Тип статьи: научная
УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-40-47

# К ОБОСНОВАНИЮ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ СЕЯЛКИ

***Александр Владимирович Балашов [1], Сергей Петрович Стрыгин [2], Никита Юрьевич Пустоваров [3], Сабина Гумаровна Хайруллина [4], Виктория Викторовна Конкина [5]***
*[1, 2, 3] Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
*[4] Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск, Казахстан*
*[2, 5] Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1]ntc.agro@yandex.ru, [2]sew1982@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7934-1673
[3]nikita.pustovarov@mail.ru, [4]hsg1988@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8492-2322
[5]konkina-tstu@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-7366-7182

Автор ответственный за переписку: Александр Владимирович Балашов, ntc.agro@yandex.ru
Corresponding author: Alexander Balashov, ntc.agro@yandex.ru

***Реферат***. *Важным аспектом, влияющим на обеспечение заданной нормы высева, является взаимодействие семян с механизмом сбрасывателя двойников при различных режимах работы высевающего аппарата. Изучение взаимодействие семян с элементами конструкции высевающего аппарата с учетом их физико-механических свойств позволит оценить эффективность размещения семян при различных скоростях движения посевного агрегата и разработать автоматические системы управления механизмом сбрасывателя двойников. Цель исследования заключается в определении статистических характеристик распределения семян в зависимости от положения сбрасывателя двойников и частоты вращения высевающего диска и определения оптимальных значений этих параметров. Конструктивно-режимные параметры высевающего аппарата были определены с использованием методики планирования многофакторного эксперимента. Использована матрица планирования второго порядка, основанная на двухфакторных планах Бокса-Уилсона. Для исследований использовали сою сорта «Лиссабон». Частота вращения диска высевающего аппарата варьировалась от 15 об/мин (нижний уровень) до 55 об/мин (верхний уровень). Положение сбрасывателя семян устанавливалась так, чтобы присасывающее отверстие было перекрыто наполовину (нижний уровень) до полностью открытого отверстия (верхний уровень). В качестве критериев оптимизации были выбраны коэффициент вариации интервалов времени между выбросами семян из высевающего аппарата и дробление семян. По результатам опытов получены уравнения регрессии, адекватно описывающие исследуемый процесс высева. Установлено. что управляющие факторы должны находиться в следующих пределах: частота вращения диска высевающего аппарата от 15 до 35 об/мин, а положение съемника лишних семян должно обеспечивать перекрытие отверстий на 10 – 35 %, при этом коэффициент вариации составит менее 33 %, а дробление семян менее 1 %. Полученные данные можно использовать для разработки алгоритма управления автоматического регулятора положения сбрасывателя двойников, в зависимости от скорости движения посевного агрегата.*

***Ключевые слова:*** *высевающий аппарат, диск, качество высева, сбрасыватель семян, частота вращения, стенд.*

# INVESTIGATION OF CONTROLLED PARAMETERS OF THE SEEDING APPARATUS OF AN ELECTRIFIED SEEDER

***Alexander Balashov [1], Sergei Strygin [2], Nikita Pustovarov [3], Sabina Khairullina [4], Victoria Konkina [5]***

*[1, 2, 3] All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia*
*[4] Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Uralsk, Kazakhstan*
*[2, 5] Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1]ntc.agro@yandex.ru, [2]sew1982@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7934-1673
[3]nikita.pustovarov@mail.ru, [4]hsg1988@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8492-2322
[5]konkina-tstu@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-7366-7182

