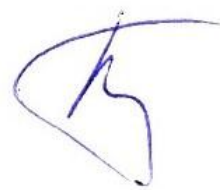


На правах рукописи



Пустоваров Никита Юрьевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ВЫСЕВА СЕМЯН ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск-наукоград РФ, 2020

Работа выполнена в лаборатории «Использования машинно-тракторных агрегатов» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, академик РАН
Завражнов Анатолий Иванович

Официальные оппоненты: **Крючин Николай Павлович,** доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет», кафедра «Механика и инженерная графика», заведующий
Киреев Иван Михайлович, доктор технических наук, Новокубанский филиал ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», заведующий лабораторией разработки испытательного оборудования, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится 23 декабря 2020 г. в 13 часов 30 минут на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, тел./факс (47545) 3-88-13, доб. 3-82, e-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» и на сайте www.mgau.ru, с авторефератом на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.minobrnauki.gov.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с подписью, заверенной печатью организации, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв, просим направить ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Н.В. Михеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В комплексе технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур важная роль принадлежит посеву. Главная задача размещения семян на поле – получение максимальной урожайности при минимальных затратах на возделывание культуры. Эту задачу стремятся решить применением сеялок точного высева, которые должны обеспечить равномерное распределение заданного количества семян по площади поля. Таким образом, при использовании сеялок точного высева повышаются требования к соблюдению заданной нормы высева. Поэтому разработка методов совершенствования контроля работы высевающих аппаратов пропашных культур является актуальной проблемой.

Работа выполнена в ФГБНУ ВНИИТиН по научно-исследовательской работе 0648-2014-0017 «Разработать новый метод технологического воздействия на почвенную среду и растения» по теме 2016...2018 гг.: «Разработать научно-обоснованные параметры модернизированного высевающего аппарата и усовершенствовать систему контроля высева семян пропашных культур».

Степень разработанности темы. Вопросам исследования процесса высева семян посвящены фундаментальные работы таких авторов, В.П. Горячкина, В.В. Василенко, В.С. Басина, В.А. Белодедова, Г.М. Бузенкова, С.А. Ма, В.П. Чичкина, А.И. Завражнова, В.А. Оришко, К.Р. Казарова, О.Н. Кухарева, К.З. Кухмазова, Н.П. Крючина, И.И. Гуреева и многих других, однако данные исследования проводились в отрыве от процесса контроля параметров работы посевного агрегата.

В области применения датчиков для контроля процесса высева значительный вклад внесли З.М. Коваль, И.М. Киреев, В.И. Скорляков, Н.К. Таригин, Ю.А. Тырнов и другие, однако эти исследования проходили в контексте испытательного оборудования, а не эксплуатируемых в производстве устройств.

Вопросы использования систем контроля высева непосредственно во время производственных процессов поднимались в работах В.Ю. Молофеева, В.Г. Черникова и других, однако, применение данных полученных для параметров зерновых культур не могут использоваться для пропашных культур.

Цель исследования – повышение эффективности посева семян пропашных культур за счет разработки устройства и методов контроля работы высевающих аппаратов.

Задачи исследования:

- провести анализ элементов системы контроля для обеспечения надежной и качественной работы пропашных сеялок;
- провести теоретические исследования геометрических и электрических параметров датчиков;
- провести лабораторные исследования датчиков высева и пути;
- обосновать местоположение элементов системы контроля, регистрирующих и отображающих параметры высева;
- провести полевые исследования экспериментальной системы контроля высева семян и определить качественные показатели высева семян;

– провести технико-экономический анализ использования систем контроля высева семян.

Объект исследования – процесс перемещения семян пропашных культур от высевающих аппаратов и их взаимодействие с емкостным датчиком высева.

Предмет исследования – закономерность регистрации семян пропашных культур емкостным датчиком после их отрыва от диска высевающего аппарата.

Научная новизна результатов работы:

– разработана математическая модель перемещения семян в полости сошника после отрыва семян, выведены уравнения траектории полета семян с учетом влияющих факторов;

– определены электрические параметры семян различных культур, влияющие на работу емкостных датчиков высева;

– обоснованы параметры емкостных датчиков высева системы контроля и их расположение в сошниках.

Теоретическая и практическая значимость работы. По результатам теоретических исследований определены траектории движения семян в сошниках механических и пневматических высевающих аппаратах после отрыва семени от высевающего диска и электрические параметры датчиков высева.

Полученные результаты исследований послужили основой для создания системы контроля высева семян, позволяющей повысить качество посева, разработаны рекомендации по совершенствованию высевающих аппаратов сеялок пропашных культур и методические рекомендации по эксплуатации системы в хозяйствах.

Теоретическая и практическая значимость работы подтверждена патентами РФ на изобретения № 2685733 и № 2681570, а также свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614821.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования по обоснованию процессов полета семян в полости сошника проводились на основании известных законов математики и теоретической механики. Обоснование математических моделей полета семян проводилось на основании базовой аэродинамики и баллистики. Теоретические исследования и обоснования параметров емкостных датчиков высева и индуктивных датчиков пути основаны на известных законах электродинамики. Лабораторно-стендовые исследования проводились на специальных стендах лаборатории использования машинно-тракторных агрегатов ФГБНУ ВНИИТиН. Обработка результатов исследований проводилась методами математической статистики с использованием ЭВМ программами MathCad и Microsoft Excel. Производственные испытания систем контроля высева семян проводились в реальных условиях эксплуатации техники в колхоз-племенном заводе им. Ленина Тамбовского района, Тамбовской области.

Положения, выносимые на защиту:

1) Результаты математических исследований траектории падения семян в процессе высева.

2) Результаты исследования электрических параметров семян пропашных культур и предлагаемых датчиков.

3) Результаты экспериментальных исследований режимов отдельных элементов системы контроля и производственных испытаний системы контроля в целом.

