутствие научно обоснованного алгоритма решения данной задачи не позволяет оперативно выбрать эффективные варианты МПА к тракторам определенной мощности с их параметрами и режимами работы для посева озимой пшеницы в сжатые агротехнические сроки. Решение данной задачи позволит обосновать параметры и режимы МПА (совмещающих за один проход 6 операций) к тракторам мощностью 250 и 450 л.с. для посева озимой пшеницы после поздноубираемых предшественников в типичных производственных условиях Кубани.

В процессе исследований были выполнены в соответствии с тематическим планом НИОКР ФГБНУ «Росинформагротех» Государственное задание 1.7.2-2014 Минсельхоза России на тему: «Обоснование оптимальных параметров и режимов работы МПА к тракторам 250-450 л.с.» и Государственный контракт № 33 от 3 июля 2014 г., заключенный между Министерством сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края и Кубанским государственным аграрным университетом (КубГАУ) на тему: «Обоснование и разработка рекомендаций по выбору наиболее конкурентоспособных машин для технологических процессов в растениеводстве Краснодарского края», результаты исследований которых нашли дальнейшее отражение в последующих работах, выполняемых институтом, в рамках которых автор являлся соруководителем и ответственным исполнителем.

**Цель работы** – обоснование параметров и режимов многофункциональных посевных агрегатов при совмещении операций обработки почвы и высева семян зерновых культур.

**Объект исследования** – технологический процесс совмещения технологических операций обработки почвы и высева семян зерновых культур многофункциональными посевными агрегатами.

**Предмет исследования** – закономерности взаимодействия технологических показателей при совмещении операций обработки почвы и высева семян зерновых культур.

**Методология и методы исследования** – теоретические (системный анализ, методы комплексной оценки МПА, определение показателей желательности и рационального количества совмещаемых технологических операций, расчет рациональных режимов работы МПА), общелогические (сравнение, обобщение и анализ научной литературы по проблеме исследования), статистические (обработка материалов эксперимента). Расчеты и обработка результатов экспериментальных исследований выполнялись с использованием ПЭВМ и пакета прикладных программ.

Экспериментальные исследования проведены в реальных условиях эксплуатации в соответствии с государственными стандартами на методы испытаний сельскохозяйственной техники. При комплексной оценке МПА, выборе рационального количества совмещаемых технологических операций и рабочей

ширины захвата применялось математическое моделирование с разработкой структурной схемы математической модели и расчетом режимов работы МПА.

**Научную новизну** работы составляет структурная схема и математическая модель комплексной оценки для определения эффективных вариантов МПА, алгоритмы-программы для определения рациональных параметров и режимов работы МПА, методика проведения исследований по обоснованию совмещения технологических операций в одном проходе МПА. Новизна подтверждена полученными свидетельствами на государственную регистрацию программ для ПЭВМ «Непараметрический выбор» и «Режимы работы агрегатов».

**Практическая значимость результатов** заключается в обосновании рациональных значений: количества совмещаемых технологических операций, рабочей ширины захвата, рабочей скорости движения, производительности и удельного расхода топлива МПА к тракторам с мощностью двигателя 250 и 450 л.с. Разработанные алгоритмы и компьютерные программы к ПЭВМ «Непараметрический выбор» и «Режимы работы агрегатов» позволяют определять наиболее эффективные варианты агрегатов с рациональным количеством совмещаемых технологических операций, а также параметры и режимы их работы. Практическое применение разработанных программ подтверждено актами внедрения в хозяйствах края. Результаты исследований отражены в рекомендациях производству по выбору наиболее конкурентоспособных машин для технологических процессов в растениеводстве Краснодарского края и в отчете о НИР № 08-2014 «Обоснование оптимальных параметров и режимов работы МПА к тракторам 250 и 450 л.с.», а также найдут применение в учебном процессе аграрных вузов.

**Внедрение результатов исследования.** Результаты исследований, методические рекомендации и программы для ПЭВМ внедрены в следующих хозяйствах Краснодарского края: ООО КХ «Участие», ООО «Агрофирма «Тысячный», ЗАО «Имени Мичурина». Разработанные научно-практические рекомендации получили положительный отзыв в Министерстве сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края.

**Положения, выносимые на защиту:**

- структурная схема и математическая модель комплексной оценки МПА;
- алгоритм расчета показателей математической модели компьютерной программой «Непараметрический выбор»;
- алгоритм расчета рациональных режимов работы МПА компьютерной программой «Режимы работы агрегатов»;
- методика проведения исследований по обоснованию совмещения технологических операций в одном проходе МПА;
- рациональные параметры и режимы работы МПА.

**Степень достоверности и апробация результатов исследований.** Достоверность результатов исследований подтверждается применением современных приборов и средств измерений, отвечающих требованиям соответствующих стандартов. Материалы результатов исследований докладывались на V и

VII международных научно-практических конференциях «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» (ФГБНУ «Росинформагротех», г. Москва, 2010 г., 2014 г.), на VIII и IX международных научно-практических конференциях «Инновационные разработки для АПК» (ФГБНУ «СКНИИМЭСХ», г. Зеленоград, 2013 г., 2014 г.), на Международной заочной научно-практической конференции «Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития» (ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, г. Тамбов, 2013 г.), на X Международной научно-практической конференции «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» (Международный научный институт EDUCATIO, г. Новосибирск, 2015 г.).

