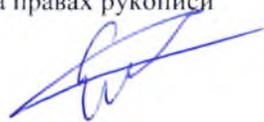


На правах рукописи



ЕВГЛЕВСКИЙ Роман Олегович

ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА
С ОДНОВРЕМЕННЫМ ВНЕСЕНИЕМ ОСНОВНОЙ
ДОЗЫ УДОБРЕНИЙ

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар
2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» в г. Краснодаре. (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

Научный руководитель: **Маслов Геннадий Георгиевич**, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Официальные оппоненты: **Камбулов Сергей Иванович**, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
Кем Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»** (г. Ставрополь)

Защита состоится 30 марта 2022 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 на базе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; тел/факс: 8(861)221-59-32.

Автореферат разослан « » _____ 2022 г.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» <https://kubsau.ru/> и ВАК <https://vak.minobrnauki.gov.ru/>

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор
Фролов Владимир Юрьевич

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Повышение конкурентоспособности продукции растениеводства возможно в основном за счет интенсификации, предусматривающей рост урожайности возделываемых культур, рационального использования удобрений, внедрения новых сортов и улучшения технологий возделывания. Одной из наиболее значимых технологических операций при возделывании зерновых культур является посев. К сожалению, применяемые технологии возделывания, как в нашей стране, так и за рубежом не отвечают современным требованиям интенсификации и должны быть пересмотрены. Это относится и к посеву зерновых колосовых культур, где требуется отдельное внесение семян и основного удобрения, качественное прикатывание и сохранение влаги. Посевные машины должны выдерживать равномерную глубину заделки семян и удобрений, создавать оптимальную плотность почвы в посевном слое, укрывать прикатанный слой рыхлой почвой и вынесенными на поверхность пожнивными остатками и сорняками.

Применяемые в настоящее время кольчато-шпоровые катки для прикатывания посевов не выполняют агротребования. По данным исследований 30–70 % обработанной почвы кольчато-шпоровыми катками ЗККШ-6А остается неприкатанной, что отрицательно сказывается на урожае. Применяемые технологии имеют также недостаток при внесении основного удобрения под основную обработку почвы. Если это выполняется под вспашку, то удобрения вносятся с нарушением требований системы земледелия, так как фосфор должен вноситься на дно борозды, а калий и азот – по всему обрабатываемому слою. Перечисленные недостатки свидетельствуют о высокой актуальности темы диссертации и необходимости совершенствования технологии посева пшеницы. Работа выполнена в соответствии с планом НИР Кубанского ГАУ № ЕГИСУ НИОКР № 4А-А16-11602410038-8 (2016–2020 гг.), №121032300060-2 (2021–2025 гг.)

Степень разработанности темы. Вопросам совершенствования рабочих органов посевных машин и технологий посева посвящены труды академиков Г. М. Бузенкова, А. Н. Карпенко, В. М. Кряжкова, В. П. Горячкина, Е. В. Демчук, А. Ф. Кондратова, А. Д. Логина, И. В. Горбачева и С. И. Камбулов. Работы многих специалистов машиностроительных заводов были направлены на создание посевных

комплексов, совмещающих технологические операции посева зерновых колосовых культур, внесения удобрений и прикатывания различными конструкциями катков, где наиболее эффективным оказался спирально-винтовой. Вместе с тем остались не затронутыми вопросы качественного внесения основного и припосевного удобрения с одновременным посевом колосовых и прикатыванием в соответствии с требованиями системы земледелия, когда малоподвижные формы как фосфор должны вноситься в нижние слои почвы в зону будущей корневой системы в фазе колошения и созревания, когда растения в них особенно нуждаются.

Рабочая гипотеза. Качество работы МПА при заделке основного удобрения на 16–18 см обеспечивается норальниковыми сошниками одновременно с высевом двумя дисковыми сошниками семян и стартовой доз удобрений на глубину 4–6 см, а равномерность плотности прикатанного слоя почвы $1,1\text{--}1,25\text{ г/см}^3$ с созданием над ним мульчирующего влагосберегающего слоя толщиной до 3 см и вычесыванием пожнивных остатков на поверхность – спирально-винтовым катком диаметром 0,450 мм, удельной массой 86,4 кг/м.

Цель работы – повысить эффективность процесса посева озимой пшеницы путем оптимизации параметров и режимов работы многофункционального посевного агрегата.

Задачи исследования:

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему многофункционального агрегата (МПА) и способ посева зерновых колосовых с внесением удобрений и рациональным прикатыванием.

2. Разработать математическую модель процесса работы агрегата и алгоритм оптимизации его параметров и режимов работы МПА.

3. С использованием планирования эксперимента оптимизировать параметры и режим работы прикатывающего спирально-винтового катка.

4. Разработать методику инженерного расчета основных характеристик МПА.

5. Определить экономическую эффективность результатов исследований.

Методика исследования

Теоретические исследования выполнены с использованием основных законов, положений и методов классической механики и математики. Экспериментальные исследования выполнены в полевых

условиях в соответствии с общепринятыми методиками, действующими ГОСТами и ОСТами. В ходе исследований использовались динамометрирование машин, теория планирования многофакторного эксперимента. Обработка экспериментальных данных выполнялась с использованием методов математической статистики и компьютерных программ Statistica и Mathcad.

Объект исследования – технологический процесс высева зерновых колосовых культур с одновременным внесением основного и припосевного удобрения и рациональным прикатыванием.

Предмет исследования – закономерность процесса посева зерновых с одновременным внесением основного и припосевного удобрений и влагосберегающим прикатыванием.

Научная новизна:

1. Обоснован способ посева зерновых колосовых культур с одновременным внесением основного и припосевного удобрений и влагосберегающим прикатыванием.

2. Получены зависимости удельного тягового сопротивления МПА и создаваемой плотности почвы от условий и режимов работы.

3. Составлено уравнение регрессии плотности прикатанной почвы в зависимости от действующих факторов.

4. Представлена математическая модель и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МПА.

5. Составлена методика инженерного расчета основных характеристик МПА по результатам теоретических и экспериментальных исследований.

