

EDN: VRWLYM

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-4-42-48



Научная статья

УДК 631.331



Роботизированная сеялка зерновых, зернобобовых и других культур для первого этапа работ селекции

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

Леонид Юрьевич Юферов,
доктор технических наук, главный научный сотрудник,
e-mail: leouf@ya.ru;
Олег Владимирович Масчев,
младший научный сотрудник,
e-mail: oleg.maschev@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. В связи с развитием техники для посева в целях повышения качества и снижения трудоемкости производственных операций первого этапа работ необходимо совершенствование селекционной сеялки в направлении роботизации процесса посева. (*Цель исследования*) Разработать конструкцию и алгоритм работы роботизированной сеялки для зерновых, зернобобовых и других культур на первом этапе работ селекции и обосновать параметры подачи семян при посеве. (*Материалы и методы*) Схема сеялки разработана в соответствии с требованиями отраслевой нормативной документации, обоснованы конструктивно-технологические параметры подачи семян при посеве при помощи роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа. (*Результаты и обсуждение*) Отметили некоторые конструктивные особенности селекционных сеялок для первого этапа работ при помощи роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа. Составлены схема и алгоритм работы сеялки, формулы скорости подачи кассет с семенами при многорядном посеве и скорости перемещения заслонки распределителя при однорядном посеве. Выявлен новый тип высевающего аппарата распределительного типа с дозирующей заслонкой. Разработан экспериментальный образец сеялки СССР-1 и проведены лабораторные испытания посева семян яровой пшеницы в 6 рядов с междурядьями 15 см и расстоянием между семенами 20 см на делянке шириной 1 м. (*Выводы*) При рабочей скорости движения сеялки 1 километр в час и расстоянии между семенами в одном рядке от 0,1 до 0,3 метра скорость перемещения кассет при многорядном посеве составила от 0,056 до 0,168 метра в секунду, при однорядном посеве скорость перемещения заслонки распределителя варьируется от 0,028 до 0,084 метра в секунду. Отклонение от нормы высева составили 1 процент, коэффициент вариации расстояний между семенами в одном рядке не превышает 5 процентов. Роботизированная селекционная сеялка обеспечит контролируемое качество выполнения посева зерновых и других культур на первом этапе работ в селекции и семеноводстве, создаст предпосылки для повышения производительности и снижения трудоемкости основной операции посева.
Ключевые слова: зерновые и зернобобовых культуры, посев, селекционная кассетная сеялка, роботизированное кассетное загрузочное устройство.

■ **Для цитирования:** Чулков А.С., Юферов Л.Ю., Масчев О.В. Роботизированная сеялка зерновых, зернобобовых и других культур для первого этапа работ селекции // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №4. 42-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-4-42-48. EDN: VRWLYM.

Scientific article

Robotic Seeder for Cereals, Legumes and other Crops in Early-stage Breeding Trials

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

Leonid Yu. Yuferev,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: leouf@ya.ru;
Oleg V. Maschev,
junior researcher, e-mail: oleg.maschev@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The advancement of seeding technologies aimed at improving sowing quality and reducing labor intensity has underscored the need to modernize selective seeders through the robotic integration. (*Research purpose*) To develop the design

and operational algorithm of a robotic seeder for cereals, leguminous, and other crops for early-stage breeding trials, and to substantiate the seed feeding parameters during sowing. (*Materials and methods*) A seeder schematic was developed in accordance with current regulatory standards, and the structural and technological parameters of seed feeding using a robotic carousel-type cassette loading device were substantiated. (*Results and discussion*) The study identified key design features of selective seeders intended for early-stage breeding trials, specifically those incorporating a robotic carousel-type cassette loading device. An operational scheme and control algorithm for the seeder were developed, accompanied by formulas for calculating the cassette feed rate in multi-row sowing and the distributor gate opening speed during single-row sowing. A new distributor-type sowing mechanism equipped with a metering gate was proposed. A prototype seeder, SSSR 1, was constructed. Laboratory tests were conducted for six-row sowing of spring wheat, using a 15-centimeter row spacing and 20-centimeter intra-row seed spacing on a 1-meter-wide plot. (*Conclusions*) At a working speed of 1 kilometer per hour and intra-row seed spacing ranging from 0.1 to 0.3 meters, the cassette feed rate in multi-row sowing ranged from 0.056 to 0.168 meters per second. For single-row sowing, the distributor gate opening speed ranged from 0.028 to 0.084 meters per second. The sowing deviation was 1 percent, and the coefficient of variation for intra-row seed spacing did not exceed 5 percent. The robotic selective seeder ensures controlled sowing quality for cereals and other crops during early-stage breeding trials and seed production. The implementation of the developed seeder creates the prerequisites for increasing productivity and reducing the labor intensity of the core sowing operation.

