



Параметры кассеты для роботизированного загрузочного устройства селекционной сеялки

Андрей Сергеевич Чулков,
 кандидат технических наук,
 ведущий научный сотрудник,
 e-mail: andrei.chulkov@mail.ru;

Людмила Сергеевна Шибряева,
 доктор химических наук,
 ведущий научный сотрудник,
 e-mail: lyudmila.shibryaeva@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. В кассетных селекционных сеялках кассетное загрузочное устройство последовательно перемещает кассеты с семенным материалом к высевашему аппарату сеялки. (*Цель исследования*) Выполнить расчет геометрических параметров и выбрать материал кассеты для разработки роботизированного кассетного загрузочного устройства селекционной сеялки. (*Материалы и методы*) Геометрические параметры кассет определены на основе кассетного загрузочного устройства селекционной сеялки СССэ-6 и исходных данных по нормам селекционного посева. Методом ИК-Фурье-спектроскопии в диапазоне волновых чисел 400-4000 см⁻¹ идентифицировали полимерный материал, который пригоден для изготовления кассет и направляющей пластины селекционной сеялки. (*Результаты и обсуждение*) Используя различные конструктивные решения кассет, применяемых ранее в загрузочном устройстве, определили геометрические параметры кассет, ячеек и блоков кассет, направляющих пластин. В задачи исследования входил выбор возможного полимерного материала для изготовления кассеты при помощи 3D-моделирования. Для этого требовалось идентифицировать вид полимерного материала образцов пластиковых кассет и направляющих пластин, которые применяются в загрузочном устройстве селекционной сеялки СССэ-6. Качественный анализ состава образцов определяли методом инфракрасной спектроскопии на ИК-Фурье-спектрометре Simex FT-801. (*Выводы*) Провели расчет геометрических параметров кассетного блока для их моделирования и изготовления и дальнейшей разработки роботизированного кассетного загрузочного устройства. Установлено, что оно изготовлено из сополимера акрилонитрила, полибутадиена и стирола (ABS-пластика), имеющего коэффициент трения скольжения 0,47-0,54. Для уменьшения коэффициента трения кассет при движении по направляющим пластинам при их изготовлении в состав ABS вводят шликующие добавки, например, керамид.

Ключевые слова: селекционная сеялка, кассетное загрузочное устройство, конструкция кассет, технологический процесс, полимерные материалы, спектроскопия.

■ Для цитирования: Чулков А.С., Шибряева Л.С. Параметры кассеты для роботизированного загрузочного устройства селекционной сеялки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №2. С. 92-97. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-92-97. EDN: PYXCIN.

Scientific article

Parameters of a Robotic Loading Device for Selection Seeder

Andrey S. Chulkov,
 Ph.D.(Eng.), leading researcher,
 e-mail: andrei.chulkov@mail.ru;

Ludmila S. Shibryaeva,
 Dr.Sc.(Chem.), leading researcher,
 e-mail: lyudmila.shibryaeva@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. In cassette-type selection seeders, a cassette loading device sequentially conveys cassettes filled with seed material to the planting mechanism of the seeder. (*Research purpose*) The research aims to calculate the geometric parameters and identify the cassette material in the development of a robotic cassette loading device for the selection seeder. (*Materials and methods*) The geometric parameters of the cassettes are determined based on the existing cassette loading device of the model SSS-2-6 selection seeder and the selection sowing specifications. Fourier transform infrared spectroscopy with the wavenumber range of 400-4000 cm⁻¹ is used to identify a polymer material suitable for manufacturing cassettes and a guide plate for a selection seeder. (*Results and discussion*) The geometric parameters of cassettes, cells, cassette blocks, and guide plates are determined by using various design solutions employed in previous cassettes for the loading device.

The objectives of the study also encompass the selection of polymer material for the manufacture of the cassette using 3D modeling techniques. To accomplish this, it was necessary to identify the specific polymer material of the plastic cassette and guide plate samples currently used in the loading device of the *SSSe-6* selection seeder. The qualitative composition of these samples is determined by infrared spectroscopy using a *Simex FT-801* Infrared Fourier spectrometer. (*Conclusions*) The geometric parameters essential for modeling, manufacturing and further development of a robotic cassette loading device are calculated. It has been established that the device is made of a copolymer consisting of acrylonitrile, polybutadiene and styrene (known as ABS plastic), which has a sliding friction coefficient approximately 0.47-0.54. In order to decrease the coefficient of cassette friction when driving along the guide plates, additives like ceramide can be introduced into ABS during their production enhancing its sliding properties.