**Публикация материалов исследования.** По материалам диссертационной работы опубликовано 22 печатные работы, в том числе 9 из них – в рецензируемых изданиях, 1 патент на полезную модель, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий объем – 7,6 п.л., из них автору принадлежит 6,13 п.л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка литературы, включающего в себя 197 наименований. Работа изложена на 193 страницах машинописного текста, содержит 81 рисунок, 31 таблицу и 11 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** изложена актуальность работы, её практическая значимость, определены цель и задачи проведения исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» проведен анализ выполненных исследований в части конструктивных особенностей современных образцов посевных агрегатов, представлена классификация посевных агрегатов на уровне комбинированности технологических операций, определены достоинства и недостатки существующих посевных агрегатов, выявлены тенденции развития посевной техники. Установлено, что работа посевных машин культиваторного и дискового типа исследована очень обстоятельно, однако использование МПА исследовано недостаточно. Нет четких рекомендаций по рациональным параметрам и режимам работы и использованию МПА для зерносеющих зон Южного федерального округа. Обзор множества работ показал, что значительный вклад в исследование сельхозмашин и эксплуатацию МТП внесли следующие ученые: В.П. Горячкин, Б.С. Смирнов, И.Е. Янковский, В.Н. Болгинский, С.А. Иофинов, Д.Н. Саакян, А.А. Зангиев, О.Н. Дидманидзе, А.Н. Скороходов, А.Г. Левшин, А.П., Акимов, Ю.К. Киртбая, Л.Е. Агеев, Г.В. Веденяпин, М.П. Сергеев и др. В данных работах приведены фундаментальные исследования в области сельскохозяйственных машин, где отражена необходимость определения предельных размеров сельхозмашин и двигателей, величина которых не может быть беспрельдно велика по условиям работы. Вопросам обоснования параметров и режимов ра-

боты посевных агрегатов посвящены исследования В.А. Небавского, А.Н. Федорова, А.А. Зуборева, Ю.С. Зыга, В.М. Бочарова, С.В. Щитова, Н.Ф. Карпова, Н.Н. Бережнова и ряда других авторов. На основе анализа работ этих авторов выявлено, что основными параметрами и режимами работы, получившими практический интерес у исследователей, являются скорость движения, производительность, ширина захвата. Системному анализу при комплексной оценке сельхозмашин посвящены работы И.Е. Янковского, Д.Н. Саакяна и др. Данный подход основан на комплексном учете всех существенных факторов и взаимосвязей между ними, влияющих на результаты решения поставленной задачи оценки, при котором рассматриваются следующие подсистемы «оператор-машина-среда». В результате проведенного анализа установлено, что исследований по обоснованию параметров и режимов работы МПА, способных за один проход агрегата совмещать до шести технологических операций недостаточно для достижения поставленной цели. С учетом изложенного исследования, посвященные обоснованию параметров и режимов работы МПА, являются актуальными и имеют большое народнохозяйственное значение.

На основании проведенного анализа современного состояния рассматриваемой проблемы поставлены следующие **задачи исследований**:

- разработать структурную схему математической модели комплексной оценки МПА с помощью непараметрических критериев и компьютерную программу для комплексной оценки множества показателей МПА «Непараметрический выбор»;
- определить рациональное количество совмещаемых технологических операций и выбрать эффективные варианты МПА с их параметрами;
- обосновать конструктивную схему МПА;
- разработать компьютерную программу «Режимы работы агрегатов» и определить рациональные режимы работы МПА;
- разработать методику проведения исследований и выполнить экспериментальные исследования по обоснованию совмещения технологических операций в одном проходе МПА;
- разработать методику проведения исследований и выполнить экспериментальные исследования по определению фактических параметров и режимов работы МПА в производственных условиях;
- провести расчёты на ПЭВМ по определению эффективности применения МПА с рациональными параметрами и режимами работы.

Во **второй главе** «Теоретические исследования» представлены разработанные структурная схема и математическая модель комплексной оценки МПА, конструктивная схема МПА, алгоритмы и компьютерные программы выбора наиболее эффективных вариантов агрегатов с рациональным количеством совмещаемых технологических операций и расчета рациональных параметров и режимов работы агрегата. Многие работы исследователей (К.А. Сохт, В.Н. Плешаков, Г.Г. Маслов, Б.Ф. Тарасенко, Н.И. Зубов и др.) посвящены методам иерархической комплексной оценки эффективности агрегатов для

обработки почвы. В данных исследованиях обоснована целесообразность применения обобщенного критерия оценки (функции желательности Харрингтона) в решении компромиссной многокритериальной задачи оценки эффективности агрегатов и выбора из них наиболее эффективного варианта. Использование функции желательности Харрингтона позволяет разные по физической сущности и своей размерности частные параметры оценки эффективности перевести в единую безразмерную шкалу оценки, а затем свернуть в единый обобщенный критерий.

Для обоснования совмещения технологических операций в одном проходе агрегата необходима комплексная оценка МПА с различным уровнем комбинированности, которая обеспечит выбор рационального числа совмещаемых операций и определит наиболее эффективный вариант МПА с его параметрами и режимами работы. За основу структурной схемы математической модели комплексной оценки МПА взята диагностическая система оценки состояния сельскохозяйственных культур и почв с применением функции Харрингтона, предложенная В.В. Туевым. На рисунке 1 представлена структурная схема разработанной математической модели комплексной оценки МПА.