Keywords: cereals and leguminous crops, sowing, selective cassette seeder, robotic carousel-type cassette loading device.

■ **For citation:** Chulkov A.S., Yuferev L.Yu., Mashev O.V. Robotic seeder for cereals, legumes, and other crops in early-stage breeding trials. *Agricultural Machinery and Technology*. 2025. Vol. 19. N4. 42-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-4-42-48. EDN: VRWLYM.

Разработка и применение новых селекционных сеялок с роботизацией технологического процесса должны быть направлены на более качественное выполнение операций посева зерновых и других культур в селекционных и семеноводческих питомниках [1], содействовать уменьшению трудоемкости и росту производительности при посеве участков [2, 3]. Для посева на первом этапе селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства зерновых, зернобобовых и других культур до сих пор применяются ручной труд или ручные селекционные сеялки ССК-1 и РСС-1 [4-6].

Цель исследования: разработать конструкцию и алгоритм действия роботизированной селекционной сеялки зерновых, зернобобовых и других культур на первом этапе работ селекции и обосновать параметры подачи семян при посеве.

Материалы и методы. Разработана схема роботизированной селекционной сеялки для первого этапа работ в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.4-2023/ИСО 8373:2021 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения». Обоснованы конструктивно-технологические параметры сеялки с роботизированным кассетным загрузочным устройством (РКЗУ) в соответствии ОСТ 46-73-78. На первом этапе селекции на одной делянке длиной от 0,1 до 0,3 м должен быть произведен однозерновой посев шириной до 1,0 м при расстоянии между соседними рядами от 0,05 до 0,2 м.

В связи с развитием роботизации в целях повышения качества посева и снижения трудоемкости работ возникла необходимость совершенствования сеялки для первого этапа селекционных работ [7, 8]. Известно роботизированное кассетное загрузочное

устройство карусельного типа селекционной сеялки (Патент RU 2806909) для подачи материала к порционным высевальным аппаратам.

Предложено усовершенствовать РКЗУ карусельного типа [9] для использования на первом этапе селекционных работ при подаче семян зерновых и зернобобовых культур (Патент RU 2848548). Схема разрабатываемой селекционной сеялки представлена на *рисунке 1*.

На раме 1 сеялки смонтированы опорно-приводные колеса 2, двухдисковый сошник 3 с заделывающим устройством 4, семяпровод 5, сница 6 и роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа. РКЗУ выполнено в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.4-2023/ИСО 8373:2012 и представляет собой стационарный промышленный (сельскохозяйственный) робот. Звенья манипулятора РКЗУ работают с двумя степенями подвижности: при поступательном движении для перемещения кассет 7 с семенным материалом в направлении высевального аппарата, состоящего из распределителя 8 с выгрузными отверстиями и дозирующей заслонкой 9 при вращательном движении для перемещения блоков кассет 11.

Ячейки кассет 7 с пазами для семенного материала последовательно нанизаны на направляющую пластину 10 и образуют блок кассет 11.

На раме сеялки расположены центральная неподвижная платформа 12 и внешняя подвижная 13 с отверстиями для выпадения семенного материала. Актуатор 14 установлен на центральной неподвижной платформе на противоположной от распределителя 8 стороне относительно размещенного в рабочей зоне 15 блока кассет.