***Abstract.*** *An important aspect influencing the provision of a given seeding rate is the interaction of seeds with the mechanism of the double ejector under various operating modes of the sowing unit. The study of the interaction of seeds with structural elements of the sowing machine, taking into account their physical and mechanical properties, will allow us to evaluate the efficiency of seed placement at various speeds of the sowing unit and develop automatic control systems for the mechanism of the twin ejector. The purpose of the study is to determine the statistical characteristics of the distribution of seeds depending on the position of the twin ejector and the rotational speed of the sowing disc and to determine the optimal values of these parameters. The design and operating parameters of the sowing machine were determined using the methodology of planning a multifactorial experiment. A second-order planning matrix based on two-factor Box-Wilson plans was used. Lisbon soybeans were used for research. The speed of the meter disk was varied from 15 rpm (low level) to 55 rpm (high level). The position of the seed ejector was set so that the suction hole was blocked halfway (lower level) to a fully open hole (upper level). The coefficient of variation of the time intervals between the ejection of seeds from the sowing apparatus and the crushing of seeds were chosen as optimization criteria. The regression equations that adequately describe the seeding process under study were obtained from the results of the experiments. Installed. that the control factors should be within the following limits: the rotational speed of the seeding disc should be from 15 to 35 rpm, and the position of the excess seed remover should provide overlapping of the holes by 10 - 35%, while the coefficient of variation will be less than 33%, and the crushing of seeds less than 1 %. The data obtained can be used to develop a control algorithm for the automatic regulator of the position of the twin ejector, depending on the speed of the sowing unit.*

***Keywords:*** *seeding machine, disk, seeding quality, seed dumper, rotation speed, stand.*

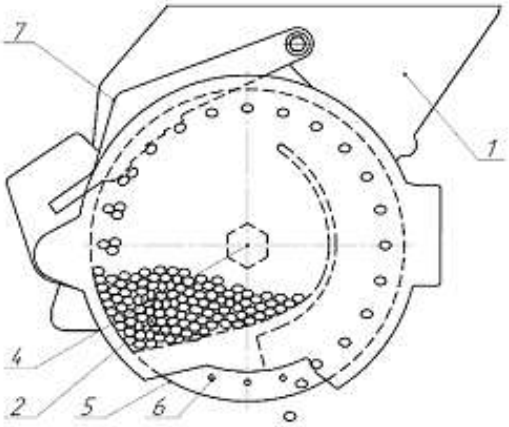
**Для цитирования:** Балашов А.В., Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Хайруллина С.Г., Конкина В.В. К обоснованию управляемых параметров высевающего аппарата электрифицированной сеялки // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 40-47. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-40-47.

**For citation:** Balashov A., Strygin S., Pustovarov N., Khairullina S., Konkina V. Investigation of controlled parameters of the seeding apparatus of an electrified seeder. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 40-47. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-40-47.

**Введение.** За рубежом широкое распространение получили пневматические сеялки с электрическим приводом рабочих органов и различными системами контроля, и управления процессом высева семян. Эти сеялки отличаются разнообразием конструктивного исполнения и управляющих систем, требующих высококвалифицированного обслуживающего персонала. Система контроля высева семян на зарубежных сеялках сложна и ненадежна в эксплуатации из-за применения оптических датчиков высева, неудобного для восприятия информационного табло и проводной связи с трактором. Системы управления работой этих сеялок не предусматривают автоматического управления отдельными рабочими органами, влияющими на качество высева семян [1]. Эффективность присасывания семян к отверстиям дисков пневматических высевающих аппаратов определяется размерами и формой семян, их поверхностной шероховатостью и взаимным сцеплением, также зависит от диаметра присасывающих отверстий, частоты вращения диска и разрежения в вакуумной камере [2].

Оптимальные конструктивно-режимные параметры работы высевающих аппаратов обеспечивают качественный высев семян с равномерным распределением по длине рядка [3-5].

При определенных значениях указанных параметров обеспечивается надежное присасывание единичного семени к отверстию на диске, при отсутствии незаполненных отверстий (нулевые подачи семян). При присасывании нескольких семян к одному отверстию (групповые подачи семян) необходимо удалить лишние семена специальными устройствами на высевающем аппарате называемые сбрасывателями двойников. Следует отметить разнообразие конструктивного исполнения сбрасывателей двойников высевающих аппаратов, которые выполнены в виде пластин с пилообразными выступами различной высоты и шага размещения. Под действием сбрасывателя группа семян удаляются от присасывающего отверстия и смещаются к центру вращающегося диска, и падают обратно в семенную камеру (рисунок 1). При этом центральное семя перекрывает большую площадь отверстия и удерживается с большей силой, чем боковые семена. [2, 3].