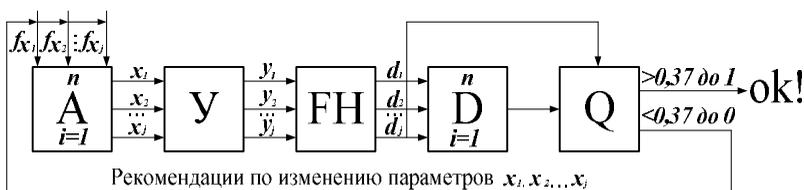


Рисунок 1 – Структурная схема математической модели комплексной оценки МПА

Суть данной модели заключается в следующем. МПА (объекты), обозначенные через  $A_{i=1}^n$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) характеризуются множеством различных параметров и режимов работы:  $x_1, x_2, \dots, x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ), после преобразования  $U$  которых в безразмерные показатели:  $y_1, y_2, \dots, y_j$  и далее преобразования с помощью функции желательности  $FH$  получаем набор частных функций желательности:  $d_1, d_2, \dots, d_j$  для каждого показателя параметров и режимов работы МПА в отдельности. Далее после математических преобразований в блоке  $D_{i=1}^n$  получаем обобщенные показатели желательности, которые характеризуют каждый МПА с его набором показателей в целом. В блоке  $Q$  оцениваем каждый МПА по обобщенным и частным показателям желательности со следующими предъявляемыми требованиями: если  $1 \geq D > 0,37$ , то МПА является приемлемым и его параметры и режимы соответствуют предъявляемым требованиям, если  $0 < D \leq 0,37$ , то МПА с его параметрами и режимами является неприемлемым, тогда рассматриваются частные показатели желательностей по всем его параметрам и режимам на соответствие предъявляемым требованиям и выда-

ются рекомендации на изменения параметров и режимов с помощью управляющих функций  $f_{x_1}, f_{x_2}, \dots, f_{x_j}$ . Таким образом, получаем замкнутую систему, которая позволяет оценивать многофункциональные посевные агрегаты с множественным набором показателей, а также при необходимости контролировать и изменять параметры и режимы их работы.

Для оперативного расчета по предложенной структурной схеме математической модели комплексной оценки МПА была разработана программа к ПЭВМ «Непараметрический выбор», работающая по алгоритму, в основе которого лежит идея преобразования натуральных значений частных показателей (параметров и режимов работы МПА) в безразмерную шкалу желательности. Чтобы получить шкалу желательности можно пользоваться разработанной таблицей 1 соответствий между отношениями предпочтения в эмпирической и числовой системах. Значение частного показателя, переведенное в безразмерную шкалу желательности, обозначается  $d_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) и называется частной желательностью. Шкала желательности имеет интервал от 0 до 1. Значение  $d_j = 0$  соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного показателя, а значение  $d_j = 1$  – наилучшему значению показателя. Значение  $d_j = 0,37$  обычно соответствует границе допустимых значений.

Таблица 1 – Стандартные оценки по шкале желательности

Желательность	Оценка по шкале
Отлично, представляет высокое качество	$0,80 \leq d_j < 1,00$
Хорошо, представляет собой улучшение по отношению к приемлемому	$0,63 \leq d_j < 0,80$
Удовлетворительно, приемлемое состояние объекта, но низкого качества – желательно улучшение	$0,37 \leq d_j < 0,63$
Плохо, неприемлемое состояние объекта, требуется заметное улучшение качества	$0,20 \leq d_j < 0,37$
Очень плохо, совершенно неприемлемое качество объекта	$0 \leq d_j < 0,20$

Функция желательности отражает зависимость показателей желательности  $d_j$ , от безразмерных показателей  $y_j$ , в которые переводят размерные (натуральные) показатели агрегата. Эта зависимость выражается уравнением

$$d_j = \exp[-\exp(-y_j)]. \quad (1)$$

Обобщенный показатель желательности  $D$  рассчитывается по формуле

$$D = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m d_j^{k_j}}, \quad (2)$$

где  $d_j$  – значение желательности  $j$ -го показателя;  $k_j$  – коэффициент весомости  $j$ -го показателя;  $m$  – количество показателей. Коэффициенты весомости определяют методом экспертной оценки, а при отсутствии необходимого числа экспертов – по нормативно-справочным материалам для комплексной оценки машин, приведенным в ОСТ 70.2.30-78.

Перевод значений размерных показателей  $x_j$  параметров и режимов работы МПА в безразмерные  $y_j$  осуществляется по следующим формулам:

- при линейной зависимости между ними

$$y_j = a_0 + a_1 \cdot x_j; \quad (3)$$

- при нелинейной (квадратичной) связи

$$y_j = a_0 + a_1 \cdot x_j + a_2 \cdot x_j^2. \quad (4)$$

Возьмём для примера нелинейный случай, прологарифмировав дважды уравнение (1), получим

$$\ln \ln \frac{1}{d_j} = -y_j. \quad (5)$$

Подставляя значения  $y_j$  в уравнение (4), получим:

$$a_0 + a_1 x_j + a_2 x_j^2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_j}}. \quad (6)$$

Составляем систему уравнений для известных значений:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_1^2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_1}} \\ a_0 + a_1 x_2 + a_2 x_2^2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_2}} \\ a_0 + a_1 x_3 + a_2 x_3^2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_3}} \end{array} \right. \quad (7)$$

Решая уравнения, находим значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ . В результате получаем уравнение нелинейной зависимости между исследуемым показателем и безразмерными значениями. По этому уравнению можно найти значение  $y_j$  для любого значения  $x_j$ , а по формуле 2 – обобщенный показатель желательности. При помощи функции желательности по Харрингтону и компьютерной программы, анализируя различные параметры, их частные оценочные и обобщённые показатели, можно определять перспективные направления по совершенствованию конструкций сельскохозяйственных машин.