6. Обоснована экономическая эффективность результатов исследований технологии посева колосовых культур.

Практическая значимость работы.

Разработан макетный образец многофункционального посевного агрегата для посева зерновых колосовых культур с одновременным внесением основного и припосевного удобрения и рациональным прикатыванием, сберегающим влагу и обеспечивающим дружные всходы. Обоснованы оптимальные параметры и режимы работы катка и агрегата. Технология посева колосовых культур на базе предлагаемого МПА по сравнению с базовой имеет существенные преимущества по всем технико-экономическим показателям.

Достоверность теоретических исследований подтверждается результатами производственной проверки агрегата.

На защиту выносятся:

1. Конструктивно-технологическая схема и многофункционального агрегата (МПА) способ посева пшеницы с одновременным внесением стартового и основного удобрения и влагосберегающим прикатыванием.

2. Математическая модель процесса работы МПА, оптимальные и режимные параметры спирально-винтового катка к МПА.

3. Зависимости критериев оптимизации от параметров спирально-винтового катка и МПА.

4. Зависимости удельного тягового сопротивления МПА и создаваемой плотности почвы от условий и режимов работы.

5. Методика инженерного расчета основных характеристик МПА.

6. Экономическая эффективность результатов исследований

Реализация и внедрение результатов исследований.

Макетный образец МПА внедрен в учхозе «Кубань» Кубанского ГАУ на посевах пшеницы по предшественнику люцерна и в фермерском хозяйстве (г. Краснодар).

Апробация работы. Основные положения и результаты доложены, обсуждены и одобрены на ежегодных научных конференциях факультета механизации Кубанского ГАУ (2017–2019 гг.), на международных практических конференциях:

1. Евглевский Р. О. Энергосберегающий агрегат посева зерновых колосовых культур // В сборнике: Научные революции: сущность и роль в развитии науки и техники. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2019. С. 199–201. (г. Уфа).

2. Евглевский Р. О. Применение комбинированного однодискового сошника зерновой сеялки // В сборнике: Интеграционные процессы в науке в современных условиях. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2018. С. 40–41. (г. Новосибирск).

3. Евглевский Р. О. Устройство для внесения стартового и основного удобрения одновременно с посевом // в сборнике: Социально-экономическая эффективность использования земельных ресурсов в аграрной сфере экономики Республики Башкортостан: современное состояние и пути повышения. Сборник статей Всероссий-

ской научно-практической конференции. Башкирский государственный аграрный университет. 2018. С. 93–95. (г. Башкортостан).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 126 наименований и приложений. Диссертация изложена на 150 страницах компьютерного текста, включает 26 страниц приложений, 50 рисунков и 20 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулирована цель работы, научная новизна, практическая значимость и представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ применяемых технологий посева зерновых колосовых культур.

Краснодарский край обладает уникальными, не имеющими мировых аналогов по плодородию, черноземными почвами и является одним из крупнейших регионов России по производству сельскохозяйственной продукции, в том числе зерна озимой пшеницы. Почвы и климат в регионе благоприятны, однако имеющиеся природные возможности производства сельскохозяйственной продукции высокого качества не используются в полной мере.

Наукой сделан вклад в разработку и усовершенствование машин для посева озимой пшеницы и других колосовых культур. В работах ученых изучены и обоснованы технологические требования к техническим системам посева сельскохозяйственных культур и внесения минеральных удобрений. Уделено место совмещению технологических операций при посеве зерновых.

Ведущими компаниями производителей сельскохозяйственной техники проводится большое количество исследований по усовершенствованию процесса посева. Данные исследования были проанализированы нами. Все образцы посевных машин имеют ряд недостатков, таких как: высокая стоимость агрегатов, сложное техническое исполнение, что не позволяет мелким производителям массово использовать образцы данной техники. Большинство хозяйств не в состоянии применять современные технологии передовых предприятий производящих посевное оборудование. В результате чего нарушаются сроки и качество посева, что снижает урожайность. Применяемые технологии посева с одновременным внесением

удобрений не в полной мере учитывают требования системы земледелия. Совмещение операций посева, прикатывания спирально-винтовым катком, а также внесения стартового и основного минерального удобрения позволяет существенно снизить затраты энергии и денежных средств и повысить урожайность.

Пока еще не разработан многофункциональный посевной агрегат, учитывающий вышеуказанные недостатки технологий посева и рабочих органов посевных машин, обеспечивающий качественное внесение основного удобрения и прикатывание семян, устраняющее потери почвенной влаги и выравнивание поверхности поля.

Во второй главе обоснованы способ посева – конструктивно-технологическая схема многофункционального посевного агрегата (МПА), совмещающего за один проход по полю внесение основного, припосевного удобрений, высев, заделку семян и рациональное прикатывание посевов, разработана математическая модель процесса работы агрегата и алгоритм оптимизации конструктивных и режимных параметров МПА.

Отличительная особенность предлагаемого способа посева зерновых колосовых культур (рисунок 1) в соответствии с патентом РФ на полезную модель № 178335 является локальное внесение основного удобрения в междурядья высеваемой культуры на глубину 16–18 см, а стартовая доза амофоса заделывается в почву вместе с семенами на оптимальную глубину 4–6 см.