1 – бункер, 2 – семя, 3 – вакуумная камера;4 – ось, 5 – высевающий диск, 6 – отверстие, 7 – сбрасыватель лишних семян

Рисунок 1 – Схема пневматического высевающего аппарата

Качество и своевременность посева семян определяет рост и развитие растений, способствующие получению высокого урожая возделываемой культуры, определяющего применением высокоурожайных семян, правильным выбором нормы высева, эффективных технологий возделывания культуры [6, 7]. Качество посева определяется не только конструктивным исполнением высевающих аппаратов, настройкой и регулировкой сеялки, контролем высева семян, но и режимами управления работой посевного агрегата в зависимости от скорости движения и условий его использования [8]. Поэтому необходимо изучать такие параметры, как частоту вращения диска, разрежение вакуума, а также разработать эффективные алгоритмы систем автоматического управления механизмом сбрасывателя двойников и процессом высева [9-11]. Это позволит оценить равномерность выбросов семян из высевающего аппарата и их размещения при различных скоростях движения посевного агрегата [12].

Цель данного исследования заключается в определении оптимальных конструктивно-режимных параметров посевного агрегата, учитывающие статистические характеристики распределения семян в зависимости от положения сбрасывателя двойников и частоты вращения высевающего диска, влияющие на качественные показатели работы высевающего аппарата.

**Материалы и методы.** Лабораторные исследования по определению качественных показателей работы пневматического высевающего аппарата сеялки ТС-М-4150А с пластинчатым сбрасывателем двойников проведены на специально изготовленном стенде, изображенном на рисунке 2. Для вращения высевающего диска применялся электродвигатель FL86BLS71, управляемый блоком управления бесколлекторным двигателем BLSD-50 и панелью оператора MT6071iE. Электродвигатель питался от импульсного источника питания SDR-960-48. В качестве исследуемого посевного материала использовали сою сорта «Лиссабон» [12]. Для обработки результатов исследований высевающего аппарата применялось программное обеспечение,

разработанное сотрудниками ФГБНУ ВНИИТиН, которое предназначено для оценки равномерности распределения семян высевающими аппаратами сеялок точного высева.

Рисунок 2 – Общий вид лабораторного стенда

В качестве входных данных служат файлы результатов исследований высевающих аппаратов различных типов на различных режимах работы. Программа позволяет определить различные параметры качества работы высевающего аппарата, включая количество двойников, пропусков и дробленных семян на основании продолжительности взаимодействия семян с датчиком высева [13].

В ходе лабораторных исследований фиксировали продолжительность пролета семян через чувствительные пластины датчика высева с точностью до одной миллисекунды, которая записывается и отображается на дисплее в виде графика (рисунок 3). Данные графики сохранялись в компьютере и обрабатывались с использованием математической статистики при помощи программных пакетов Mathcad, Microsoft Excel и Python [14].

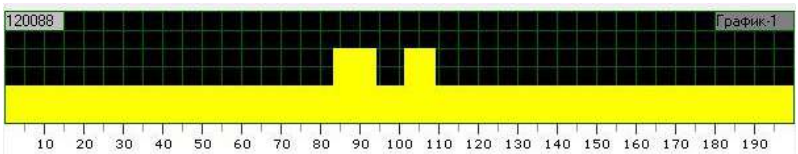



Рисунок 3 – Интерфейс программы определения неравномерности высева и дробления семян

Конструктивно-режимные параметры высевающего аппарата были определены по методике планирования многофакторного эксперимента с использованием матрицы планирования второго порядка, основанной на двухфакторных планах Бокса-Уилсона [15, 16]. В качестве критериев оптимизации выбраны коэффициент вариации интервалов времени ($v$) между выбросами семян сои из высевающего диска и дробление семян ($\Delta$). Для исследования были выбраны факторы, влияющие на равномерность высева: частота вращения высевающего диска ($w$, об/мин) и положение сбрасывателя семян ($p$) в зависимости от степени перекрытия отверстия [17]. Предварительно было определено положение сбрасывателя семян, обеспечивающее стабильное присасывание семян к отверстиям на диске. Были определены уровни и интервалы варьирования этих факторов, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Интервалы и уровни варьирования факторов

| Факторы | Обозначение | Уровни варьирования | | |
|---|---|---|---|---|
| | | -1 | 0 | +1 |
| Частота вращения высевающего диска | $w$, об/мин | 15 | 35 | 55 |
| Положение сбрасывателя семян, обеспечивающее перекрытие отверстия* | $p$ | 0,5 | 0,75 | 1 |