Для определения рационального количества совмещаемых операций, рабочей ширины захвата и выбора эффективных агрегатов были рассмотрены результаты испытаний на МИС 77 посевных агрегатов с числом совмещаемых технологических операций от двух до шести. Для проведения дальнейших

расчетов по программе была разработана блок-схема выбора эффективных вариантов МПА (рисунок 2). В результате расчетов установлено, что наиболее рациональным является совмещение в одном проходе агрегата с рабочей шириной захвата 6 и 8 шести технологических операций.



Рисунок 2 – Блок-схема выбора эффективных вариантов МПА

Для реализации Стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года, предусматривающей создание многофункциональных почвообрабатывающе-посевных агрегатов к тракторам мощностью 220-240 и 450 л.с., предложена конструктивная схема МПА (рисунок 3), которая защищена патентом на полезную модель №153896. Многофункциональный почвообрабатывающе-посевной агрегат состоит из фронтального измельчителя 1, агрегируемого через переднюю навеску трактора 2, с механизмом привода от ВОМ 3, трактора 4, несущей системы 5 с прицепным устройством 6, сферических вырезных дисков 7 с тукопроводами 8, спирально-винтового катка 9, бункера для семян и удобрений 10, конических вырезных дисков 11 с анкерными сошниками 12 и семяпроводами 13, приводного колеса вала высевающих аппаратов 14, опорно-прикатывающих пневматических колес 15.

В качестве рациональных параметров данного МПА к тракторам мощностью 250 и 450 л.с. были приняты значения рабочей ширины захвата, полученные в результате комплексной оценки наиболее эффективных посевных агрегатов; так трактор мощностью 250 л.с. целесообразно агрегатировать с МПА-6 рабочей шириной захвата 6 м, а для трактора мощностью 450 л.с. рекомендуется МПА-8 с рабочей шириной захвата 8 м.

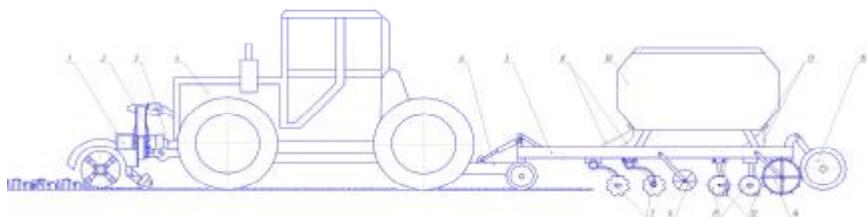


Рисунок 3 – Многофункциональный почвообрабатывающе-посевной агрегат

Для расчета рациональных режимов работы предложенных МПА была разработана программа «Режимы работы агрегатов», которая основана на новом алгоритме расчета как на стадии их формирования, так и непосредственно в условиях эксплуатации при использовании информации (мощность двигателя трактора, удельный расход топлива, эксплуатационный вес трактора и др.), доступной в научно-технической литературе.

Тяговую (полезную) мощность трактора (кВт) в диапазоне рабочих скоростей движения (9-14 км/ч) определим по формуле

$$N_{II}^D = N_e^u \cdot \eta_m \left( 1 - \frac{\delta}{100} \right) - \frac{G(V_{\min} \dots V_{\max}) \cdot \left( f \pm \frac{i}{100} \right)}{3,6}, \quad (8)$$

где  $N_e^u$  – номинальная эффективная мощность двигателя, кВт;  $\eta_m$  – механический КПД трансмиссии;  $\delta$  – допустимый коэффициент буксования, %;  $G$  – эксплуатационный вес трактора, кН;  $V_{\min} \dots V_{\max}$  – допустимые по агротребованиям скорости движения, км/ч;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $i$  – уклон поля, %.

Тяговую мощность (кВт), зависящую от сцепных свойств трактора, определим по формуле

$$N_{сп}^{\mu} = \frac{G(V_{\min} \dots V_{\max}) \cdot \left[ \lambda \mu - \left( f \pm \frac{i}{100} \right) \right]}{3,6} - N_e^u \eta_m \frac{\delta}{100}, \quad (9)$$

где  $\lambda$  – коэффициент использования сцепного веса;  $\mu$  – коэффициент сцепления движителя с почвой.

Определим тяговое сопротивление (кН) агрегата по формуле

$$R_{az} = B_p k_m \pm G_m \cdot \frac{i}{100}, \quad (10)$$

где  $B_p$  – рабочая ширина захвата, м;  $k_m$  – удельное тяговое сопротивление, кН/м;  $G_m$  – вес машины, кН.