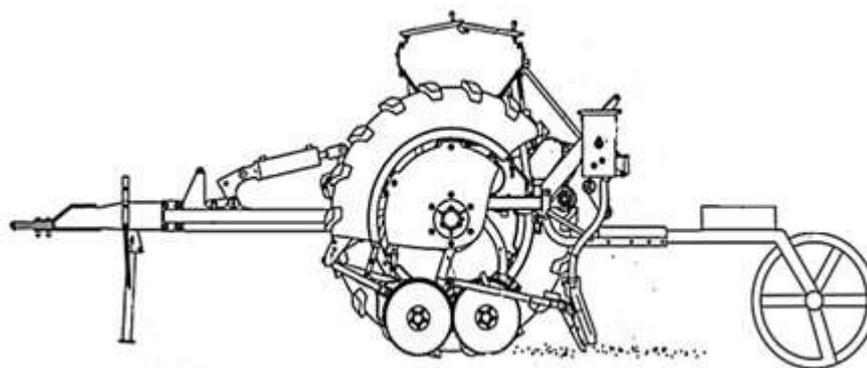
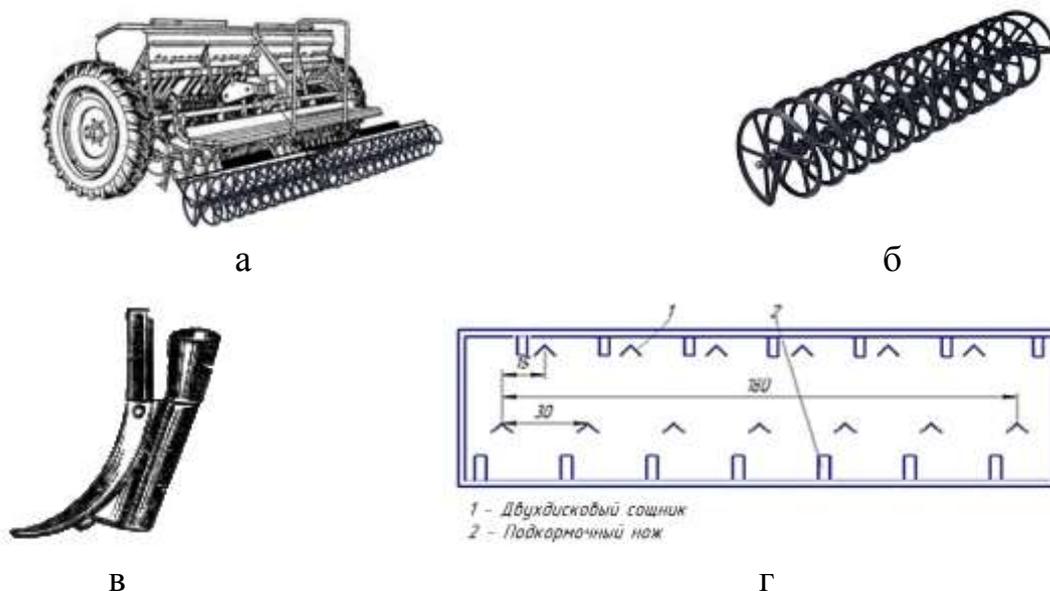


Рисунок 1 – Схема посева зерновых колосовых и заделки удобрений в почву

Прикатывающий почву спирально-винтовой каток создает оптимальную плотность в посевном слое, а вычесанные им на поверхность пожнивные остатки и сорняки защищают почву от эрозии и способствуют сбережению влаги и прибавке урожая.

Составляющие синтеза, предлагаемого МПА представлены на рисунке 2.



а – зерновая сеялка; б – спирально-винтовой каток; в – подкормочный нож;
г – размещение подкормочных ножей на раме зерновой сеялки (вид сверху)

Рисунок 2 – Внешний вид составляющих синтеза предлагаемого многофункционального агрегата

Предлагаемая технологическая схема многофункционального посевного агрегата согласно патенту № 178335 обеспечивает высев семян со стартовой дозой удобрений на заданную глубину 4–6 см, основное внесение удобрений на глубину 16–18 см, прикатывание семян до оптимальной плотности в слое 2–3 см, создание рыхлого неприкатанного слоя почвы 2–3 см над прикатанным и вынос остатков и сорняков из семенного ложа на поверхность. Такие благоприятные условия для прорастания семян за один проход агрегата по полю ранее не создавались, и направлены они на повышение урожая.

Математическая модель функционирования агрегата при выполнении посева пшеницы и прикатывания (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} N_e = 5,31 \cdot B_p \cdot V_p [1 + 0,031(5 - V_p)] / 3,24 \\ C_{БТ} = 38,67 \cdot N_e \\ t_{ц} = 21(V_p + 7,813p + 10) / 2000 + (0,07B_p \cdot L_p) / 10G \\ n_{ц} = (6,7 - 0,07B_p) / t_{ц} \\ T_p = t_p \cdot n_{ц} \\ W = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_p / [(t_{ц} \cdot n_{ц} + 0,02 \cdot B_p) + 0,3] \end{array} \right. , \quad (1)$$

$$C_p = \frac{205 \cdot C_{БТ} / 790 \cdot W + 250 / W + 4(198400 \cdot B_p + 0,25) / 145 \cdot W + [6,95 \cdot N_e \cdot [1 + 0,03(V_p) = 5]] / W}{W \cdot 0,15 \cdot [C_{БТ} \cdot 1000 / 790 \cdot W + 198400 B_p / 145 \cdot W]} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где N_e – мощность двигателя трактора, кВт; B_p, V_p – соответственно ширина захвата (м) и рабочая скорость (км/ч); L_p – длина гона, м; $C_{Б_Т}$ – балансовая стоимость трактора, р; $t_{ц}$ – время цикла работы агрегата, ч; $n_{ц}$ – число циклов за смену; G – масса удобрений в емкостях агрегата, кг; T_p – время чистой работы агрегата за 1 ч сменного времени; W – производительность агрегата за 1 ч сменного времени, га/ч.