Keywords: selection seeder, cassette loading device, cassette design, technological process, polymer materials, spectroscopy.

■ For citation: Chulkov A.S., Shibryaeva L.S. Parameters of a robotic loading device for selection seeder. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N2. 92-97 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-92-97. EDN: PYXCIN.

Главная задача селекционной науки и практики – создание новых сортов зерновых и других сельскохозяйственных культур с высокой продуктивностью, устойчивостью к почвенно-климатическим условиям, сочетающих полезные свойства и признаки [1]. В связи с этим большую роль имеют разработки, направленные на обеспечение научно-инновационного развития агропромышленного комплекса [2]. Приоритетной тенденцией в промышленном растениеводстве является внедрение ресурсосберегающих технологии и совершенствование селекционной техники, в том числе для посева зерновых культур [3]. Минимизации трудозатрат, повышение производительности и эффективности селекционно-семеноводческого процесса способствует применение автоматизированных и роботизированных систем [4, 5].

Цель исследования – выполнить расчет геометрических параметров и выбрать материал кассеты для разработки роботизированного кассетного загрузочного устройства (РКЗУ) селекционной сеялки.

Материалы и методы. Для разработки конструкции РКЗУ определяли геометрические параметры, материал кассет и направляющих пластин, по которым перемещаются кассеты с семенами. За основу были приняты геометрические размеры кассет загрузочного устройства селекционной сеялки СССР-6 с учетом исходных нормативов селекционного посева согласно ОСТ 46 73-78.

При выборе материала для изготовления кассеты применялся метод инфракрасной спектроскопии. Исследование проводилось с помощью ИК-Фурье-спектрометра *Simex FT-801* (НПФ «Симекс», г. Новосибирск) с использованием алмазной НПВО-приставки в диапазоне волновых чисел 400-4000 см⁻¹ с накоплением и усреднением 26 сканов. Запись спектров проводилась в фирменном ПО *Zair 3.5*, математическая обработка спектральных дан-

ных – в ПО *Origin 8* с использованием сглаживания по методу Савицкого-Голея (5-й порядок функции, 31 точка).

Результаты и обсуждение. В настоящее время на втором этапе селекционных работ с зерновыми культурами применяются кассетные селекционные сеялки отечественного производства (СКС-6-10, СКС-6А, СН-10Ц(К), СССР-6, другие) а также зарубежных компаний (*HALDRUP*, Германия, *WINTERSTEIGER AG*, Австрия и др.) [6, 7]. Посадочный материал подается к автономным порционным высевальным аппаратам через кассетные загрузочные устройства (КЗУ) [8]. При этом каждый следующий блок кассет с семенами оператор вручную устанавливает на рабочем столе. Актуальной задачей является разработка технического средства, позволяющего исключить ручные операции [9, 10]. Анализ конструкций основных типов кассетно-загрузочных устройств показал, что наиболее перспективно при посеве семян зерновых роботизированное загрузочное кассетное устройство (РКЗУ) селекционной сеялки [11].

Принято решение разработать и внедрить такое устройство, взяв за основу КЗУ сеялки СССР-6 производства ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [12, 13]. Количество ячеек в кассете соответствует числу высевальных аппаратов, в данной модели сеялки 6 ячеек. Геометрические параметры кассеты определяются количеством ячеек и их объемом. Размер одной ячейки рассчитывается по нормативам посева семян на делянке. Согласно ОСТ 46 73-78 должно быть высеяно 500 семян зерновых культур, столько семян гарантированно вмещается в ячейку объемом 50 мл.

Разработана модель кассеты с шестью ячейками на 50 мг (*рис. 1а*). Кассеты размещаются последовательно на направляющей пластине прямоугольной формы и образуют блок (*рис. 1б*). Размеры направляющей пластины и блока зависят от геометрических размеров и количества кассет в блоке.