4) Техничко-экономическая оценка результатов исследований.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований системы контроля высева семян внедрены на выпускаемых ОАО «Белгородский завод Ритм» пропашных сеялках различных модификаций, а также, используются в колхоз-племенном заводе им. Ленина Тамбовского района.

Степень достоверности и апробации работы.

Достоверность подтверждена достаточным количеством выполненных экспериментов, использованием современных методик, приборов и оборудования, схождением результатов, полученных теоретическими и экспериментальными исследованиями, внедрением полученных результатов в производство, выступлениями с докладами на конференциях с результатами исследований одобрением и их публикацией в ведущих журналах, совпадением результатов исследований с результатами работ других авторов, занимающихся данной тематикой.

Материалы диссертационных исследований докладывались и обсуждались на I Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности и экологические аспекты использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве» (г. Тамбов, ФГБНУ ВНИИТиН, 2016 г.), Международной научно-практической конференции, посвященной году экологии в России и 80-летию Тамбовской области «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» (г. Тамбов, 2017 г.), XX Международной научно-практической конференцией «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для АПК» (г. Тамбов, 2019 г.), Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные технологии и техника в АПК» (г. Мичуринск, МичГАУ, 2016 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 13 печатных работ общим объемом 6,23 печ. л., в том числе 3 в изданиях ВАК РФ. Лично автору принадлежит 3,35 печ. л. Получены 2 патента РФ на изобретения, а также свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационные исследования соответствуют паспорту научной специальности 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства», п. 7 (разработка методов оптимизации конструктивных параметров и режимов работы технических систем и средств в растениеводстве и животноводстве по критериям эффективности и ресурсосбережения технологических процессов.), п. 10 (разработка и совершенствование методов, средств испытаний, контроля и управления качеством работы средств механизации производственных процессов в растениеводстве и животноводстве).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, заключения, списка используемой литературы из 99 наименования. Работа изложена на 102 страницах, содержит 28 рисунков и 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели, задачи, объект и предмет исследования, научная новизна работы, обозначена теоретическая и практическая значимость работы, выбраны методы исследований и обозначены принципы получения достоверных и обоснованных результатов, обозначен личный вклад автора и приведены структура и объем работы.

В **первой главе** «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» на основе анализа научных работ и обобщения передового опыта дана оценка состояния развития систем контроля высева семян, обозначено значение контроля в процессе высева, приведена классификация высевающих аппаратов посевных машин, выбраны и обоснованы показатели работы, подлежащих контролю, а также проведен обзор отдельных элементов систем контроля, а также самих систем контроля, сформулированы цель и задачи исследований.

На основе обзора и анализа оптимальным датчиком для систем контроля высева семян пропашных культур является емкостной, в виду его высокой разрешающей способности, чувствительности, работоспособности в условиях сильной запыленности, устойчивости к помехам, возникающим при работе посевного агрегата.

Во **второй главе** «Теоретические исследования» были сформулированы основные требования к качеству процесса высева, требования по равномерному продольному распределению заданного количества семян в рядах и расположением прямыми рядами с одинаковой шириной междурядий.

Технологический процесс подачи семян на семенное ложе можно разделить на несколько взаимосвязанных этапов. Ввиду конструктивных особенностей сеялок и чувствительных элементов систем контроля высева, а также особенностей обработки данных, контроль на каждом этапе не является необходимым, поскольку отказы, возникающие на предшествующих этапах, всегда отражаются на последующих. Таким образом, можно исключить контроль на некоторых этапах.

Для определения достаточной длины чувствительной зоны датчика высева было проведено теоретические исследования траектории полета семян с момента их отрыва от диска высевающего аппарата до чувствительных пластин датчика для механического и пневматического высевающих аппаратов.

Координаты траектории полета семени без учета силы сопротивления воздуха выражается известными зависимостями.

$$\begin{cases} x = V_0 \cdot t \\ y = y_0 - \frac{g \cdot t^2}{2}, \text{ м.} \end{cases} \quad (1)$$

После проведения алгебраических преобразований в окончательном виде уравнение теоретической траектории полета семени с учетом силы сопротивления воздуха может быть представлено следующим образом:

$$y = \frac{\left(\sqrt{V_{0x}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \frac{\omega^2 \cdot r^2 \cdot \pi^2}{900} - C_x \cdot \text{м} \cdot \rho \cdot V_x^2 \cdot S_{\text{mid}} \cdot x - \frac{\text{м}^2 \cdot \omega \cdot r \cdot \pi}{15}} \right)^2}{128 \cdot \text{м}^3} (C_x \cdot \rho \cdot V_y^2 \cdot S_{\text{mid}} - 4 \cdot \text{м} \cdot g), \text{ м} \quad (2)$$

где $c_x = 0,4$ – коэффициент лобового сопротивления (для семян шарообразной формы), ρ – плотность воздуха, кг/м^3 , S_{mid} – площадь поперечного сечения

семени, m^2 , V_{0x} – начальная скорость по оси x , м/с, V_y – скорость семени по оси y , м/с, V_x – скорость семени по оси x , м/с, x – координата семени по оси x , м, m – масса семени, кг, r – радиус высевающего диска, м, ω – окружная скорость диска, рад/сек.

На рисунке 1 представлены результаты расчетов траектории семян сои для пневматического и механического высевающих аппаратов с учетом силы сопротивления воздуха.