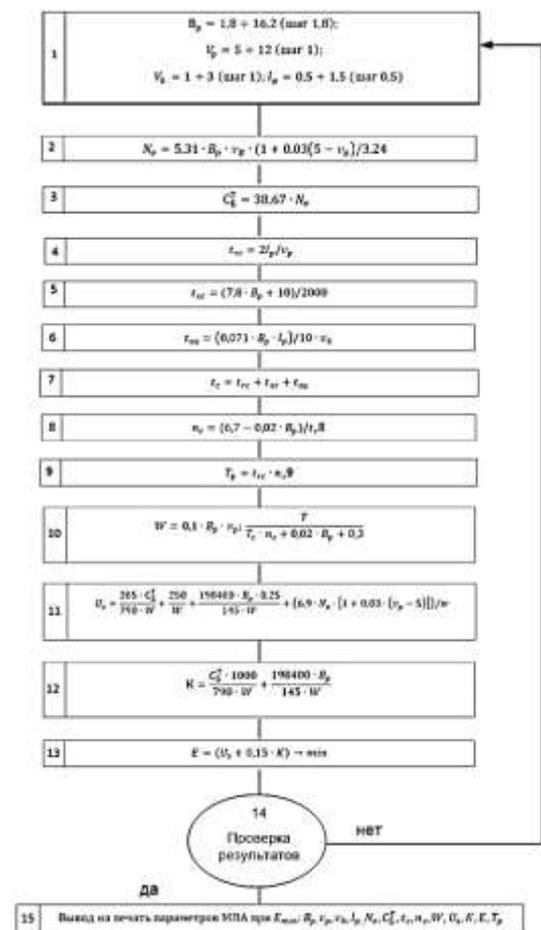


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма оптимизации параметров МПА

Для реализации математической модели был разработан алгоритм решения к ПЭВМ, блок-схема которого представлена на рисунке 3.

Отличительная особенность эффективности посевного МПА состоит в качестве работы на всех операциях, выполняемых им за один проход, в том числе учете вероятностного характера анализируемой случайной величины – плотности почвы в семенном слое после прохода спирально-винтового катка. Решением функции (3) найдена вероятность попадания плотности почвы после прикатывающего катка в составе МПА в заданный диапазоном (1,22–1,3). Которая составила 82,6 %.

Формальный вид функции распределения вероятностей плотности почвы после катка следующий:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{39,5}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-1,2456)^2}{0,00128}} dx = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x-1,2456}{0,0358} \right) \right], \quad (3)$$

Получена также функция распределения вероятностей плотности (рисунок 4) как случайной величины.

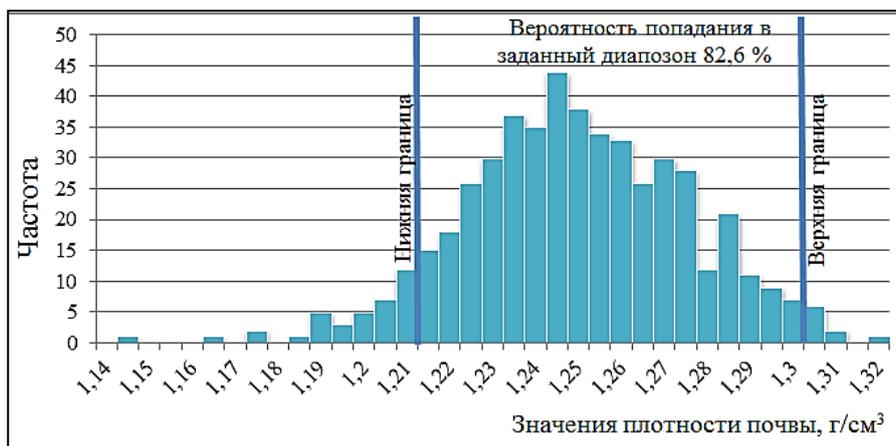
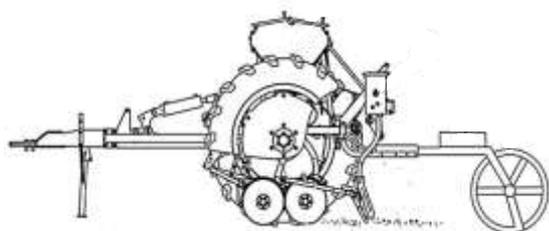


Рисунок 4 – Распределение плотности почвы при использовании спирального катка КВШ на прикатывании пшеницы

В третьей главе представлены программа и методика экспериментальных исследований. В программе представлены: схема, общий вид экспериментальной установки (рисунок 5), общая и частные методики применяемые в исследованиях. В исследованиях применялись методы классической механики, теории планирования многофакторного эксперимента, динамометрирования, математической статистики, расчета параметров на ПЭВМ по разработанным алгоритмам и программам с использованием пакетов прикладных программ Excel и MathCad.

Экспериментальные исследования выполняли в полевых условиях на посевах озимой пшеницы в учхозе «Кубань» Кубанского ГАУ с применением предлагаемой экспериментальной установки для посева пшеницы, внесения стартового и основного твердых минеральных удобрений и влагосберегающего прикатывания посевов спирально-винтовым катком (рисунок 5).

При агрооценке МПА использовались СТО АИСТ 4.2-2004 и СТО АИСТ 8.200-2004.



а



б

а – общий вид установки; б – конструктивно-технологическая схема
Рисунок 5 – Экспериментальная установка для проведения исследований:

Планированием эксперимента по плану Вк с построением гиперповерхностей и двумерных сечений оптимизированы параметры плотности почвы после прохода спирально-винтового катка, которая изменяется в зависимости от его массы и скорости движения. Установлены его оптимальные параметры и режимы работы.

При составлении плана эксперимента выбрали независимые факторы, исходя из предварительного изучения объекта исследования, а с учетом патентной и другой научно-технической литературы были выбраны управляемые факторы и уровни их варьирования (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Кодированный интервал	Уровни варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Скорость движения агрегата V , км/ч	x_1	4	4	8	12
Дополнительный груз G , кг	x_2	20	20	40	80

В качестве критерия оптимизации (отклика) принята плотность почвы в прикатанном слое, которая зависит от балластного груза на раме катка и рабочей скорости движения агрегата при определенной влажности почвы.

Уровни факторов выбрали таким образом, чтобы оптимальные их значения, рассчитанные теоретически или с учетом существующих ограничений, попадали в центр интервала варьирования.

После математической обработки экспериментальных данных получили следующее уравнение регрессии с действительными коэффициентами:

$$Y = D_0 + D_1 X_1 + D_2 X_2 + D_{12} X_1 X_2 + D_{11} X_{12} + D_{22} X_{22}, \quad (4)$$

где $D_0 = 0,463$; $D_1 = -0,14$; $D_2 = 0,062$; $D_{12} = 5 \cdot 10^{-4}$; $D_{11} = 7,813 \cdot 10^{-3}$; $D_{22} = -7,75 \cdot 10^{-4}$ – действительные значения коэффициентов уравнения регрессии.