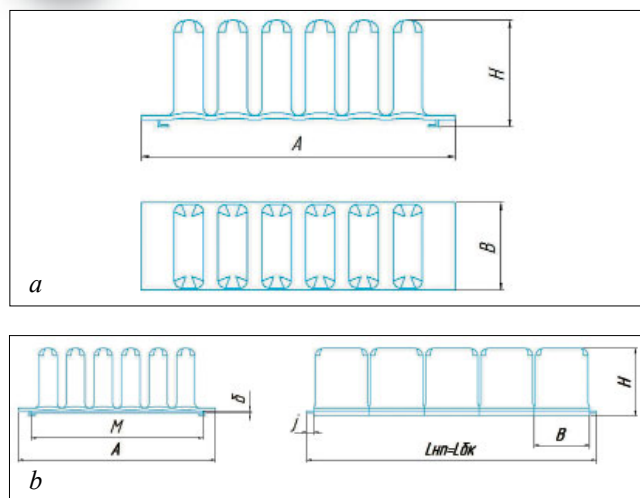


Рис. 1. Модель кассеты для семян с шестью ячейками (а) и блок кассет (б)

Fig. 1. A seed cassette model with six cells (a) and a cassette block (b)

Ширина направляющей пластины M зависит от расстояния между пазами на кассете, при помощи которых кассета устанавливается на пластину с зазором не менее 1 мм. Толщина пластины δ соответствует ширине паза на кассете (зазор не менее 0,5 мм). Длина направляющей пластины $L_{\text{н.п}}$ (и кассетного блока $L_{\text{б.к}}$) соответствует ширине кассеты (B) и количеству кассет (n) в блоке с учетом удлинения пластины с торцевых сторон (конструкционный размер $j = 7,5$ мм):

$$L_{\text{б.к}} = L_{\text{н.п}} = B \cdot n + 2j.$$

Геометрические параметры блока кассет и его составляющих для разрабатываемой конструкции роботизированного устройства определены по размерам КЗУ сеялки СССэ-6:

- кассета – длина $A = 215$ мм, ширина $B = 60$ мм, высота $H = 73$ мм;
- направляющая пластина – ширина $M = 187$ мм, длина $L_{\text{н.п}} = 315-615$ мм (при конструкции РКЗУ с количеством кассет $n = 5-10$ шт.);
- толщина $\delta = 3$ мм;
- блок кассет – ширина $A = 215$ мм, длина $L_{\text{б.к}} = 315-615$ мм (в зависимости от количества кассет в блоке $n = 5-10$ шт.), высота $H = 73$ мм.

При работе роботизированного загрузочного устройства кассеты скользят по направляющей пластине и участку рабочего стола высевающего аппарата с отверстиями для выгрузки семян. Для свободного перемещения элементы конструкции загрузочного устройства должны быть выполнены из материала с коэффициентом трения скольжения как можно меньшим.

При визуальном контроле образцов пластиковых кассет, направляющих пластин и блоков кассет (рис. 2), которые в настоящее время использу-



Рис. 2. Кассета для семян (а) и блок кассет (б) селекционной сеялки СССэ-6

Fig. 2. A seed cassette (a) and a cassette block (b) of the SSSe-6 selection seeder

ются в селекционной сеялке ССС-2-6, выявлен ряд проблем: быстрое старение материала, хрупкость при старении, выгорание и пожелтение под солнечными лучами. Также на образцах не было маркировки вида полимерного материала, из которого они изготовлены.

Для понимания возможности устранить перечисленные недостатки был проведен качественный анализ состава материала кассет и направляющей пластины и выбраны возможные полимеры:

- полиэтилен низкого и высокого давления;
- полипропилен;
- поликарбонат;
- полистирол;
- поливинилхлорид и его пластификат;
- сополимер акрилонитрила, полибутадиена и стирола (АВС-пластик);
- полиэтилентерефталат.

Исходя из практического опыта предположили, что материалом образцов мог быть любой из них, кроме поликарбоната. Сравнительная характеристика полимерных материалов для потенциального использования для изготовления некоторых узлов и деталей приведена в таблице.