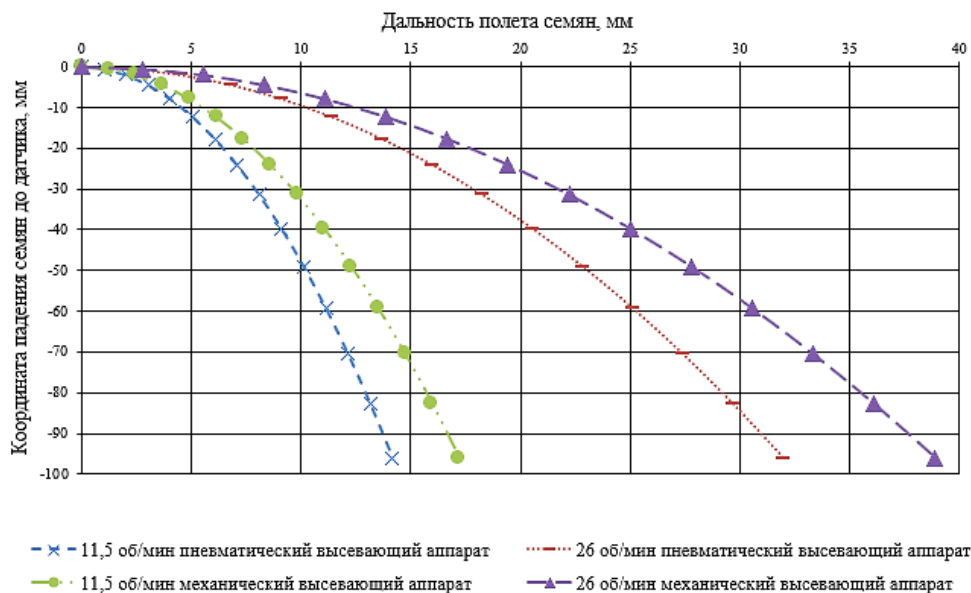


Рисунок 1 – Траектория полета семян для пневматического и механического высевающих аппаратов

Согласно проведенным расчётам, при условии одинаковой частоты вращения дисков, были получены следующие данные: на расстоянии 50 мм от точки отрыва минимальное смещение было получено для пневматического высевающего аппарата 10,3 мм и 12,5 мм для механического высевающего аппарата. Максимальное значение составляет 23,3 мм для пневматического и 28,3 мм для механического высевающего аппарата. Отличия, полученные для разных типов высевающих аппаратов, обоснованы различным радиусом дисков, а не их типом. Влияние размеров и массы семян является минимальным, ввиду малого размера семян и относительно малой скорости движения в момент отрыва от диска высевающего аппарата.

Разрабатываемый датчик высева должен подходить для определения пролета семян различного размера. Семена люпина обладают самыми большими размерами среди семян пропашных культур, высеваемых в Тамбовской области, диаметр семян в поперечнике может достигать до 15 мм. Соответственно, расстояние между обкладками датчика должно обеспечивать беспрепятственный пролет семян. Таким образом за требуемое минимальное расстояние между обкладками было принято расстояние равное 20 мм.

Кроме того, датчик должен обеспечивать надежную регистрацию движения семян самых маленьких размеров, при учете минимального расстояния между пластинами.

Емкость конденсатора вычисляется по формуле:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S/d, \quad (3)$$

где C – емкость, Ф, ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м, ε – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м, S – площадь конденсатора, м², d – расстояние между обкладками конденсатора, м.

Достаточным условием для надёжного срабатывания датчика является изменение емкости на 5 %. Таким образом, при полученных в ходе расчетов параметрах датчика: длина чувствительной зоны 50 мм, с учетом удлинения на 66 % для обеспечения контроля, в случаях несвоевременного выпадения семян из ячеек, и расстоянии между пластин 20 мм, соответственно высота чувствительной зоны должна составлять 5 мм.

Изменение емкости, происходящее при пролете семян моркови, как семян самых мелких размеров, согласно формуле (3) составляет 0,008 пФ. При приведенных параметрах изменение емкости будет составлять 6,6 %, что является достаточным для надежной регистрации пролета семян через датчик.

Для расчета разрешающей способности были взяты конструктивно-режимные параметры высевающих аппаратов сеялок различных типов на агротехнически допустимых режимах их работы. Количество отверстий на диске варьируется от 15 до 60, обороты диска – в пределах от 11,5 до 26 об/мин. В приведенных условиях, время между пролетом двух семян составит от 26 мс до 345 мс, в зависимости от количества отверстий на диске и частоты вращения диска высевающего аппарата.0

Интервальное размещение семян в рядке и норма их высева определяются из условия движения посевного агрегата. За время его движения t , определяемого выражением:

$$t = \frac{\pi \cdot \varphi_0}{\varphi_d \cdot \omega_d}; \text{ или } t = \frac{L_2}{V_c} = \frac{L_2}{\omega_k \cdot R_k}, \quad (4)$$

где L_2 – горизонтальная проекция траектории движения колеса сеялки, м; t – время движения, с, V_c – скорость движения, м/с, φ_0 – угол между соседними отверстиями на диске, °, R_k – радиус опорно-приводного колеса, м, $R_k = f\{P_k\}$, P_k – давление в шине опорно-приводного колеса, МПа, ω_k – частота вращения колеса, рад/сек.

Количество высеянных семян составит:

$$Q = \frac{\pi \cdot \varphi_0}{\varphi_d \cdot \omega_d \cdot b_p} \cdot n_n [f(d_{отв}, P_v, c_1)], \text{ шт.} \quad (5)$$

где b_p – интервал, м, n_n – число присосавшихся семян к одному отверстию, шт., $d_{отв}$ – диаметр отверстия высевающего диска, м, P_v – давление в пневматической системе, МПа, c_1 – конструктивный параметр съемных устройств.