Необходимая для работы агрегата тяговая мощность (кВт) в допустимом диапазоне скоростей определяется из выражения

$$N_{az} = \frac{R_{az}(V_{\min} \dots V_{\max})}{3,6}. \quad (11)$$

Рациональную скорость агрегата (км/ч) определяем по формуле

$$V_{\text{рац}} = \frac{3,6 N_e^H \cdot \eta_M \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)}{R_{az} + G \left(f \pm \frac{i}{100}\right)}. \quad (12)$$

Мощность  $N_{az}$  (кВт), необходимую для работы агрегата в рассматриваемых условиях при рациональной скорости  $V_{\text{рац}}$ , определим по формуле

$$N_{az} = \frac{R_{az} \cdot V_{\text{рац}}}{3,6}. \quad (13)$$

Коэффициент использования тяговой мощности определим из формулы

$$\eta_{\text{им}} = \frac{N_{az}}{N_{\text{Д}}^{\text{max}}} \rightarrow 1. \quad (14)$$

Тяговый КПД трактора определим из формулы

$$\eta_T = \frac{N_{az}}{N_e^H}, \quad (15)$$

- при максимально возможном в рассматриваемых условиях

$$\eta_T^{\text{max}} = \frac{N_{\text{Д}}^{\text{max}}}{N_e^H}. \quad (16)$$

Используемую эффективную мощность двигателя (кВт) определим по формуле

$$N_e = \frac{V_{\text{рац}}}{3,6} \left\{ R_{az} \left[ 2 - \eta_M \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) \right] + G \left(f \pm \frac{i}{100}\right) \right\}. \quad (17)$$

Коэффициент загрузки двигателя трактора вычислим по формуле

$$\eta_z = \frac{N_e}{N_e^H} \rightarrow 1. \quad (18)$$

Производительность агрегата (га) за один час основной работы составит

$$W_0 = 0,1 \cdot B_p \cdot V_{\text{рац}}. \quad (19)$$

Производительность (га) за один час сменного времени вычисляют по формуле

$$W_{\text{см}} = W_0 \cdot k_{\text{см}}, \quad (20)$$

где  $k_{\text{см}}$  – коэффициент использования сменного времени.

Расчётный расход топлива на единицу выполняемой работы (кг/га) составит

$$q_p = \frac{10^{-3} \cdot q_e^H \cdot N_e^H}{W_{\text{см}}}, \quad (21)$$

где  $q_e^H$  – удельный часовой расход топлива, г/кВт·ч.

Результаты проведённых расчётов позволили обосновать рациональные параметры и режимы работы МПА к тракторам с мощностью двигателя 250 и 450 л.с.:

- для колесных тракторов мощностью 250 л.с. целесообразно иметь следующие параметры и режимы работы МПА: рабочая ширина захвата 6 м, рабочая скорость 11,9 км/ч. Это обеспечит сменную производительность 4,8 га/ч при удельном расходе топлива 8,97 кг/га;

- для колесных тракторов мощностью 450 л.с. целесообразно иметь следующие параметры и режимы работы МПА: рабочая ширина захвата 8 м, рабочая скорость 13,2 км/ч. Это обеспечит сменную производительность 6,8 га/ч при удельном расходе топлива 12,4 кг/га.

В **третьей главе** представлены программа и общая методика исследований, описаны приборы, применяемые в ходе проведения эксперимента. Программой исследований предусматривалось выполнение следующих двух этапов работ: проведение исследований по обоснованию рационального совмещения технологических операций в одном проходе МПА и проведение исследований по определению фактических параметров и режимов работы МПА в производственных условиях.

Исследования МПА проводились на опытном поле 9<sub>1</sub> площадью 70 га тестового полигона НТЦ КубНИИТиМ на посеве озимой пшеницы сорта «Таня РС-1» после предшественника – кукурузы на зерно по нижеприведенной схеме (рисунок 4). После уборки на данном поле было выделено пять участков площадью 14 га, которые засеяли в один день.

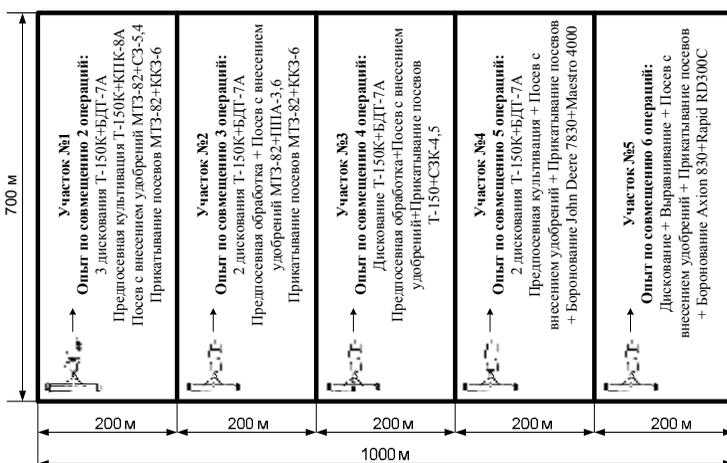


Рисунок 4 – Схема проведения полевых экспериментов по обоснованию совмещения технологических операций

Для проведения экспериментов по определению фактических параметров и режимов работы МПА были выбраны четыре варианта посевных агрегатов Rapid (фирмы «Vaderstad», Швеция) с шириной захвата 3, 4, 6 и 8 м. Полевые исследования проводили на посеве озимой пшеницы в

производственных условиях хозяйств Краснодарского края тракторами различной мощности (от 145 до 425 л.с.). После проведения агротехнической и эксплуатационно-технологической оценок, предусмотренных общей методикой проведения исследований, полученные показатели агрегатов были занесены в таблицу исходных данных программы для комплексной оценки множества показателей МПА «Непараметрический выбор» и проведения расчётов. Обобщенные показатели желательности сравнивали и определяли рациональное количество совмещаемых технологических операций в одном проходе агрегата, а также два наиболее эффективных варианта МПА с параметрами и режимами работы.