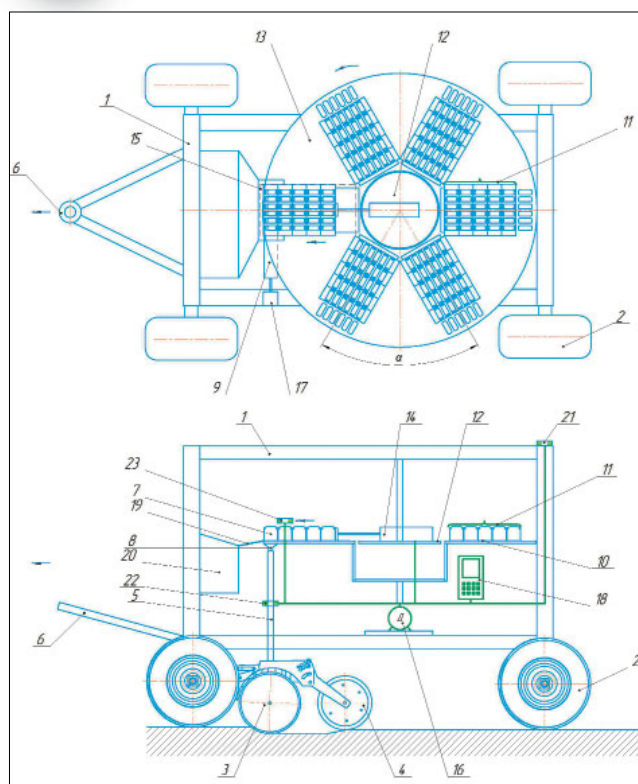


Рис. 1. Схема роботизированной сеялки с роботизированным кассетным загрузочным устройством карусельного типа для первого этапа работ селекции: 1 – рама; 2 – опорно-приводное колесо; 3 – сошник; 4 – заделывающе-прикатывающее устройство; 5 – семяпровод; 6 – сцепка; 7 – кассета с ячейками для высеваемого материала; 8 – распределитель; 9 – заслонка; 10 – направляющая пластина; 11 – блок кассет; 12 – центральная неподвижная платформа; 13 – внешняя подвижная платформа; 14 – актуатор; 15 – рабочая зона перемещения кассет; 16 – шаговый электродвигатель привода высевочного аппарата; 17 – дополнительный актуатор; 18 – блок управления; 19 – контейнер для сбора пустых кассет; 20 – наклонный лоток для спуска пустых кассет; 21 – система навигации; 22 – датчик пролета семян; 23 – датчик положения кассет

Fig. 1. Diagram of a robotic seeder with a robotic carousel-type cassette loading device for early-stage breeding trials: 1 – frame; 2 – support-drive wheel; 3 – opener; 4 – covering and press-wheel unit; 5 – seed tube; 6 – hitch; 7 – cassette with cells for sowing material; 8 – distributor; 9 – shutter; 10 – guide plate; 11 – cassette block; 12 – central stationary platform; 13 – outer movable platform; 14 – actuator; 15 – working area of cassette movement; 16 – stepper motor of the seeding unit drive; 17 – additional actuator; 18 – control unit; 19 – container for collecting empty cassettes; 20 – inclined chute for empty cassette discharge; 21 – navigation system; 22 – seed passage sensor; 23 – cassette position sensor

Рабочая зона находится в месте выдвижения штока актуатора и охватывает один из блоков кас-

сет, а также отверстия подвижной платформы 1. На внешней поверхности подвижной платформы, которая приводится в движение шаговым электродвигателем 16, равномерно по окружности с шагом α установлены и зафиксированы блоки кассет.

В рабочую зону 15 входит высевочный аппарат в виде распределителя 8 с заслонкой 9, приводимой в действие дополнительным актуатором 17. Распределитель 8 установлен под подвижной платформой 13 в рабочей зоне, а его выгрузные отверстия и отверстия подвижной платформы выполнены совмещаемыми.

Актуаторы 14, 17 и электродвигатель 16 связаны с блоком управления 18, запрограммированным согласно плану посева делянок.

Наклонный лоток 20 для схода пустых кассет в контейнер 19 размещен на раме сеялки за распределителем 8. Блок управления обеспечивает согласование подачи семенного материала манипулятором РКЗУ со скоростью движения сеялки в соответствии с данными, поступающими от системы навигации 21, которая находится на раме или в кабине трактора. Подача семенного материала в семяпровод 5 отслеживается с помощью размещенного на семяпроводе датчика пролета 22 семенного материала. Подача кассет в рабочей зоне 15 контролируется датчиком положения кассет 23.

Роботизированная сеялка с РКЗУ карусельного типа при однорядном посеве работает в соответствии с алгоритмом (рис. 2). При многорядном посеве операция передвижения заслонки распределителя высевочного аппарата и вспомогательная операция возврата штока актуатора распределителя отсутствуют.