Действительная норма высева семян определится выражением:

$$H = \frac{Q}{L_2} = \frac{\pi \cdot \varphi_0 \cdot n_n [f(d_{отв}, P_v, c_1)]}{\varphi_d \cdot \omega_d \cdot b_p} \cdot \frac{(1-\delta) \cdot R_k \cdot \varphi_k + \cos(\varphi_k - 1)}{V_c}, \text{ шт./м} \quad (6)$$

$$H = \frac{\pi \cdot \varphi_0 \cdot n_n [f(d_{отв}, P_v, c_1)] \cdot \omega_k \cdot R_k}{\varphi_d \cdot \omega_d \cdot b_p \cdot [(1-\delta) \cdot R_k \cdot \varphi_k + \cos(\varphi_k - 1)]} \text{ шт./м} \quad (7)$$

Интервальное размещение семян выразится уравнением вида:

$$b_p = \frac{\pi \cdot \phi_0 \cdot n_n [f(d_{омб}, P_в, c_1)] \cdot \omega_k \cdot R_k}{\phi_\delta \cdot \omega_\delta \cdot H \cdot [(1-\delta) \cdot R_k \cdot \phi_k + \cos(\phi_k - 1)]} \geq H_a \cdot B \quad (8)$$

$$b_p = \frac{\pi \cdot \phi_0 \cdot n_n [f(d_{омб}, P_в, c_1)] \cdot \omega_k \cdot R_k}{\phi_\delta \cdot \omega_\delta \cdot H \cdot [(1-\delta) \cdot R_k \cdot \phi_k + \cos(\phi_k - 1)]} \quad (9)$$

где H – количество высеваемых семян на 1 м, шт./м, H_a – агротехнически обоснованная норма посева, шт./м, B – всхожесть семян, %, ϕ_k – угол поворота колеса за время t , °, δ – буксование (проскальзывание) колеса сеялки.

Поток семян, создаваемый высевующим аппаратом, не является постоянным. Плотность потока, которую характеризуют количеством семян, приходящихся на единицу длины ряда или интервала, является случайной величиной, так как она зависит от большого количества случайных воздействий.

Из экспериментальных исследований известно, что интервал между пролетом отдельных семян в полости сошника за время t_i является случайной величиной, функция распределения которого описывается показательным законом:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (10)$$

где принято, что λ – интенсивность посева, а сам поток семян является простейшим, т.е. удовлетворяет требованиям: ординарности, стационарности и отсутствию последствия.

Проведя алгебраические преобразования получим формулу Пуассона:

$$P_j(t) = \frac{(\lambda t)^j}{j!} e^{-\lambda t} \quad (11)$$

Датчик, находящийся в высевующей секции, контролирует пролет семян с некоторой вероятностью, так как индицирует не все семена, а только те, которые попадают в его активную зону фиксированной длины. Если за время t пролетело j зерен, то вероятность события, что в зоне действия датчика пролетит k семян ($k < j$) равна:

$$P_{j,k}(t) = C_j^k p^k (1-p)^{j-k}, \quad (12)$$

где C_j^k – число сочетаний из j по k , p – вероятность индикации семян датчиком, по результатам тарировки или расчета. Вероятность $P_k(t)$ того, что за время t датчик зарегистрирует k семян с учетом выражения определим по формуле полной вероятности:

$$P_k(t) = \sum_{j=k}^{\infty} P_j(t) C_j^k p^k (1-p)^{j-k}. \quad (13)$$

Подставляя в (13) значение $P_j(t)$ из выражения (11) и проделав алгебраические преобразования получим:

$$P_k(t) = \sum_{j=k}^{\infty} \frac{(\lambda t)^j}{j!} e^{-\lambda t} \cdot \frac{j!}{k!(j-k)!} \cdot p^k (1-p)^{j-k} = \frac{(p\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda p t} \quad (14)$$

Это выражение определяет вероятность регистрации k семян датчиками посева при заданной интенсивности посева семян и известном p датчика.

Для случая $k=0$ это выражение будет равно:

$$P\{t_c > t\} = P_{k=0}(t) = e^{-\lambda p t} \quad (15)$$

и функция распределения $F_{t_c}(t)$ определится как:

$$F_{t_c}(t) = 1 - P(t_c > t) = 1 - e^{-\lambda p t} \quad (16)$$

Таким образом, можно утверждать, что интервалы между сигналами от датчика распределены по показательному закону с параметром $p\lambda$.

В **третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа исследований, условия проведения экспериментов, характеристика объектов исследований, приборы и аппаратура, схемы экспериментов и техника их проведения, методика обработки результатов опытов.

Лабораторные исследования параметров высева проводили в лаборатории «Использование МТА» ФГБНУ ВНИИТиН на специально изготовленной установке, рисунок 2.

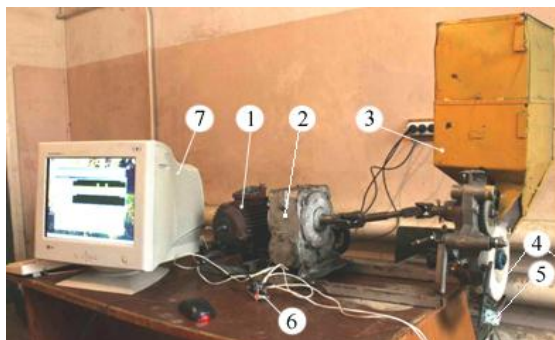


Рисунок 2 – Экспериментальная установка

для исследования высевающего аппарата и системы контроля высева семян:

1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – высевающий аппарат;
4 – высевающий диск; 5 – датчик высева семян; 6 – приставка к ЭВМ; 7 – ЭВМ

При поведении лабораторных исследований датчика использовался экспериментальный датчик высева, рисунок 3.

Емкостной датчик 5 устанавливался на штатив 3 под высевающим диском 2 установки с возможностью изменения расстояния до его боковой поверхности, траектория полета семян 1 визуально определялась по координатной сетке 4.