При проведении расчетов коэффициенты весомости показателей определялись по нормативно-справочным материалам для комплексной оценки машин ОСТ 70.2.30-78. При исследованиях использовались приборное обеспечение и устройства, разработанные в КубНИИТиМ: пробоотборник почвы ИП 233, измеритель твердости почвы ИП 271, измеритель глубины хода рабочих органов машин ИП 279, устройство для определения глубины заделки семян и удобрений посевными машинами ИП 252, портативный прибор хронометражиста ИП 261. Также были привлечены технические средства других производителей: лазерный дальномер BOSCH DLE 70, навигатор GPS Garmin eTrex и мобильный топливозаправщик. Для дальнейшей обработки результатов применяли комплекс программ, разработанных в КубНИИТиМ: «TVERD», «Gost20915», «ЕТО», «QUALITY», «Сеялки тракторные», «STATISTIC» и «Фактор».

В **четвертой главе** представлены результаты проведенных экспериментальных полевых исследований агротехнических и эксплуатационно-технологических показателей МПА при совмещении от двух до шести технологических операций, расчетов рационального количества совмещаемых технологических операций в одном проходе агрегата и экспериментальных исследований по определению фактических параметров и режимов работы линейки многофункциональных посевных агрегатов Rapid с результатами их комплексной оценки и выбором наиболее эффективных вариантов.

Для определения рационального количества совмещаемых технологических операций в одном проходе агрегата была сформирована таблица 2 и проведена комплексная обработка результатов экспериментальных полевых исследований по программе «Непараметрический выбор». На основании выполненных расчетов установлено, что наиболее рациональным является совмещение в одном проходе агрегата пяти-шести технологических операций агрегатами «John Deere 7830» + Maestro 4000 и «Axion 830» + Rapid RD 300C, имеющими наиболее высокие обобщенные показатели желательности –  $D = 0,69$  и  $0,49$ , что соответствует высокому и среднему уровню. У остальных посевных агрегатов обобщенные показатели  $D$  находятся в интервале от  $0,32$  до  $0,41$ , что соответствует удовлетворительному уровню.

Таблица 2 – Техничко-эксплуатационные показатели посевных агрегатов

Показатели	МТЗ-82 + СЗ-5,4	МТЗ-82 + ППА-3,6	Т-150 + СЗК-4,5	JD 7830+ Maestro 4000	Axion 830+ Rapid RD 300C
Сменная производительность, га/ч	3,8	2,0	3,4	2,9	2,5
Вместимость бункера, м <sup>3</sup>	0,998	0,665	1,65	6,937	3,04
Скорость движения, км/ч	9,4	7,5	10,2	10,9	11,1
Ширина захвата, м	5,4	3,6	4,5	3,8	3,0
Удельный расход топлива, кг/га	1,6	3,7	5,5	7,7	9,2
Масса агрегата, кг	2190	3320	4550	3490	4300
Отклонение высева от заданного значения, %	2,0	1,4	1,8	0,7	0,8
Компактность высева, %	60,0	58,0	59,0	80,0	82,3
Семена, не заделанные в почву, шт/м <sup>2</sup>	9,2	7,0	8,0	0,5	0,1
Число операций	2	3	4	5	6

Для комплексной оценки множества показателей МПА Rapid, полученных после проведения агротехнической и эксплуатационно-технологической оценок, и выбора двух наиболее эффективных вариантов агрегатов с их параметрами и режимами работы, была сформирована таблица 3.

Таблица 3 – Техничко-эксплуатационные показатели посевных агрегатов

Показатели	Арион 630С + RD300С	ДТ-175С + RD400С	JD 8230 + RDA 600С	JD 9420 + RDA 800С
Сменная производительность, га/ч	2,92	2,73	5,01	6,96
Вместимость бункера, м <sup>3</sup>	3,04	4,18	6,0	6,01
Скорость движения, км/ч	13,9	10,0	12,0	12,8
Ширина захвата, м	3,0	4,0	6,0	8,0
Удельный расход топлива, кг/га	6,6	11,8	7,8	9,5
Масса агрегата, кг	4300	4980	8420	8670
Отклонение высева от заданного значения, %	0,7	0,9	1,0	0,2
Компактность высева, %	76,3	87,0	81,6	78,0
Семена, не заделанные в почву, шт/м <sup>2</sup>	0,2	0,1	0,1	0,3

Анализ обобщенных показателей показал, что агрегаты JD 8230 + RDA600C и JD 9420 + Rapid RDA 800C имеют  $D = 0,55$  и  $0,51$ , что соответствует среднему уровню. Посевные агрегаты Арион 630С + RD300С и ДТ-175С + RD400С имеют одинаковое значение обобщенного показателя  $D = 0,38$ , что соответствует удовлетворительному уровню. Таким образом, по результатам исследований МПА в производственных условиях наиболее эффективным является агрегат JD 8230 + RDA600C с шириной захвата 6 м, который при рабочей скорости движения 12 км/ч обеспечил производительность за 1 ч времени смены – 5,01 га, при этом удельный расход топлива составил – 7,8 кг/га. На втором месте по эффективности оказался JD 9420 + Rapid RDA 800C с шириной захвата 8 м, у ко-

торого при рабочей скорости движения 12,8 км/ч сменная производительность составила 6,96 га/ч, удельный расход топлива – 9,5 кг/га.