Сеялку агрегируют с трактором и подводят к началу делянок. Оператор-тракторист включает блок управления 18, вводит параметры делянки и способ посева (однорядный или многорядный). РКЗУ совершает вспомогательную операцию, при которой актуатор 14 перемещает кассеты в направлении распределителя. При этом семенной материал из ячеек первой в очереди кассеты блока, расположенного в рабочей зоне, выпадает в совмещенные между собой отверстия подвижной платформы и распределителя. Пустая кассета сходит по наклонному лотку в контейнер.

Сеялка начинает движение по селекционному участку. При однорядном посеве выгрузные отверстия высевочного аппарата последовательно открываются заслонкой распределителя, которая приводится в действие актуатором 17 и контролируется через блок управления с учетом данных системы навигации.

Сеялка по сигналу останавливается, по команде с блока управления актуатор 17 выдвигает шток и заслонка закрывает выгрузные отверстия распе-

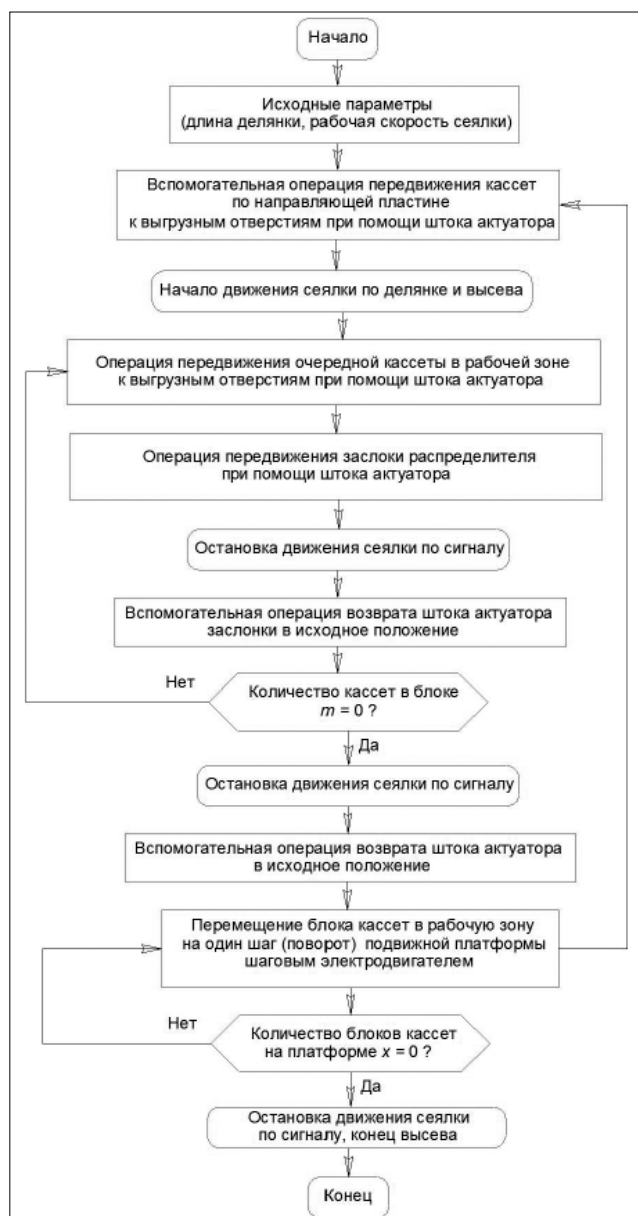


Рис. 2. Алгоритм работы сеялки с РКЗУ карусельного типа при однорядном посеве

Fig. 2. Operating algorithm of a seeder equipped with a robotic carousel-type cassette loading device for single-row sowing

делителя высевающего аппарата. После этого шток актуатора 14 выдвигается и подает очередную кассету 7 к отверстиям подвижной платформы 13. Процесс повторяется до момента, когда закончатся все кассеты блока, установленного в рабочей зоне.

При многорядном посеве заслонка распределителя высевающего аппарата находится в открытом положении. С помощью системы навигации, отслеживающей перемещение сеялки по селекционному участку, в соответствии со скоростью движения сеялки через блок управления регулируется скорость перемещения кассет по направляющей пластине 10 в рабочей зоне. Шток актуатора 14 выдвигается и

последовательно под контролем блока управления перемещает по направляющей пластине 10 кассеты с семенным материалом к распределителю.

Семенной материал при однорядном и многорядном посеве подается через совмещенные отверстия по семяпроводу 5 в сошник 3 и далее в борозду. После схода с направляющей пластины 10 всех кассет срабатывает датчик положения кассет 23, подается сигнал, и сеялка останавливается. По команде блока управления шток актуатора 14 возвращается в исходное положение.