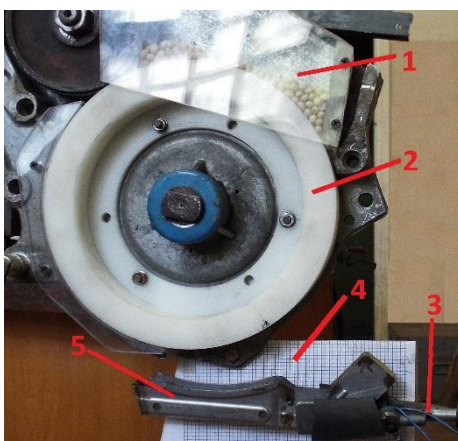


Рисунок 3 – Экспериментальная установка

для определения параметров ёмкостного датчик высева семян

Конструкция датчика и способ его установки позволяли изменять расстояние между чувствительными пластинами в зоне пролета семян и его местоположение относительно высевающего диска.

Приспособление для исследования местоположения датчика высева относительно высевающего диска состоит из штатива, с закрепленным в нем датчиком

высева, который выставлялся по угломеру на определенный угол относительно горизонта: 0°; 22,5°; 45° и 67,5°. Семена кукурузы, сахарной свеклы (дражированные), подсолнечника, люпина, сои, гороха и моркови (дражированные) пролетали между чувствительными пластинами датчика с определенной высоты. Фиксировали продолжительность импульса в миллисекундах от пролета различных семян с помощью ЭВМ при установленных положениях датчика.

Определение траектории полета семян, выпавших из ячеек экспериментальных дисков, в зависимости от частоты их вращения, осуществляли на установке, представленной на рисунке 3. Полученные видеоматериалы обрабатывались на ЭВМ по специально разработанной методике, в результате которой определялись координаты траектории отдельного семени в конкретный момент времени через чувствительные пластины датчика, рисунок 4. Фиксация координат осуществлялась на сетке, нанесенной на листе с шагом 3 мм, который размещался в полости и ниже сошника.



Рисунок 4 – Экспериментальная траектория полета семян

Для выявления гарантированного срабатывания датчика при пролете семени между чувствительными пластинами определялась относительная диэлектрическая проницаемость (C_0) исследуемых семян посредством измерения емкости датчика (конденсатора). Для этого измерялась емкость датчика (конденсатора) при размещении семени определенной культуры. Вычислялось среднее значение диэлектрической проницаемости для семян каждой культуры.

Для выявления местоположения индуктивного датчика пути на сеялке и обоснования его конструктивных и размерных характеристик были проведены исследования на специально изготовленном экспериментальном стенде, рисунок 5. Определялось расстояние между торцом стержня индуктивной катушки 2 и головками болтов 3, их количество на диске имитирующего ступицу 5 приводного колеса сеялки.

Для обработки опытных данных использовали пакет программы Excel и MathCAD. При этом определяли среднеарифметическое значение величины распределения семян, среднее квадратическое отклонение, определяли коэффициент вариации и показатель точности опыта. Оценка приближения реального распределения к аппроксимирующему закону случайной величины (интервалов между семенами) осуществлялась с использованием критерия согласия Пирсона.

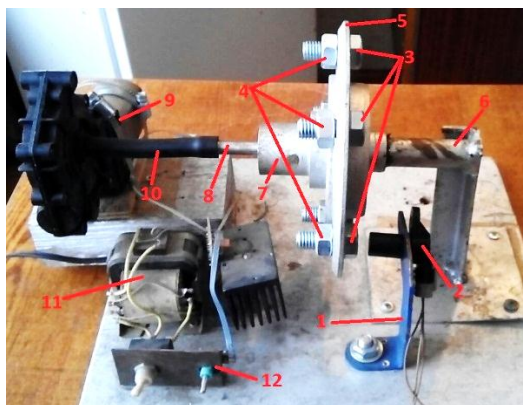


Рисунок 5 – Экспериментальный стенд для исследования индуктивного датчика пути

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты лабораторных и полевых исследований.

По результатам лабораторно-стендовых исследований определено, что расстояние между чувствительными пластинами датчика при пролете исследуемых семян культур не должно превышать 20 мм. Среднее время пролета семян различных культур (люпин, кукуруза, соя, драже сахарной свеклы, подсолнечник, горох, драже моркови) от угла установки датчика (0° ; $22,5^\circ$; 45° и $67,5^\circ$) составляло от 8 до 23 миллисекунд. Наименьшие значения были получены при горизонтальной установке датчика относительно высевающего диска, данные обработки представлены на рисунке 6.