*Примечание: 1 – полностью открытое отверстие, 0,5 – перекрыта половина площади отверстия

**Результаты и их обсуждения.** По результатам опытов с использованием многофакторного плана эксперимента определены уравнения регрессии адекватно описывающих исследуемый процесс высева семян высевающим аппаратом с учетом значимости коэффициентов регрессии:

$$v(w,p) = 65.45 + 0.66 \cdot w - 169.74 \cdot p - 1.58 \cdot w \cdot p + 0.013 \cdot w^2 + 132 \cdot p^2 \quad (1)$$

$$\Delta(w,p) = 4.68 + 0.02 \cdot w - 10.1 \cdot p - 0.02 \cdot w \cdot p + 5.39 \cdot p^2 \quad (2)$$

Влияние управляющих факторов на изменение критериев оптимизации изучено с помощью двумерных сечений (рисунки 4, 5).

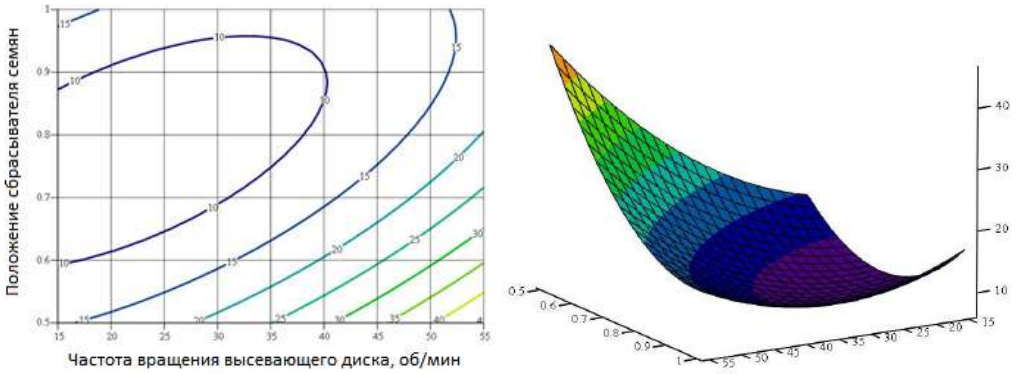



Рисунок 4 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость коэффициента вариации ($v$) от частоты вращения высевающего диска и положения сбрасывателя семян

Из рисунка 4 следует, что при полностью открытом отверстии коэффициент вариации интервалов времени между выбросами семян составляет менее 16 % на всем диапазоне исследуемых частот вращения диска. При перекрытии отверстий наполовину, с увеличением частоты вращения диска до 45 об/мин, присасывающей силы недостаточно, что приводит к появлению пропусков семян, а коэффициент вариации достигает критического значения 33 % [18], которое не соответствует агротехническим требованиям к точному высеву семян сеялками. Оптимальные значения коэффициента вариации находятся в диапазоне частоты вращения высевающего диска от 15 до 35 об/мин при перекрытии 10% – 35% площади присасывающих отверстий. Допустимые параметры работы высевающего аппарата, на всем диапазоне исследуемых скоростей, при установке сбрасывателя семян, обеспечивающего перекрытие отверстий до 40% от их площади.

С учетом данных, представленных на рисунке 5, можно сделать вывод, что дробление семян составляет менее 1 % на всем диапазоне исследуемых частот вращения высевающего диска при установке сбрасывателя семян, обеспечивающем перекрытие отверстия до 40%. На повышенных скоростях, при взаимодействии со сбрасывателем, семена травмируются, что отрицательно сказывается на показателе дробления семян. Таким образом, учитывая полученные данные с учетом критериев оптимизации управляющие факторы должны находиться в следующих пределах: частота вращения диска высевающего аппарата от 15 до 35 об/мин, а положение съемника лишних семян должно обеспечивать перекрытие отверстий на 10 – 35% от их площади.