Центр плана $X_1 = 8$ км/ч, а $X_2 = 40$ кг/м.

После преобразования действительных значений коэффициентов уравнения регрессии в нормализованные, учитывая уравнения перевода, получим:

Уравнения перевода

$$X_1 = \frac{X_1 - X_{01}}{\Delta_1}; \quad (5)$$

$$X_2 = \frac{X_2 - X_{02}}{\Delta_2}. \quad (6)$$

Нормализованные значения коэффициентов уравнения регрессии будут:

$$b_0 = 1,243; b_1 = 0,020; b_2 = 0,080; b_{12} = 0,040; \\ b_{11} = 0,125; b_{22} = -0,310.$$

После расчета коэффициентов проверяли гипотезу об их статистической значимости по критерию Стьюдента. Все коэффициенты уравнения регрессии оказались статистически значимыми.

Уравнения регрессии с нормализованными коэффициентами примет вид:

$$y = 1,243 + 0,020x_1 + 0,080x_2 + 0,040x_{12} + 0,125x_1^2 - 0,310x_2^2, \quad (7)$$

Проверку адекватности полученного уравнения провели по критерию Фишера, сравнивая полученное значение с табличным, оно не превышает его.

Дисперсию опыта определили из дополнительно проведенных опытов в центре плана в количестве 5 повторностей.

$$F_p < F_t, \quad 1,065 < 6,04. \quad (8)$$

Для нахождения оптимальных значений исследуемых факторов найдем частные производные уравнения (5) по факторам.

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dx_1} = 0,02 + 0,04x_2 + 0,25x_1 \\ \frac{dy_1}{dx_2} = 0,08 + 0,04x_1 - 0,62x_2 \end{cases}, \quad (9)$$

Решая систему линейных уравнений (9), находим координаты центра поверхности отклика.

$$x_1 = -0,1; \quad x_2 = 0,123.$$

Поскольку коэффициенты канонического уравнения регрессии имеют разные знаки, то поверхность отклика является гиперболиче-

ским параболоидом (рисунок 6), а центр фигуры называется седлом или минимакс.

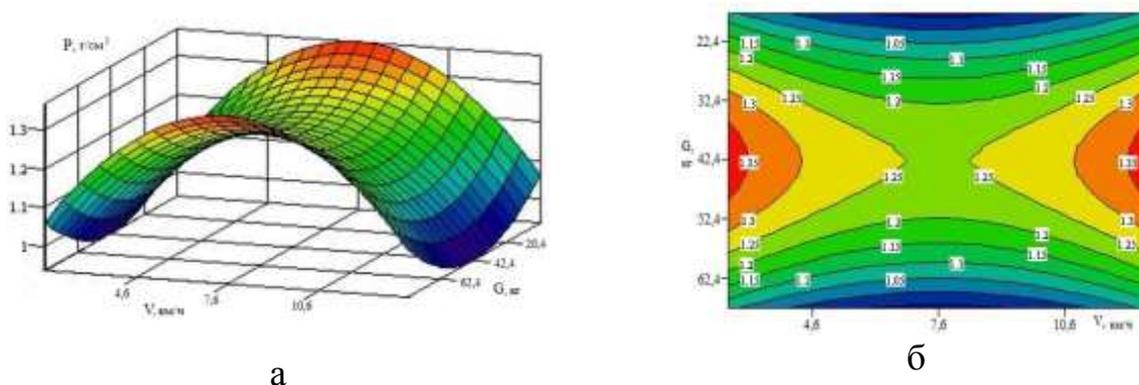


Рисунок 6 – Поверхность (а) и двумерное сечение (б) зависимости плотности почвы в посевном слое после прикатывания посевов озимой пшеницы от скорости движения агрегата и балластного груза на катке

Установлено, что центр эксперимента лежит в пределах эксперимента. Оптимальная плотность почвы в семенном ложе при посеве озимой пшеницы будет равной 1,25 г/см³ при скорости движения агрегата 7,6 км/ч и балластном грузе 42,4 кг.

Методика инженерного расчета основных характеристик многофункционального посевного агрегата (МПА) составлена по результатам теоретических и экспериментальных исследований. Она внедрена в учебный процесс по кафедре эксплуатации Кубанского ГАУ, а также может быть внедрена в производство при внедрении МПА.

Выбор состава агрегата и определение рабочей скорости его движения

В начале определим тяговое сопротивление МПА:

$$R = n(K_m \cdot B_p + G_n \sin \alpha) + R_{\text{сц}}, \quad (7)$$

где n – количество машин в агрегате; K_m – удельное тяговое сопротивление машин, кН; B_p – рабочая ширина захвата агрегата, м; G_n – вес машины, кН; $R_{\text{сц}}$ – тяговое сопротивление сцепки, кН.

Рациональная скорость агрегата определяется по формуле:

$$V_p = \frac{3,6 \cdot N_e \cdot \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)}{R_{\text{ар}} \cdot G_{\text{тр}} \cdot (1 \pm \sin \alpha)}, \quad (8)$$

где N_e – мощность двигателя, кВт; η_m – КПД трансмиссии трактора; δ – коэффициент буксования трактора; R_{ag} – тяговое сопротивление агрегата, кН; $G_{тр}$ – вес трактора, кН.

Теперь, зная ширину захвата агрегата B_p , рабочую скорость движения V_p , мощность двигателя трактора N_e и производительность агрегата W_1 , построим номограмму (рисунок 7), согласно которым можно подобрать параметры МПА, режим его работы и количество необходимых агрегатов для посева площади 1000 га за оптимальный срок сева озимых 10 дней при продолжительности рабочего дня 14 часов.