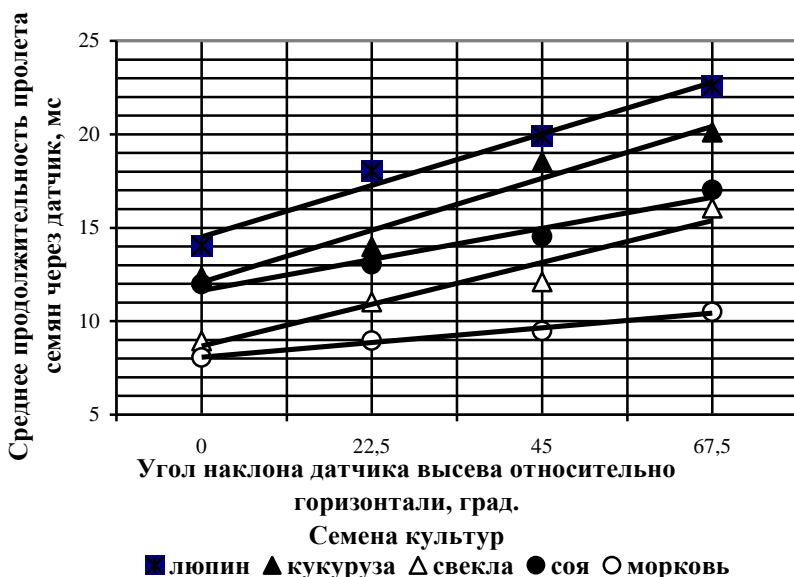
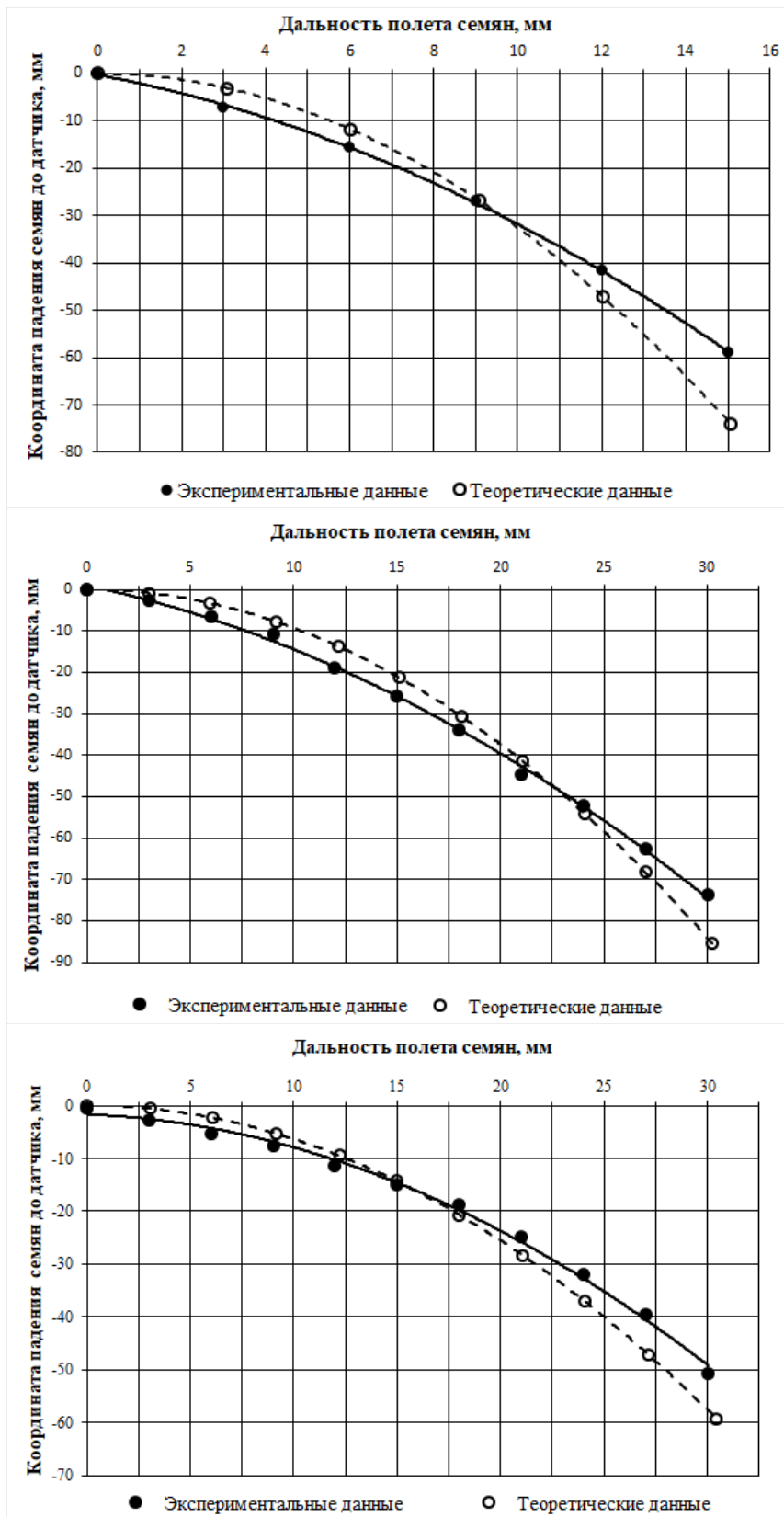


Рисунок 6 – Зависимость среднего времени пролета семян различных культур через чувствительную зону датчика в зависимости от угла его установки

В ходе исследований были получены экспериментальные траектории полета семян сои, полученные с помощью видеосъемки и обработанные по известной методике при фиксированной частоте вращения высевающего диска и изменяемой высоте установки датчика относительно боковой поверхности диска. На рисунке 7 представлены графики с экспериментальными и теоретическими траекториями

полета семян сои. Сходимость расчетных и экспериментальных данных следует расценивать как вполне удовлетворительную; расхождение составляет не более 6-8 %, что находится в пределах погрешности эксперимента.



а) 11,5 об/мин
Уравнение
аппроксимации:
 $y = -0,1482x^2 - 1,6711x - 0,2893$
 $R^2 = 0,9998$

б) 21,5 об/мин
Уравнение
аппроксимации:
 $y = -0,0485x^2 - 1,0564x + 0,9671$
 $R^2 = 0,9993$

в) 26 об/мин
Уравнение
аппроксимации:
 $y = -0,0479x^2 - 0,1421x - 1,7104$
 $R^2 = 0,9962$

Рисунок 7 – Экспериментальные и теоретические траектории полета семян сои при различных частотах вращения высевающего диска

При установке датчика в сошнике на расстоянии от высевающего диска в 50 мм, длина его чувствительной зоны увеличивается от 13 мм при частоте вращения высевающего диска 11,5 об/мин до 30 мм при частоте вращения диска 26 об/мин. По агротехническим требованиям скорость посевного агрегата при использовании механических сеялок должна быть не более 6 км/ч, при которой, частота вращения высевающего диска не должна превышать 26 об/мин. Для надежной регистрации семян, несвоевременно выпадающих из высевающего диска, необходимо также увеличить длину чувствительной зоны датчика посева до 50 мм, что составит 66 %.