**Заключение.** Согласно проведенным исследованиям получены уравнения регрессии для определения коэффициента вариации и дробления семян в зависимости от частоты вращения диска высевающего аппарата и установки положения сбрасывателя семян.

Полученные данные можно использовать для разработки алгоритма управления автоматического регулятора положения сбрасывателя двойников, в зависимости от скорости движения посевного агрегата.

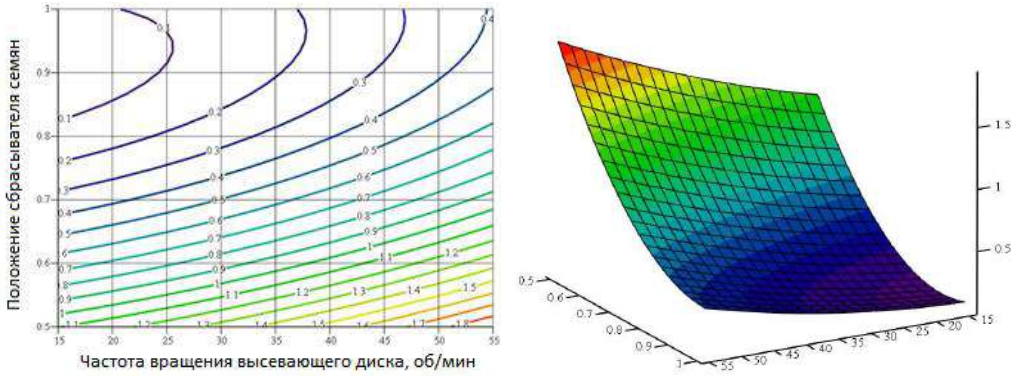



Рисунок 5 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость дробления семян (Δ) от частоты вращения высевающего диска и положения сбрасывателя семян

**Список источников**

1. Балашов, А. В. Совершенствование технологии возделывания и уборки сахарной свеклы агрегатами блочно-модульного построения на базе интегрального энергосредства: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Балашов Александр Владимирович. – Мичуринск, 2020. – 386 с. – Библиогр.: с. 291–316.

2. Несмиян, А. Ю. Влияние диаметра присасывающих отверстий аппарата точного высева на характеристики подачи семян кукурузы и подсолнечника / А. Ю. Несмиян, К. П. Дубина, А. П. Жигайлова // Инженерные технологии и системы. – 2023. – Т. 33, № 1. – С. 21-36. – DOI 10.15507/2658-4123.033.202301.021-036. – EDN VHRCTI.

3. Василенко, В. В. Инверсия семян и ее влияние на качество пунктирного посева / В. В. Василенко, С. В. Василенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 2(61). – С. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102. – EDN WMRPRL.

4. Development and research of seeding devices for selected self-propelled pneumatic seeder / N. P. Kryuchin, D. N. Kotov, A. N. Andreev, O. A. Artamonova // International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2021) : Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources, Kazan, 28–29 мая 2021 года. Vol. 37. – Kazan: EDP Sciences, 2021. – P. 00092. – DOI 10.1051/bioconf/20213700092. – EDN HVWRYT.

5. Крючин, Н. П. Влияние способов формирования семенного потока высевающими аппаратами на равномерность распределения семян в рядке / Н. П. Крючин // Научное обозрение. – 2015. – № 3. – С. 8-12. – EDN TLPGPN.

6. Измайлов, А. Ю. Точное земледелие: проблемы и пути решения / А. Ю. Измайлов, Г. И. Личман, Н. М. Марченко // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 5. – С. 9-14. – EDN MWLXCJ.

7. Завражнов, А. И. Разработка и обоснование параметров емкостного датчика высева семян пропашных культур / А. И. Завражнов, Я. П. Лобачевский, Н. Ю. Пустоваров // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13, № 2. – С. 4-9. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-2-4-9. – EDN AOHVCV.