В пятой главе проведен сравнительный анализ экономической эффективности базового комплекса машин и новых вариантов МПА с рациональными параметрами и режимами работы. Результаты проведенных расчетов показали, что применение новых многофункциональных посевных агрегатов МПА-6 и МПА-8 в машинном комплексе для возделывания озимой пшеницы позволит достичь значительного экономического эффекта по всем показателям экономической эффективности и ресурсосбережения.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработанная структурная схема, математическая модель комплексной оценки МПА с помощью непараметрических критериев и компьютерная программа «Непараметрический выбор», основанные на применении функции желательности Харрингтона, позволят перевести в единую безразмерную шкалу разные по физической сущности и размерности частные показатели параметров и режимов работы, а затем свернуть в единый обобщенный критерий, по которому можно выбрать наиболее эффективный вариант агрегата.

2. Разработанная компьютерная программа «Режимы работы агрегатов» позволит определить рациональные режимы работы (скорость движения, производительность, расход топлива) и произвести рациональное комплектование МТА.

3. Разработанная конструктивная схема МПА позволит совместить в одном проходе агрегата шесть последовательных технологических операций и сократить сроки проведения посевной кампании. Применение данного технического средства будет являться альтернативой традиционным технологиям с использованием комплекса однооперационных почвообрабатывающих машин, сеялки и катков.

4. Теоретические расчеты математической модели, проведенные на ПЭВМ, позволили обосновать рациональные параметры и режимы работы МПА к тракторам с мощностью двигателя 250 и 450 л.с.:

- для колесных тракторов мощностью 250 л.с.: число совмещаемых технологических операций за один проход агрегата – 6, рабочая ширина захвата 6 м, рабочая скорость движения 11,9 км/ч, сменная производительность 4,8 га/ч, удельный расход топлива 8,97 кг/га;

- для колесных тракторов мощностью 450 л.с.: число совмещаемых технологических операций в одном проходе агрегата – 6, рабочая ширина захвата 8 м, рабочая скорость движения 13,2 км/ч, сменная производительность 6,8 га/ч, удельный расход топлива 12,4 кг/га.

5. По результатам экспериментальных исследований по обоснованию совмещения технологических операций в одном проходе МПА установлено, что рационально совмещать в одном проходе шесть технологических операций.

6. В результате полевых исследований МПА, совмещающих в одном проходе шесть технологических операций, получены следующие параметры и режимы работы:

- для тракторов мощностью 250 л.с.: рабочая ширина захвата 6 м, рабочая скорость движения 12 км/ч, сменная производительность 5,01 га/ч, удельный расход топлива 7,8 кг/га;

- для тракторов мощностью 425 л.с.: рабочая ширина захвата 8 м, рабочая скорость движения 12,8 км/ч, сменная производительность 6,96 га/ч, удельный расход топлива 9,5 кг/га.

Выявлено, что результаты теоретических исследований согласуются с результатами экспериментальных исследований в пределах ошибки опыта, что показывает адекватность теоретических положений реальному процессу.

7. Ресурсосберегающий эффект от внедрения в производство многофункциональных посевных агрегатов МПА-6 и МПА-8 по сравнению с базовым вариантом применения однооперационных агрегатов будет заключаться в снижении эксплуатационных затрат соответственно на 36,2 и 39,6 %, расхода топлива на 51,8 и 65,1 %, сокращении затрат труда на 84,9 и 89,2 % и капиталовложений в комплекс машин на 17,6 и 37,3 %.

### **Рекомендации производству**

1. Для совмещения технологических операций в одном проходе агрегата необходимо отечественному машиностроению разработать отечественные варианты многофункциональных посевных агрегатов МПА-6 и МПА-8, позволяющих после уборки поздноубираемых культур осуществить посев зерновых колосовых культур в оптимальные агросроки.

2. На переходном этапе на минимальные технологии и наличии в севообороте высокостебельных культур (кукуруза, подсолнечник) допускается применять многофункциональные посевные агрегаты типа Rapid.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

1. Сформулировать исходные требования на технологический процесс обработки почвы и посева семян зерновых культур многофункциональным посевным агрегатом, на основе которых заводы-изготовители смогут разработать отечественные МПА к тракторам мощностью 250 и 450 л.с.

2. Провести теоретические исследования по обоснованию и расчету конструктивных параметров многофункциональных посевных агрегатов МПА-6 и МПА-8 и разработать ТУ на их создание.

3. Провести экспериментальные исследования МПА-6 и МПА-8 в хозяйственных условиях Краснодарского края и разработать научно-практические рекомендации по применению многофункциональных посевных агрегатов.

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

*а) в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:*

1. **Петухов, Д.А.** Оценка многофункциональных комбинированных агрегатов / А.Т. Табашников, Д.А. Петухов, В.В. Сердюк // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 11. – С. 26-27.

2. **Петухов, Д.А.** Лучший почвообрабатывающий и посевной комплекс /

А.Т. Табашников, Д.А. Петухов // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 5. – С. 18-19.

3. **Петухов, Д.А.** Современные посевные машины / Д.А. Петухов, В.В. Сердюк // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 1. – С. 18-21.