Экспериментальными исследованиями установлено, что для надежного срабатывания индуктивного датчика пути зазор между торцом датчика и головками болтов на диске экспериментальной установки (приводного колеса сеялки), который должен быть не более 2 мм. При проведении полевых испытаний разработанной системы контроля сеялки агрегатировались с пропашными тракторами тягового класса 1,4.

В комплект системы контроля входит индуктивный датчик пути (рисунок 9 (а)), жгут проводов по сеялке, кабельная разводка, соединяющая сеялку с кабиной трактора, и предназначена для передачи сигнала к контроллеру и отображения информации нормы посева семян, подачи звукового и светового сигнала механизатору, в случае технологического отклонения от нормы посева семян или технического отказа сеялки, а также для подачи звукового и светового сигнала в случае отклонения скорости сеялки от заданных пределов 5-12 км/ч. Питание системы контроля осуществляется от бортовой сети трактора.

В полости сошника высевающего аппарата устанавливается датчик посева семян емкостного типа, рисунок 8 (б).



а) Рисунок 8 – Индуктивный датчик пути (а)
и датчик посева семян емкостного типа (б)

Контроллер с микропроцессором устанавливается в кабине трактора, в удобном для визуального наблюдения механизатором месте, а кабель, соединяющий сеялку с кабиной трактора, укладывают таким образом, чтобы он не подвергался механическому воздействию движущихся частей трактора и сеялки (рисунок 9).



Рисунок 9 – Контроллер

При работе сеялки, оснащенной системой контроля, необходимо придерживаться такой скорости движения посевного агрегата, при которой отсутствует непрерывный звуковой сигнал и визуальный сигнал об отклонении от запрограммированного интервала скорости. Через определенное количество оборотов колеса, происходит изменение показаний нормы высева. В случае нормальной работы посевного агрегата звуковой сигнал отсутствует, а на информационном табло будет происходить изменение показаний нормы высева семян в штуках на 1 м. пути.

Посев семян сахарной свеклы 12-ти рядными и 24-х рядными сеялками, кукурузы и подсолнечника 16-ти рядными сеялками точного высева, оснащенной системой контроля осуществлялся по установленным нормам высева в пределах запрограммированных интервалов их изменения.

В **пятой главе** «Экономическая оценка системы контроля высева семян» была проведена оценка экономической эффективности использования системы контроля высева семян.

Применение системы контроля высева семян позволяет сократить пропуски на 5 % и увеличить сбор корнеплодов на одном гектаре почти на 3 тонны, а также сократить количество двойников на 4,2 % и увеличить урожайность корнеплодов относительно сравниваемого варианта на 2-3 % или в натуральном выражении почти на 1 тонну корнеплодов.

Таким образом, оснащение 12-ти рядной сеялки системой контроля высева семян позволит хозяйству с урожайностью корнеплодов в 450 ц/га при их продаже по цене в 2000 руб. за тонну дополнительно получить около 17 тыс. рублей в расчете на 1 га уборочной площади сахарной свеклы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании выполненного анализа элементов системы контроля высева семян пропашных сеялок, определено что для контроля процесса высева семян необходимо применять датчики емкостного типа, которые обладают низкой чувствительностью к пыли, высокой помехозащищенностью и высокой надежностью. Для контроля скорости движения посевного агрегата целесообразно

применять индуктивные датчики пути, обладающие высокой надежностью, высокой чувствительностью и срабатыванием.

2. По результатам теоретических исследований:

– определены координаты траектории полета семян с момента их отрыва от диска высевающего аппарата до чувствительных пластин датчика высева при его установке на расстоянии 50 мм от точки отрыва: смещение траектории у пневматического аппарата варьировало в пределах 10,3-23,3 мм, а механического высевающего аппарата 12,5-28,3 мм, при частоте вращения диска от 11,5 до 26 об/мин;

– определены параметры чувствительной зоны датчика высева длина не менее 30 мм, высота не менее 5 мм и расстояние между пластинами не менее 20 мм.

– для обеспечения надежной регистрации семян пропашных культур датчиком высева было определено изменение емкости датчика, возникающее при пролете семян через чувствительную зону датчика, составляющее 0,008 пФ для семян моркови, как семян наименьшего размера, что составляет 6,6 % от емкости датчика;

3. В результате экспериментальных исследований подтверждены теоретические положения по функционированию усовершенствованной системы контроля высева семян и установлены оптимальные параметры и режимы работы:

– для надежной фиксации пролета семян различных культур через датчик высева при его установке на расстоянии 50 мм от точки отрыва семян от диска высевающего аппарата оптимальные размеры его чувствительной зоны должны иметь следующие значения: длина пластин не менее 50 мм для надежной регистрации семян несвоевременно выпавших из отверстий высевающего диска, их высота не менее 5 мм, а расстояние между пластинами не должно превышать 20 мм. При этом смещение семян от точки отрыва семян от диска высевающего аппарата на расстоянии 50 мм варьировала от 13 мм до 30 мм при частоте вращения диска от 11,5 об/мин до 26 об/мин;

– средняя продолжительность пролета исследуемых семян культур в зависимости от угла установки относительно горизонтали в пределах от 0° до 67,5° варьировала от 8 до 23 мс;

– для надежного срабатывания индуктивного датчика пути зазор между его торцом и головками болтов на диске опорно-приводного колеса не должен превышать 2 мм.

4. Использование усовершенствованной системы контроля высева семян на пропашных сеялках позволит значительно сократить затраты труда, повысить качество работы и производительность посевных агрегатов за счет постоянного информирования механизатора о процессе посева, технологических и технических отказах сеялок, а также повысить эффективность контроля оператором процесса посева. Согласно проведенным исследованиям, использование систем контроля высева семян позволяет снизить отклонение агротехнического шага посева от фактического среднего интервала распределения растений в рядке с 16,0 % до 9,3 %, пропуски посева с 15,6 % до 9,3 % и повысить точность посева с 66,0 % до 85,2 %.