8. Модернизированная система контроля высева семян / А. И. Завражнов, А. В. Балашов, С. П. Стрыгин [и др.] // Наука в центральной России. – 2019. – № 2(38). – С. 53-60. – EDN FJQTFM.

9. Управление производственными процессами полеводческих предприятий с использованием информационных и цифровых технологий / А. Ю. Измайлов, И. Г. Смирнов, Е. Н. Ильченко [и др.] // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 1(30). – С. 180-190. – EDN VXNHUU.

10. Автоматизированные системы управления для оптимизации работы МТА / А. Ю. Измайлов, В. К. Хорошенков, Е. С. Лужнова [и др.] // Сельский механизатор. – 2017. – № 7. – С. 14-16. – EDN YTXFUX.

11. Черноиванов, В. И. Агрокиборг как биомашсистема / В. И. Черноиванов, Г. К. Толоконников // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 9(303). – С. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-9-2-5. – EDN YUSXKX.

12. Исследование параметров взаимодействия семян с емкостным датчиком высева / А. В. Балашов, С. П. Стрыгин, Н. Ю. Пустоваров, А. О. Ноздрина // Наука в центральной России. – 2022. – № 2(56). – С. 69-77. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-69-77. – EDN BKJRLV.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022616149 Российская Федерация. Оценка качества работы высевающих аппаратов сеялок точного высева : № 2022612371 : заявл. 21.02.2022 : опубл. 05.04.2022 / С. П. Стрыгин, Н. Ю. Пустоваров, А. О. Ноздрина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». – EDN UGDZIW.

14. Python Materials Genomics (pymatgen): A robust, open-source python library for materials analysis / S. P. Ong, W. D. Richards, G. Ceder [et al.] // Computational Materials Science. – 2013. – Vol. 68. – P. 314-319. – DOI 10.1016/j.commatsci.2012.10.028. – EDN SSLYAN.

15. Попов, А. А. Оптимальное планирование эксперимента в задачах структурной и параметрической идентификации моделей многофакторных систем / А. А. Попов. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 296 с. – (Монографии НГТУ). – ISBN 978-5-7782-2329-5. – EDN SHEJZV.

16. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 1976. – 280 с. – EDN TOBZDM.

17. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – Москва: Физматлит, 2007. – 256 с. – ISBN 978-5-9221-0812-6. – EDN RYRTAR.

Особенности процесса пунктирного высева капсулированных семян / В. В. Василенко, С. В. Василенко, К. Р. Казаров, В. В. Труфанов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 4(63). – С. 38-44. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.4.38. – EDN OYFKCR.

**References**

1. Technological improvement of cultivations and transitions of the sugar system of the blochen aggregates-modular construction on the basis of an integrated energy facility: specialization 05.20.01 "technology and environment of mechanics of rural space": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Alexander Vladimirovich Balashov. - Michurinsk, 2020. - 386 p.

2. Influence of Suction Hole Diameter of Precision Seed Machine on the Characteristics of Feeding Corn and Sunflower Seeds / A. Yu. Nesmian, K. P. Dubina, A. P. Zhigailova // Engineering technologies and systems. – 2023. – Vol. 33, No. 1. – P. 21-36. – DOI 10.15507/2658-4123.033.202301.021-036.

3. Inversion of seeds and its effect on the quality of single-grain sowing / V. V. Vasilenko, S. V. Vasilenko // Vestnik of Voronezh state agrarian university. – 2019. – Vol. 12, No. 2(61). – P. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102.

4. Development and research of seeding devices for selected self-propelled pneumatic seeder / N. P. Kryuchin, D. N. Kotov, A. N. Andreev, O. A. Artamonova // International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2021) : Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources, Kazan, 28–29 мая 2021 года. Vol. 37. – Kazan: EDP Sciences, 2021. – P. 00092. – DOI 10.1051/bioconf/20213700092. – EDN HVWRYT.

5. Influence of the ways of seed flow formation by sowing devices on the evenness of seeds distribution in the bed / N. P. Kryuchin // Scientific Review. – 2015. – No. 3. – P. 8-12.