Скорость подачи кассет 7 с семенами для многорядной сеялки [10] зависит от расстояния между семенами в одном рядке и от скорости движения сеялки:

$$V_{ПК} = B \cdot v_c / L_c, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где B – ширина кассеты, м; v_c – рабочая скорость движения сеялки м/с; L_c – расстояние между соседними семенами в одном рядке, м.

Для сеялки первого этапа работ в каждую кассету помещают одно семя. Ширина кассеты должна быть минимальной, принимаем $B = 0,01$ м; рабочая скорость на первом этапе работ принимаем $v_c = 0,28$ м/с (1 км/ч); расстояние между соседними семенами в одном рядке $L_c = 0,1–0,3$ м. Исходя из этих данных получены зависимости скорости подачи кассет от расстояния между семенами в одном рядке (рис. 3).

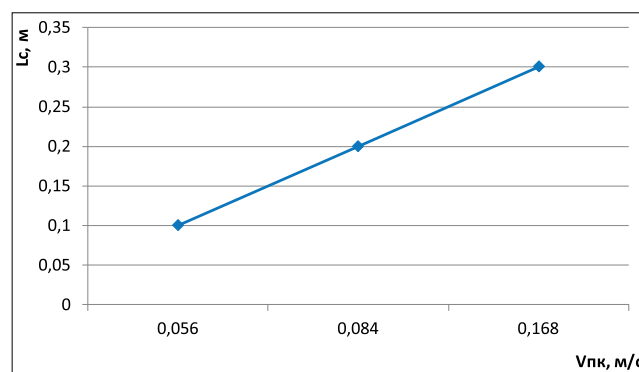


Рис. 3. Зависимость скорости подачи кассет с семенами для многорядной сеялки от расстояний между семенами в одном рядке при скорости движения сеялки 1 км/ч
Fig. 3. Dependency of the cassette feeding rate in a multi-row seeder on the intra-row seed spacing, and forward speed of the seeder 1 km per hour

При однорядном посеве скорость подачи кассет равна максимальной скорости выдвижения штока актуатора 14, а скорость подачи заслонки распределителя высевающего аппарата:

$$V_p = c \cdot v_c / L_c, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где c – ширина ячейки кассеты, для кассеты с шестью ячейками, $c = 0,03$ м.

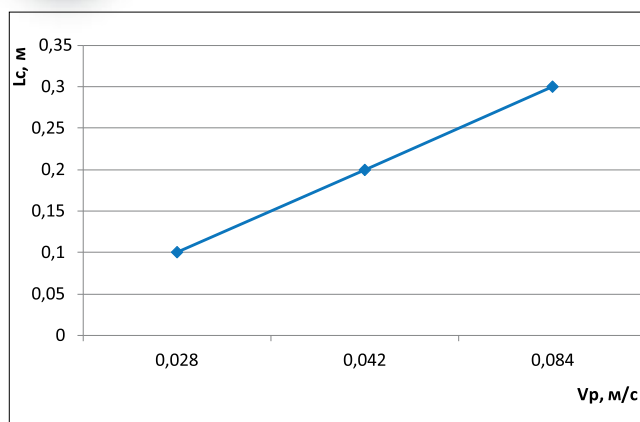


Рис. 4. Зависимость скорости открытия заслонки распределителя для однорядной сеялки от расстояний между семенами в одном рядке при скорости движения сеялки 1 км/ч

Fig. 4. Dependency of the distributor gate opening speed in a single-row seeder on the intra-row seed spacing and forward speed of the seeder 1 km per hour

Зависимость скорости открытия заслонки от расстояния между семенами в одном рядке показана на рисунке 4.

Для подачи нового блока кассет шаговый электродвигатель 16 поворачивает внешнюю подвижную платформу 13 на угол α , который зависит от количества блоков с кассетами, установленных на подвижной платформе 13. При этом следующий кассетный блок перемещается в рабочую зону 15 [11].

Операции подачи кассет и перемещения кассетных блоков повторяются. После освобождения всех кассет от семенного материала через блок управления подается сигнал об окончании работы сеялки.

Если семенной материал не прошел через семяпровод 5, то срабатывает датчик пролета 22, через блок управления 18 передается сигнал остановки сеялки до выяснения и устранения причины.