5. Использование усовершенствованной системы контроля высева семян, при установке на 12-ти рядную сеялку позволяет хозяйству получить дополнительно до 17 тыс. рублей на 1 га уборочной площади сахарной свеклы, при урожайности в 450 ц/га и при цене в 2 тысячи рублей за тонну.

Рекомендации производству. Полученные результаты рекомендуется использовать при разработке, проектировании и изготовления новых, высокотехнологичных и высокоэффективных средств контроля работы посевных агрегатов.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Дальнейшее совершенствование полученных методов и средств контроля в части улучшения надежности и повышения информативности, а также внесение дополнительных параметров контроля позволит обеспечить более высокое качество работы посевных агрегатов пропашных культур и, как следствие, повысить эффективность их использования.

Автор считает своим долгом выразить сердечную благодарность научному руководителю, академику РАН, доктору технических наук, профессору А.И. Завражнову, докторам технических наук А.Н. Зазуле, В.В. Острикову, кандидатам технических наук А.В. Балашову, А.А. Синельникову, С.Г. Хайруллиной и С.П. Стрыгину, инженеру лаборатории «Использования МТА» ФГБНУ ВНИИТН А.В. Крищенко за помощь в постановке задач и проведении экспериментальных исследований, организации широкой производственной проверки и внедрении результатов исследований по теме диссертации.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Пустоваров, Н.Ю.** Система контроля высева семян / А.И. Завражнов, Н.Ю. Пустоваров, А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.В. Крищенко // Сельский механизатор, № 12, 2017. – С. 18-21.

2. **Пустоваров, Н.Ю.** Разработка и обоснование параметров ёмкостного датчика высева семян пропашных культур / А.И. Завражнов, А.Ю. Измайлов, Н.Ю. Пустоваров // Сельскохозяйственные машины и технологии, Т. 13, № 2, 2019. – С. 4-9.

3. **Пустоваров, Н.Ю.** Модернизированная система контроля высева / А.И. Завражнов, А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.В. Крищенко, Н.Ю. Пустоваров // Наука в центральной России, № 2, 2019. – С. 53-60.

Публикации в сборниках докладов и материалах международных научно-практических конференций, и других изданиях:

4. **Пустоваров, Н.Ю.** Производственное использование сеялок для пропашных культур с системой контроля высева семян / А.И. Завражнов, А.В. Балашов, А.В. Крищенко, Н.Ю. Пустоваров // Повышение эффективности и экологические аспекты использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, 6-7 октября 2016 года, г. Тамбов: Изд-во Першина Р.В. – С. 125-129.

5. **Пустоваров, Н.Ю.** Контроль высева семян на пропашных сеялках / А.В. Балашов, Н.Ю. Пустоваров // Интеллектуальные технологии и техника в АПК: материалы Международной научно-практической конференции, 18-20 октября 2016, г. Мичуринск: Изд-во ООО «БИС» – С. 217-225.

6. **Пустоваров, Н.Ю.** Результаты исследований параметров датчиков, используемых в системе контроля высева семян пропашных культур / А.И. Завражнов, А.В. Балашов, Н.Ю. Пустоваров // Наука в центральной России, № 5(29), 2017. – С. 28-35.

7. **Пустоваров, Н.Ю.** Исследование контролируемого гнездового посева семян сои / А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.А. Синельников, Н.Ю. Пустоваров, С.Г. Хайруллина // Наука в центральной России, № 6, 2017. С. 6-17.

8. **Пустоваров, Н.Ю.** Теоретическое обоснование параметров датчика высева семян / А.И. Завражнов, А.А. Синельников, С.П. Стрыгин, Н.Ю. Пустоваров // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной году экологии в России и 80-летию Тамбовской области, 27-28 сентября 2017 года, г. Тамбов: Изд-во Першина Р.В. – С. 55-57.

9. **Пустоваров, Н.Ю.** Результаты исследований элементов системы контроля высева семян пропашных культур / А.И. Завражнов, А.В. Балашов, Н.Ю. Пустоваров // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, 25-27 октября 2017 года, г. Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ – С. 32-39.

10. **Пустоваров, Н.Ю.** Использование системы контроля высева семян на пропашных сеялках / А.И. Завражнов, А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.В. Крищенко, Н.Ю. Пустоваров // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, 26-27 сентября 2019 года, г. Тамбов: Изд-во Першина Р.В. – С. 103-107.

В описаниях патентов РФ:

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614821 «Контроль за 12-ти рядной сеялкой» / А.В. Крищенко, **Н.Ю. Пустоваров**; правообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. – № 2016664130, заяв.20.12.2016; опубл. 27.04.2017, Бюл. № 5. 2017 – 2 с.

12. Патент № 2681570 Российская Федерация, МПК А01С 7/00, А01С 7/208 Система контроля высева семян / А.В. Крищенко, А.И. Завражнов, А.Н. Зазуля, А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, **Н.Ю. Пустоваров**; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. – № 2017132542, заяв.13.02.2017; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 8. – 7 с.

13. Патент № 2685733 Российская Федерация, МПК А01С 7/04. Устройство для гнездового высева семян / А.В. Балашов, В.П. Белогорский, С.П. Стрыгин, А.А. Синельников, С.Г. Хайруллина, **Н.Ю. Пустоваров**; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. – № 2018105648, заяв.14.02.2018; опубл. 13.04.2019, Бюл. № 8. – 7 с.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ
Подписано в печать 22.10.2020 г. Формат 60x84 ¹/₁₆,
Бумага офсетная № 1. Усл.печ.л. 1,0. Тираж 100 экз. Ризограф
Заказ № 20541

Издательско-полиграфический центр
Мичуринского государственного аграрного университета
393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101,
тел. +7 (47545) 3-88-34, доб. 211