Для идентификации материала применялся метод ИК-Фурье-спектроскопии с использованием алмазной приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) в диапазоне волновых чисел $400-4000 \text{ см}^{-1}$ (рис. 3).

По ИК-спектрам визуально заметно практически полное совпадение спектральных линий материала кассеты и направляющей. Таким образом, пришли к выводу, что образцы изготовлены из полимера одного вида, и в дальнейшем анализировался только один из спектров. По виду спектра предварительно сделано предположение, что это АВС-пластик [14].

Таблица					
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ					
COMPARATIVE ANALYSIS OF POLYMER MATERIALS FOR THEIR PROSPECTIVE USE IN MANUFACTURING THE COMPONENTS AND PARTS OF THE ROBOTIC LOADING CASSETTE DEVICE					
Коэффициент трения скольжения	Температура плавления, °C	Метод изготовления изделий	Температура рабочая, °C	Ударо-стойкость	Устойчивость к УФ-излучению
Полиэтилен низкого и высокого давления (ПЭВД, ПЭНД)					
0,25	100	Литье под давлением	-100-80	Стойкий	Стойкий
Полипропилен (ПП)					
0,3-0,4	165	Литье под давлением	0-90	Стойкий	Есть марки, стойкие к излучению
Полистирол (ПС)					
0,35	170	Литье под давлением	-40-70	Стойкий	Не очень стойкий, требуются фотосенсибилизаторы
Сополимер акрилонитрила, полибутадиена и стирола (ABS)					
0,47-0,54	170	Литье под давлением 3D-печать	-60-85	Стойкий	Не очень стойкий, требуются фотосенсибилизаторы
Полиэтилентерефталат (ПЭТ или ПЭТФ)					
0,25	255	Литье под давлением	-20-115	Хрупкий	Можно использовать марки ПЭТ, прозрачные для УФ-лучей

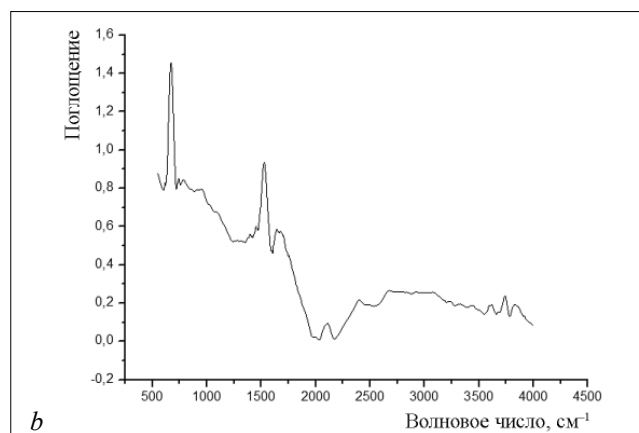
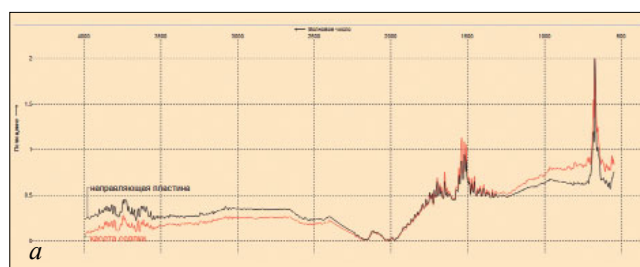
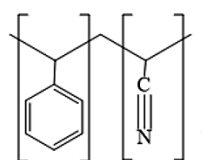


Рис. 3. Исходные спектры материалов кассеты и пластины (а) и сглаженный спектр (б)

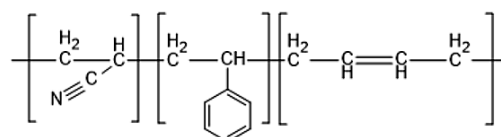
Fig. 3. Original spectra of cassette and plate materials (a) and smoothed spectrum (b)

Далее исследовали качественный анализ состава материала [15]. Анализ ИК-спектроскопии подразумевает соотнесение волнового числа (или длины волны) каждого пика с волновым числом (или длиной волны), характеризующим соответствующую функциональную химическую группу, и построение его примерной структурной формулы.