Подачу кассет к распределителю в рабочей зоне контролирует датчик положения кассет 23. В случае застревания кассет этот датчик через блок

управления подает звуковой сигнал оператору-трактористу, который останавливает работу сеялки и устраняет причину неисправности.

Из распределителя высевающего аппарата семена равномерно перемещаются в семяпровод и далее в борозду, образованную двухдисковым сошником. Заделывающе-выравнивающее устройство в виде прикатывающего катка засыпает рыхлой почвой посевной материал в борозде, поверхность почвы разравнивается и легко уплотняется.

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ по техническому заданию на основе патента RU 2848548 изготовлен экспериментальный образец роботизированной селекционной сеялки для первого этапа работ СССР-1 с зерновыми и другими культурами на базе самоходного шасси типа Т-16 (рис. 5). Технические характеристики разработанной сеялки СССР-1 представлены в таблице.



Рис. 5. Роботизированная селекционная сеялка СССР-1 для первого этапа работ

Fig. 5. Robotic selective seeder for early-stage breeding trials, SSSR-1

Таблица		Table
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЯЛКИ СССР-1 / TECHNICAL PARAMETERS OF THE SSSR-1 SEEDER		
Параметр		Значение
Назначение сеялки		Для посева зерновых и зернобобовых культур на селекционных делянках первого этапа работ
Тип сеялки		Селекционная на базе самоходного шасси типа Т-16 с роботизированным кассетным загрузочным устройством (РКЗУ)
Количество рядов для посева		6
Количество сошников двухдисковых		6
Количество РКЗУ карусельного типа		1
Привод устройств		РКЗУ карусельного типа – роботизированное устройство от электропривода; подъем и опускание сошников – гидропривод
Габаритные размеры, мм		3900 × 2000×2500
Масса устройства без загрузки семенным материалом, кг		2153

В результате лабораторных испытаний экспериментального образца были проверены параметры однозернового пунктирного посева деланки шириной 1 м в шесть рядов семян яровой пшеницы с междурядьями 15 см и расстоянием между семенами 20 см. Отклонение от нормы высева составило 1%, коэффициент вариации расстояний между семенами в одном рядке не выше 5%.

Роботизированная селекционная сеялка создаст предпосылки для повышения производительности основной операции посева и снижения трудоемкости на первом этапе работ селекции зерновых, зернобобовых, крупяных, некоторых масличных и пропашных сельскохозяйственных культур.

Выводы. Разработана конструкционная схема и алгоритм операций роботизированной селекционной сеялки для первого этапа работ. Роботизация обеспечивается интеграцией кассетного загрузочного устройства карусельного типа, которое подает семена в высевашеющий аппарат.

Предложен новый тип высевашеющего аппарата распределительного типа с дозирующей заслонкой.

Посев осуществляется под контролем системы навигации, отслеживающей перемещение сеялки по селекционному участку, и через блок управле-

ния регулируется скорость перемещения кассет.

Приведены формулы скорости подачи кассет с семенами при многорядном посеве и скорости перемещения заслонки распределителя при однорядном посеве. При рабочей скорости движения сеялки 1 км/ч и расстоянии между семенами в одном рядке от 0,1 до 0,3 м скорость перемещения кассет при многорядном посеве составила от 0,056 до 0,168 м/с. При однорядном посеве скорость перемещения заслонки распределителя высевашеющего аппарата варьируется от 0,028 до 0,084 м/с.

Разработан экспериментальный образец сеялки СССР-1 и проведены лабораторные испытания посева семян яровой пшеницы в шесть рядов с междурядьями 15 см и расстоянием между семенами 20 см на деланке шириной 1 м. Отклонение от нормы высева составило 1%, коэффициент вариации расстояний между семенами в одном рядке не превышает 5%.