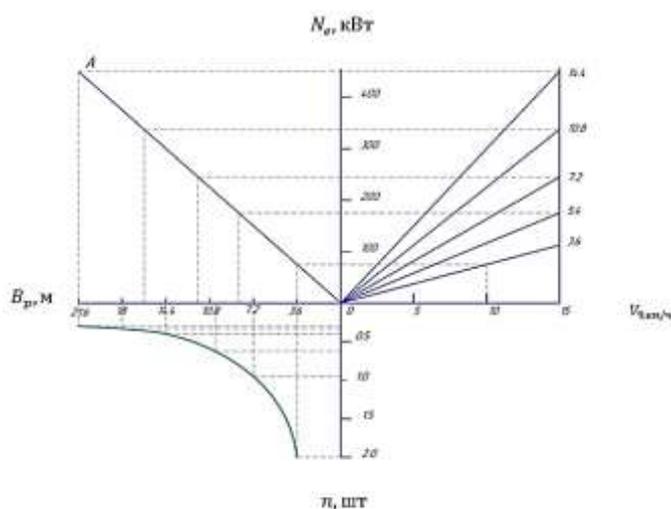


Рисунок 7 – Номограмма рационального использования МПА и режимов его работы

Четвертая глава содержит результаты экспериментальных исследований и их анализ: оптимальные параметры и режимы работы и экономическую эффективность результатов исследований.

На основании моделирования и оптимизации процесса МПА по разработанной математической модели обоснованы параметры

и режимы работы агрегата с использованием критерия оптимизации-минимум приведенных затрат на выполнение работы (таблица 2).

Анализ результатов расчета позволяет сделать вывод, что минимум критерия оптимизации $E_{min} = 1295,43$ руб./га, определяет оптимальные параметры агрегата (таблица 2) и режим работы (рабочая скорость движения посевного агрегата 10 км/ч). Оптимальная мощность двигателя трактора при работе с предлагаемым МПА составит на 67,9 кВт или 92,3 л. с.

Получена зависимость критерия оптимизации E от ширины захвата v_p МПА и скорости движения (рисунок 8). Оптимум E приходится на $v_p = 3,6$ м и рабочую скорость $v_v = 10$ км/ч. При других параметрах МПА затраты E возрастают.

Таблица 2 – Оптимальные параметры посевного МПА

Параметры МПА	Оптимальные значения
Ширина захвата β_p агрегата, м	3,6
Рабочая скорость движения V_p , км/ч	10,0
Мощность двигателя трактора N_e , кВт	67,9
Балансовая стоимость трактора C_B^T , тыс. руб.	2623,6
Емкость бункера сеялки V_B , м ³	3,0
Рабочая длина гона L_p , км	1,5
Время цикла работы МПА t_c , ч	0,332
Количество циклов работы за 7 ч, n_c	19,97 (20)
Время основной работы T_p в течение смены, ч	5,99
Коэффициент использования времени смены t	0,86
Производительность МПА за 1 час времени смены, га	3,1
Эксплуатационные затраты на выполнение работы МПА U_{Σ} , руб./га	894
Капиталовложение в МПА, K , руб./га	2675,95
Минимальные приведенные затраты E на выполнение работы МПА, руб./га	1295,43

Оптимизационные расчеты необходимы для обоснования технического уровня машин, особенно при сравнении с зарубежными. Анализ зависимости производительности W предлагаемого МПА от его ширины захвата v_p и скорости движения V_p позволяет сделать вывод об ее закономерном росте (рисунок 9) от увеличения скорости V_p и ширины захвата.

На основании моделирования процессов работы посевного МПА получены зависимости мощности двигателя трактора от рабочей скорости и ширины захвата агрегата (оператор 2 рисунок 3), производительности агрегата (оператор 10), а также эксплуатационных и приведенных затрат (операторы, соответственно 11 и 13 рисунок 3).

Моделирование рабочего процесса предлагаемого МПА и оптимизация его параметров позволяют сделать вывод о его высокой эффективности. Данный агрегат позволяет совместить три важные технологические операции: внесение основного и стартового удобрения,

посев зерновых колосовых и прикатывание посевов спирально-винтовым катком. При ширине захвата МПА 3,6 рабочей скорости движения 10 км/ч, мощности двигателя трактора 67,9 кВт обеспечиваются минимальные приведенные затраты на процесс 1295,43 руб./га.

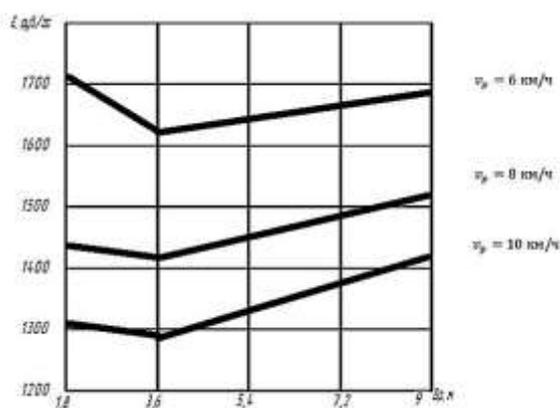


Рисунок 8 – График зависимости удельных приведенных затрат E от ширины B_p захвата МПА и скорости движения V_p

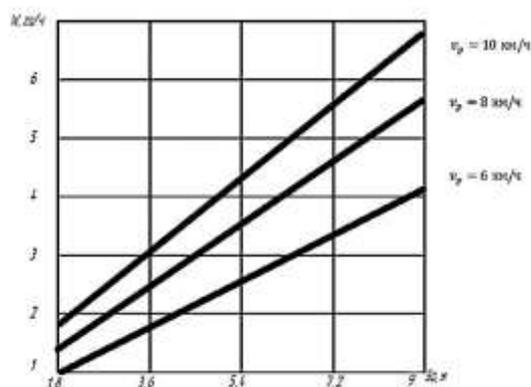


Рисунок 9 – Зависимость производительности посевного МПА от ширины захвата B_p и скорости движения v_p

С учетом полученной общей зависимости тягового сопротивления МПА (3-й арифметический оператор блок-схемы рисунок 3) установлены частные зависимости тягового сопротивления агрегата от его ширины захвата и скорости движения (рисунок 10).