На спектрограмме заметны пять пиков: $\sim 671 \text{ см}^{-1}$ и $\sim 968 \text{ см}^{-1}$ (связи $\text{C}=\text{C}$, колебания замещенных ароматических соединений); $\sim 1477 \text{ см}^{-1}$ и $\sim 1527 \text{ см}^{-1}$ (колебания бензольного кольца); $\sim 2125 \text{ см}^{-1}$ (нитрилы и изонитрилы). По итогам анализа была составлена примерная структурная формула полимера:



Наиболее близким к данной формуле является сополимер акрилонитрила, бутадиена и стирола:



Таким образом подтверждено, что исследованные образцы направляющих пластин и блоков кассет селекционной сеялки СССЭ-6 изготовлены из ABS-пластика.

ABS – один из самых распространенных конструкционных полимеров. Он может использоваться для изготовления изделий методом 3D-печати с высокой точностью. Исходя из технических и технологических требований к изготовлению РКЗУ и в сравнении с другими пластиковыми материалами (таблица), ABS представляется наиболее подходящим для элементов РКЗУ селекционной сеялки при условии введении фотосенсибилизаторов и добавок, увеличивающих скольжение (керамида).

Выводы. Проведен расчет и представлены зависимости геометрических параметров блока кассет и его компонентов, по которым возможно осуществлять моделирование и изготовление при дальнейшей разработке роботизированного кассетного загрузочного устройства для высевальных аппаратов селекционной сеялки. По результатам качественного анализа инфракрасных спектров установлено, что кассета, направляющая пластина и сопрягае-

мые детали РКЗУ, по которым скользят кассеты, могут быть изготовлены из сополимера акрилонитрила, полибутадиена и стирола (ABS-пластика). Данный полимер, имеющий коэффициент трения скольжения $\mu_{ABS} \approx 0,47-0,54$, рекомендуется для изготовления кассет и деталей, по которым скользят кассеты, при условии введения в матрицу на этапе производства шликующих добавок, улучшающих скольжение (например, керамида).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Жалнин Э.В. Семеноводство России – приоритет импортозамещения // *Сельский механизатор*. 2016. №3. С. 2-3. EDN: VSLREX.
- Грабовец А.И. Проблемы селекции и семеноводства зерновых культур и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. №8. С. 10-13. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_10.
- Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М. и др. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №4 (33). С. 150-156. EDN: YTHPID.
- Zhu Q., Wu G., Chen L., et al. Structural design and optimization of seed separated plate of wheat wide-boundary sowing device. *Nongye Gongcheng Xuebao. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2019. 35(1). 1-11. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.01.001.
- Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. №4. С. 63-68. DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
- Yaropud V., Datsiuk D. By improving breeding seeder sowing device small seeded crops. *Vibrations in engineering and technology*. 2021. №1. 152-162. DOI: 10.37128/2306-8744-2021-1-15.
- Beloev H., Borisov B., Adamchuk V., Petrychenko I. Theory of movement of the combined seeding unit. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015. №7. 21-26. DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.12.024.
- Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т.89. №5. С. 536-538. DOI: 10.31857/S0869-5873895536-538.
- Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 6-10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
- Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Технология комбинированного способа посева и высевальные аппараты для его осуществления // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №4(33). С. 61-65. EDN: YTHPDN.
- Чулков А.С., Шайхов М.М., Чаплыгин М.Е., Текушев А.Х. Кассетные загрузочные устройства для высевальных аппаратов селекционных сеялок // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. №2(50). С. 74-81. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-2-74-81.
- Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Миронова А.В. Разработка и исследование дозирующей системы высевального устройства пневматической сеялки // *Техника и оборудование для села*. 2021. №6(288). С. 8-11. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-6-8-11.
- Чулков А.С., Текушев А.Х., Шайхов М.М. Разработка схемы размещения элементов автоматизированного управления и контроля селекционной сеялки // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. №4(49). С. 104-108. DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-4-104-108.
- Катаев Ю.В., Гончарова Ю.А., Свиридов А.С., Тужилин С.П. Применение технологий 3D-печати и 3D-сканирования при изготовлении и ремонте сельскохозяйственной техники // *Техника и оборудование для села*. 2023. №1(307). С. 34-38. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-34-38.
- Виснер Ф.Дж. Применение спектроскопии комбинационного рассеяния для исследования полимеров // *Пластические массы*. 2021. №3-4. С. 24-26. DOI: 10.35164/0554-2901-2021-3-4-24-26.