6. Precision agriculture: problems and solutions / A. Y. Izmailov, G. I. Lichman, N. M. Marchenko // Agricultural machinery and technologies. - 2010. – No. 5. – P. 9-14.

7. Development and determination of the parameters of a capacitive seed sowing sensor for row crops / A. I. Zavrazhnov, Ya. P. Lobachevsky, N. Yu. Pustovarov // Agricultural machinery and technologies. – 2019. – Vol. 13, No. 2. – P. 4-9. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-2-4-9.

8. Modernized control system for sowing seeds / A. I. Zavrazhnov, A. V. Balashov, S. P. Strygin [et al.] // Science in the central Russia. – 2019. – Vol. 2(38). – P. 53-60.

9. Development and determination of the parameters of a capacitive seed sowing sensor for row crops / A. I. Zavrazhnov, Ya. P. Lobachevsky, N. Yu. Pustovarov // Agricultural machinery and technologies. – 2019. – Vol. 13, No. 2. – P. 4-9. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-2-4-9.

10. Automated control systems for optimizing the work of the MTA / A. Y. Izmailov, V. K. Khoroshenkov, E. S. Luzhnova [et al.] // Selskiy Mechanizator. – 2017. – No. 7. – P. 14-16.

11. Agrocyborg as a biomachine system / V. I. Chernoivanov, G. K. Tolokonnikov // Machinery and equipment for rural area. – 2022. – № 9(303). – P. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-9-2-5.

12. Research of interaction the seeds with a capacitive sowing sensor / A. V. Balashov, S. P. Strygin, N. Yu. Pustovarov [et al.] // Science in the central Russia. – 2022. – Vol. 2(56). – P. 69-77. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-69-77.

13. Certificate of state registration of the computer program No. 2022616149 Russian Federation. Evaluation of the quality of the seeding machines of precision seeding drills: No. 2022612371: application. 02/21/2022 : publ. 05.04.2022 / S. P. Strygin, N. Y. Pustovarov, A. O. Nozdrina ; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture".

14. Python Materials Genomics (pymatgen): A robust, open-source python library for materials analysis / S. P. Ong, W. D. Richards, G. Ceder [et al.] // Computational Materials Science. – 2013. – Vol. 68. – P. 314-319. – DOI 10.1016/j.commatsci.2012.10.028. – EDN SSLYAN.

15. Optimal experimental planning in problems of structural and parametric identification of models of multifactor systems / A. A. Popov. – Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2013. - 296 p. – (Monographs of NSTU). – ISBN 978-5-7782-2329-5.

16. Experiment planning in the search for optimal conditions / Yu. P. Adler, E. V. Markova, Yu. V. Granovsky. – 2nd edition, revised and expanded. – Moscow: Federal State Unitary Enterprise "Academic Scientific Publishing, Production, Printing and Book Distribution Center "Nauka", 1976. - 280 p.

17. Pareto-optimal solutions of multicriteria problems / V. V. Podinovsky, V. D. Nogin. – Moscow: Fizmatlit, 2007. – 256 p. – ISBN 978-5-9221-0812-6.

Specific features of single-grain sowing of capsulated seeds / V. V. Vasilenko, S. V. Vasilenko, K. R. Kazarov, V. V. Trufanov // Vestnik of Voronezh state agrarian university. – 2019. – T. 12, № 4(63). – P. 38-44. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.4.38.

**Информация об авторах**

А. В. Балашов – доктор технических наук, доцент; С. П. Стрыгин – кандидат технических наук; Н. Ю. Пустоваров – кандидат технических наук; С. Г. Хайруллина – доктор PhD, кандидат технических наук; В. В. Конкина – кандидат технических наук.

**Information about the authors**

A. Balashov – Full Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; S. Strygin – Candidate of Technical Sciences; N. Pustovarov – Candidate of Technical Sciences; S. Khairullina – PhD, Candidate of Technical Sciences; V. Konkina – Candidate of Technical Sciences.

**Вклад авторов** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

***Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.***

**Contribution of the authors:** *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

***The authors declare no conflict of interest.***

Поступила в редакцию (Received): 15.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.06.2023