4. **Петухов, Д.А.** Рекомендации зарубежных производителей сельскохозяйственной техники по применению минимальной и нулевой обработки почвы / Д.А. Петухов, А.Н. Назаров // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 2. – С. 45-47.

5. **Петухов, Д.А.** Анализ использования посевных агрегатов для прямого посева и посева с минимальной обработкой почвы / Д.А. Петухов, М.Е. Чаплыгин, А.Н. Назаров // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 4. – С. 10-13.

6. **Петухов, Д.А.** Многофункциональные агрегаты: совмещение технологических операций почвообработки и посева / Д.А. Петухов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 1. – С. 32-36.

7. **Петухов, Д.А.** Многофункциональный почвообрабатывающе-посевной агрегат / Д.А. Петухов, В.В. Сердюк // Техника и оборудование для села. – 2016. – №1. – С. 8-9.

8. **Петухов, Д.А.** Информационные технологии в повышении ресурсоэнергоэффективности машинно-тракторных агрегатов / В.Ф. Федоренко, Д.А. Петухов, И.Г. Попелова // Техника и оборудование для села. – 2016. – №5. – С. 18-22.

9. **Петухов, Д.А.** Формирование конструкций многофункциональных почвообрабатывающе-посевных агрегатов / В.Ф. Федоренко, Д.А. Петухов, В.В. Сердюк // Техника и оборудование для села. – 2016. – №5. – С. 35-40.

*б) в других изданиях*

10. **Петухов, Д.А.** Многофункциональные агрегаты – основа ресурсосберегающих технологий / Д.С. Буклагин, Д.А. Петухов, В.В. Сердюк // Сб. науч. тр. по итогам V Междунар. науч.-практ. конф. «ИнформАгро-2011» : Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – С. 345-350.

11. **Петухов, Д.А.** Обработка почвы и посев за один проход / Д.А. Петухов // Сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. : Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития. – Ч.2. – Тамбов: изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 90-91.

12. **Петухов, Д.А.** Эффективность агрегатов на прямом посеве озимой пшеницы в хозяйственных условиях // Сб. науч. тр. по итогам VIII Междунар. науч.-практ. конф. : Инновационные разработки для АПК. – Волгоград: ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2013. – С. 58-62.

13. **Петухов, Д.А.** Оптимизация параметров и режимов работы многофункциональных почвообрабатывающе-посевных агрегатов // Сб. науч. тр. по итогам VII Междунар. науч.-практ. конф. «ИнформАгро-2014» : Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – С. 564-569.

14. **Петухов, Д.А.** Эффективность многофункциональных агрегатов Rapid

на посеве озимой пшеницы в хозяйственных условиях / Д.А. Петухов, И.В. Пронин // Сб. науч. тр. по итогам 9-й Междунар. науч.-практ. конф. : Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК. – Ч.1. – Черноград: СКНИИМЭСХ, 2014. – С. 96-101.

15. **Петухов, Д.А.** Конструктивные особенности современных посевных машин с рабочим органом культиваторного типа и посевных машин с рабочим органом дискового типа для посева зерновых культур / Д.А. Петухов, В.В. Сердюк // Рынок АПК. – 2012. – № 1-2. – С. 33-36.

16. **Петухов, Д.А.** Эффективность совмещения технологических операций на базе многофункциональных посевных агрегатов при возделывании зерновых культур / Д.А. Петухов, А.В. Юрченко // Рынок АПК. – 2012. – № 4. – С. 22-24.

17. **Петухов, Д.А.** Вышел сеятель сеять... / Д.А. Петухов, М.Е. Чаплыгин, А.Н. Назаров // Агробизнес. – 2013. – № 2. – С. 44-48.

18. **Петухов, Д.А.** Выигрышная комбинация / А.Н. Назаров, Д.А. Петухов // Агробизнес. – 2015. – № 3. – С. 72-76.

19. **Петухов, Д.А.** Параметры и режимы работы многофункциональных посевных агрегатов / Д.А. Петухов, А.Н. Назаров // журнал № 3 (10) по итогам 10-й Междунар. науч.-практ. конф. : Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия. – Ч.8. – Новосибирск: Международный научный институт EDUCATIO, 2015. – С. 80-84.

*в) патенты на полезную модель*

20. Многофункциональный почвообрабатывающе-посевной агрегат : пат. 153896 Рос. Федерация : МПК<sup>51</sup> А01В 49/04 / Петухов Д.А., Сердюк В.В.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Росинформагротех». № 2015109097/13; заявл. 16.03.15; опубл. 10.08.15, Бюл. № 22.

*г) свидетельства*

21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Непараметрический выбор» № 2016614893 / Петухов Д.А., Попелова И.Г.; зарегистрированной в Реестре программ 11.05.2016, 1 с.

22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Режимы работы агрегатов» № 2016618046/ Петухов Д.А., Попелова И.Г.; зарегистрированной в Реестре программ 20.07.2016, 1 с.

Подписано в печать \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2016  
Формат 60×84<sup>1/16</sup> Печать офсетная Бумага офсетная  
Гарнитура шрифта «Times New Roman»  
Печ. л. 1,0 Тираж 100 экз.  
Изд. заказ 6 Тип. Заказ 24

---

Отпечатано в типографии ФГБНУ «Росинформагротех»,  
141261, пос. Правдинский, Московской обл., ул. Лесная, 60