REFERENCES

- Zhalnin E.V. Russian seed production – the priority of import substitution. *Selskiy mechanizator*. 2016. №3. 2-3 (In Russian). EDN: VSLREX.
- Grabovets A.I. Problems of grain crops breeding and seed production and prospects for scientific and innovative support of the agro-industrial complex of the regions. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022. Vol. 36. №8. 10-13 (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_10.
- Beylis V.M., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., et al. Trends in the development of advanced machine technologies and techniques in agricultural production. *Vestnik VIESH*. 2018. №4(33). 150-156 (In Russian). EDN: YTHPID.

4. Zhu Q., Wu G., Chen L., et al. Structural design and optimization of seed separated plate of wheat wide-boundary sowing device. *Nongye Gongcheng Xuebao. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2019. 35(1). 1-11 (In English). DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.01.001.
5. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. et al. About synthesis of robotic agriculture mobile machine. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2019. N4. 63-68 (In Russian). DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68. EDN: GBEQZI.
6. Yaropud V., Datsiuk D. By improving breeding seeder sowing device small seeded crops. *Vibrations in engineering and technology*. 2021. N1. 152-162 (In English). DOI: 10.37128/2306-8744-2021-1-15.
7. Beloev H., Borisov B., Adamchuk V., Petrychenko I. Theory of movement of the combined seeding unit. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015. N7. 21-26 (In English). DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.12.024.
8. Izmaylov A.Yu. Intelligent technologies and robotic means in agricultural production. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019. Vol. 89. N5. 536-538 (In Russian). DOI: 10.31857/S0869-5873895536-538.
9. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural machinery and technologies*. 2021. Vol. 15. N4. 6-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
10. Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Kvas S.A. Combined method of sowing and sowing machines for its implementation. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 61-65 (In Russian). EDN: YTHPDN.
11. Chulkov A.S., Shaykhov M.M., Chaplygin M.E., Tekushev A.Kh. Cassette loading units for hanging devices of breeding seeders. *Electrical technology and equipment in the agro-industrial complex*. 2023. Vol. 70. N2(50). 74-81 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-2-74-81.
12. Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Mironova A.V. Development and research of a pneumatic seed drill seedmetering unit. *Machinery and equipment for rural area*. 2021. N6(288). 8-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-6-8-11.
13. Chulkov A.S., Tekushev A.Kh., Shaykhov M.M. Development of the layout of automated control and monitoring system of breeding seeder. *Electrical technology and equipment in the agro-industrial complex*. 2022. Vol. 69. N4(49). 104-108 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-4-104-108.
14. Kataev Yu.V., Goncharova Yu.A., Sviridov A.S., Tuzhilin S.P. Application of 3D printing and 3D scanning technologies in manufacturing and repairing agricultural machinery. *Machinery and equipment for rural area*. 2023. N1(307). 34-38 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-1-34-38.
15. Weesner F.J. Confocal raman microscopy applications in the polymer industry. *Journal of Russian plastics*. 2021. N3-4. 24-26 (In Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2021-3-4-24-26.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Чулков А.С. – формулирование основных целей и задач исследования, составление начального варианта статьи, доработка текста и оформление материалов, формирование общих выводов, анализ литературных источников, итоговая переработка статьи;

Шибряева Л.С. – формулирование основных целей и задач исследования, выполнение спектроскопии, доработка текста и оформление материалов, анализ литературных источников, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Chulkov A.S. – defining the research goals and objectives, initial manuscript drafting, finalizing the text and materials, drawing overall conclusions, literature review, and the article final revision

Shibryaeva L.S. – defining the research goals and objectives, setting the main research goals and objectives, conducting spectroscopy, finalizing the text and materials, literature review, drawing overall conclusions, and the article final revision

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

04.10.2023

14.11.2023