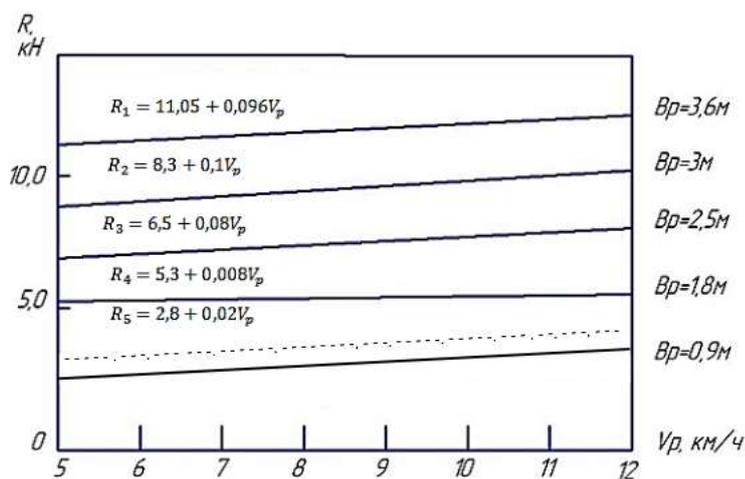


Рисунок 10 – График зависимости тягового сопротивления МПА от B_p и V_p

Тяговое сопротивление предлагаемого агрегата возрастает прямо пропорционально увеличению скорости движения и ширины захвата. Так для агрегата ширина захвата 3,6 м на скорости 5 км/ч тяговое сопротивление агрегата составило 11,05 кН, а на скорости 12 км/ч уже 12,2 кН. Коэффициент пропорциональности

в формуле при V_p равен 0,096. При минимальной ширине захвата 0,9 м на рабочей скорости 5 км/ч тяговое сопротивление агрегата было минимальным, и составило 2,8 кН.

Структура почвенного разреза на опытном участке (рисунок 11) наглядно показывает его преимущество по минеральному питанию и прикатыванию.

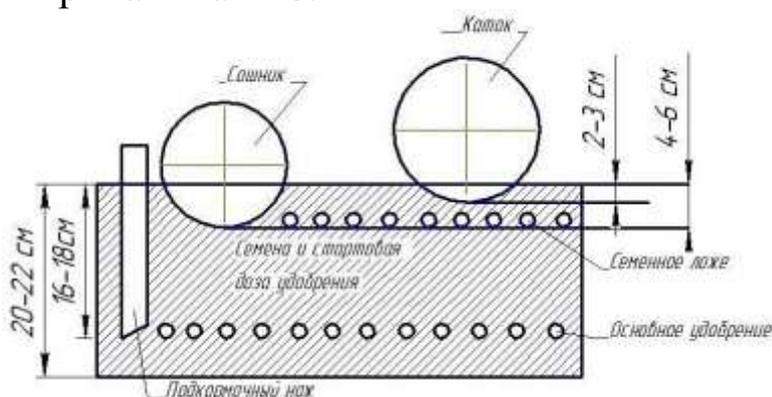


Рисунок 11 – Структура почвенного разреза на опытном участке

Согласно рисунку 11 семенное ложе на глубине 4–6 см. создается культиваторной лапой при предпосевной культивации на опыте и контроле одинаково. Далее, когда растениям требуется повышенная доза фосфора (уже в фазе выхода в трубку), на контроле скажется его недостаток.

При расчете экономической эффективности предлагаемого МПА в качестве базы для сравнения принята обычная существующая технология внесения удобрений, вспашки, посева и прикатывания, выполняемая однооперационными машинами. Расчеты эффективности выполнены по ГОСТ Р 53056-2008. Все показатели эффективности предлагаемой технологии с применением МПА более предпочтительны по сравнению с базовой: затраты труда на площади посева 400 га (по предшественнику люцерны в типичном хозяйстве Кубани) сокращаются с 684,5 чел.-ч до 372,6, или в 1,8 раза, эксплуатационные затраты, в 1,5, металлоемкость – в 1,6, энергоемкость – в 1,4 раза. Срок окупаемости 3,1 года без учета достоверной прибавки урожая зерна.

При расчете экономической эффективности предлагаемого МПА в качестве базы для сравнения принята обычная существующая технология внесения удобрений, вспашки, посева и прикатывания, выполняемая однооперационными машинами. Расчеты эффективности выполнены по ГОСТ Р 53056-2008. Все показатели эффективности предлагаемой технологии с применением МПА более предпочтительны по сравнению с базовой: затраты труда на площади посева 400 га (по предшественнику люцерны в типичном хозяйстве Кубани) сокращаются с 684,5 чел.-ч до 372,6, или в 1,8 раза, эксплуатационные затраты, в 1,5, металлоемкость – в 1,6, энергоемкость – в 1,4 раза. Срок окупаемости 3,1 года без учета достоверной прибавки урожая зерна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Разработана конструктивно-технологическая схема и макетный образец многофункционального посевного агрегата, обеспечивающего на примере озимой пшеницы совмещение операций посева, внесения основного и припосевного удобрения и влагосберегающего прикатывания.

2. По разработанной математической модели и алгоритму оптимизации параметров и режимов работы МПА согласно минималь-

ному значению критерия оптимальности приведенных затрат на процесс посева, прикатывания и внесения удобрений 1295,00 руб./га, установлена ширина захвата агрегата 3,6 м, рабочая скорость движения 5–12 км/ч, потребная мощность двигателя трактора 67,9 кВт, масса балласта катка 42,4 кг/м, емкость бункера сеялки 3,0 м³. При времени рабочего цикла 0,332 ч и коэффициенте использования времени смены 0,86 производительность МПА составила 3,1 га/ч.

3. Методом планирования двухфакторного эксперимента по плану Вк оптимизирована плотность почвы на посевах пшеницы и режим работы спирально-винтового катка. Оптимальная плотность почвы 1,25 г/см³ получена при оптимальной скорости движения агрегата 7,6 км/ч, массе балластного груза 42,4 кг/м и влажности почвы 16 %. В результате исследований установлена также функция плотности вероятностей почвы (уравнение 4), прикатанной спирально-винтовым катком и функция распределения вероятностей (рисунок 5).

4. Получены зависимости мощности двигателя от ширины захвата МПА и скорости движения, плотности почвы от массы катка и скорости движения. Адекватность зависимостей установлена критерием Фишера, расчетное значение которого было ниже табличного: для мощности двигателя $0,6 < 0,8$; для плотности почвы $0,7 < 0,9$; для тягового сопротивления катка $0,4 < 0,6$.

5. Оптимизацией параметров и режимов работы прикатывающего катка методом планирования двухфакторного эксперимента установлено, что центр эксперимента лежит в области оптимума, оптимальное значение плотности почвы составило 1,25 г/см³ при скорости движения 7,6 км/ч, балластном грузе на раме катка 42,4 кг и общей массе с катком 86,4 кг/м.

6. Согласно разработанной методике инженерного расчета определяется потребная мощность двигателя для МПА и рабочая скорость движения агрегата, а по предложенной номограмме – для любого состава агрегата и выбранной для него рабочей скорости можно определить производительность и необходимую потребность в машинах для посева озимых культур в оптимальные сроки.

7. Экономическая эффективность МПА по сравнению с раздельным выполнением технологических операций определялась для площади 400 га по ГОСТ Р 53056-2008. Установлено снижение эксплуатационных затрат с 1784,4 тыс. руб. до 1216,9, или в 1,5 раза,

затраты труда снижаются с 684,5 чел.-ч до 372,6 или в 1,8 раза; металлоемкость – в 1,6 раза, энергоемкость – в 1,4 раза. Ожидаемый годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат составит 567,5 тыс. руб., а срок окупаемости агрегата – 3,1 года без учета прибавки урожая.

Рекомендации производству

Предложенные в работе параметры рабочих органов и технологическая схема МПА могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке многофункциональных посевных агрегатов, а технология комплексного посева зерновых колосовых культур по вспаханному фону с одновременным внесением основного, припосевного удобрения и рационального прикатывания рекомендуется для внесения в сельхозпредприятиях АПК.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Принципы предлагаемого синтеза многофункциональных агрегатов за счет его составляющих из известных, высокоэффективных однооперационных, серийных машин могут быть использованы при разработке других видов многофункциональных агрегатов. Кроме того, для предлагаемого МПА необходимо усовершенствовать систему распределения отдельных видов удобрений по слоям вспаханного пласта в соответствии с агротребованиями: фосфорные туки необходимо вносить на дно борозды, азотные и калийные – по всему слою.

Основные положения диссертации опубликованы в базе данных *Web of Science* и *Scopus*

1. Evglevsky R. O. Rational system of multifunctional aggregates for mechanization of plant growing // Maslov G. G., Yudina E. M., Serguntsov A. S., Evglevsky R. O. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Т. 9. № 5. С. 1177–1185.

2. Evglevsky R. O. Grain Harvesting Mechanization: Disadvantages and Prospects. // Maslov G. G., Evglevsky R. O., Trubillin E. I., Lavrentyev V. P. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences 2018. Т. 9. № 2 . С. 543–570.

в изданиях из перечня ВАК

3. Евглевский Р. О. Энергосберегающая технология посева озимой пшеницы с одновременным внесением основного удобрения / Г. Г. Маслов, Р. О. Евглевский // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. – № 6. – С. 319–324.

4. Евглевский Р. О. Энергосберегающий агрегат для посева зерновых колосовых культур / Г. Г. Маслов, Р. О. Евглевский // Техника и оборудование для села. 2018. – № 12. – С. 12–13.

в периодических изданиях

5. Евглевский Р. О. Применение комбинированного дискового сошника зерновой сеялки // Р. О. Евглевский, В. П. Лаврентьев, О. В. Троций // Итоги научно-исследовательской работы за 2017 год. Материалы 73-й научно-практической конференции преподавателей 14 марта 2018 г., 2018. – С. 187–188.

6. Евглевский Р. О. Параметры и режимы работы многофункционального посевного агрегата / Р. О. Евглевский // Научное обеспечение агромышленного комплекса. Сборник статей по материалам XII Всероссийской конференции молодых ученых 5 февраля 2019 г., 2019. – С. 126–127.

7. Евглевский Р. О. Устройство для внесения стартового и основного удобрения одновременно с посевом // Р. О. Евглевский, В. П. Лаврентьев // Социально-экономическая эффективность использования земельных ресурсов в аграрной сфере экономики Республики Башкортостан: современное состояние и пути повышения. Сборник статей всероссийской научно-практической конференции. 2018 г. – С. 94–95.

8. Евглевский Р. О. Энергосберегающий агрегат для посева зерновых колосовых культур // Г. Г. Маслов, Р. О. Евглевский // Техника и оборудование для села. 2018. – № 12. – С. 12–15.

9. Устройство для внесения стартового и основного удобрения одновременно с посевом : пат. РФ № 178335 / Г. Г. Маслов, Е. И. Трубилин, Р. О. Евглевский ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – заявл. № 2017126693 от 25.07.2017 ; опул. 30.03.2018.

10. Евглевский Р. О. Сеялка зернотуковая широкозахватная мобильная : пат. РФ № 2675500 / Г. Г. Маслов, Е. И. Трубилин, Р. О. Евглевский ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – заявл. № 2017147186 от 29.12.2017 ; опул. 19.12.2018.

11. Евглевский Р. О. Машина для внесения минеральных удобрений : пат. РФ 2684310 / Г. Г. Маслов, В. В. Цыбулевский, Р. О. Ев-

глевский, С. Е. Колесник ; заявитель и патентообладатель
КубГАУ. – заявл. № 2018125553 от 11.07.2018 ; опубл. 05.04.2019.

Подписано в печать 00.00.2021. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.

Усл. печ. л. – 1,5. Уч.-изд. л. – 1,3.

Тираж 100 экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13