Роботизированная сеялка обеспечит контроль качества выполнения посева зерновых и других культур на первом этапе работ в селекции и семеноводстве, создаст предпосылки для повышения производительности выполнения основной операции посева и снижения трудоемкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. N4. С. 63-68. DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
2. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Миронова А.В. Разработка и исследование дозирующей системы высевашеющего устройства пневматической сеялки // Техника и оборудование для села. 2021. N6 (288). С. 8-11. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-6-8-11.
3. Чаплыгин М.Е., Ценч Ю.С., Подзоров А.В. Развитие конструкций сеялок и технологий посева семян в ленте // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2025. Т. 19. N1. С. 103-110. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-103-110.
4. Московский М.Н., Смирнова Ю.Л. Разработка интерфейса и программного обеспечения для реализации системы автоматического высева // Инженерный вестник Дона. 2019. N7(58). С. 17. EDN: VSCJBT.
5. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Инновационный пневматический высевашеющий аппарат для совмещенного и пунктирного высева семян // Технический сервис машин. 2025. Т. 63. N2. С. 80-85. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-2-80-85.
6. Жалнин Э.В. Семеноводство России – приоритет импортозамещения // Сельский механизатор. 2016. N3. С. 2-3. EDN: VSLREX.
7. Ценч Ю.С., Несмиян А.Ю., Хомутова Н.С. История развития конструкции высевашеющих аппаратов зерновых сеялок // Вопросы истории естествознания и техники. 2020. Т. 41. N1. С. 102-117. DOI: 10.31857/S020596060008429-3.
8. Чулков А.С., Шайхов М.М., Чаплыгин М.Е., Текушев А.Х. Кассетные загрузочные устройства для высевашеющих аппаратов селекционных сеялок // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. N2(51). С. 74-81. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-2-74-81.
9. Cheng X.P., Li H.W., He J. et al. Optimization of operating parameters of seeding device in plot drill with seeding control system. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2021. N14(3). 72-80. DOI: 10.25165/j.ijabe.20211403.6218.
10. Чулков А.С., Шайхов М.М., Текушев А.Х. Селекционная сеялка на базе самоходного шасси с роботизированным кассетным загрузочным устройством // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2025. Т. 19. N1. С. 49-54. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-49-54.
11. Чулков А.С., Чаплыгин М.Е., Свиридов А.С., Степанов К.А. Определение параметров перемещения блока кассет в роботизированном кассетном загрузочном устройстве селекционной сеялки // Таврический вестник аграрной науки. 2024. N4(40). С. 240-248. DOI: 10.5281/zenodo.14184845.

REFERENCES

1. 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.
2. Akhalaia 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.
3. Chaplygin M.E., Tsench Yu.S., Podzorov A.V. Development of seeder designs and technologies for sowing seeds in a tape. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 103-110 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-103-110.
4. Moskovskiy M.N., Litvinov M.A., Smirnova Ju.L. Development of an interface and software for the implementation of an automatic seeding system. *Engineering Journal of Don*. 2019. N7(58). 17 (In Russian). EDN: VSCJBT.
5. Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Innovative pneumatic seeding machine for combined and dotted-row sowing. *Machinery Technical Service*. 2025. Vol. 63. N2. 80-85 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-2-80-85.
6. Zhalnin E.V. Russian seed production – the priority of import substitution. *Selskiy Mehanizator*. 2016. N3. 2-3 (In Russian). EDN: VSLREKS.
7. Tsench Yu.S., Nesmiyan A.Yu., Khomutova N.S. The History of development of seed-feeding devices on grain drills. *Studies in the History of Science and Technology*. 2020. Vol. 41. N1. 102-117 (In Russian). DOI: 10.31857/S020596060008429-3.
8. Chulkov A.S., Shaykhov M.M., Chaplygin M.E., Tekushev A.Kh. Cassette loading units for hanging devices of breeding seeders. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023. Vol. 70. N2(51). 74-81 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-2-74-81.
9. Cheng X.P., Li H.W., He J. et al. Optimization of operating parameters of seeding device in plot drill with seeding control system. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2021. N14(3). 72-80 (In English). DOI: 10.25165/j.ijabe.20211403.6218.
10. Chulkov A.S., Shaykhov M.M., Tekushev A.Kh. Selection seeder with a robotic cassette loading device mounted on self-propelled chassis. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 49-54 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-49-54.
11. Chulkov A.S., Chaplygin M.E., Sviridov A.S., Stepanov K.A. Determining the parameters for moving a cassette block in a robotic cassette loading device of a selection seeder. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024. N4(40). 240-248 (In Russian). DOI: 10.5281/zenodo.14184845.

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, подготовка текста, визуализация материалов, формирование общих выводов, доработка статьи, анализ литературных источников;
Юфев Л.Ю. – формулирование основных целей и задач исследования, формирование общих выводов;
Масчев О.В. – доработка и оформление текста, визуализация материалов, анализ литературных источников.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Chulkov A.S. – formulation of the main goals and objectives of the research, preparation of the text, visualization of materials, formation of general conclusions, revision of the article, analysis of literary sources;
Yuferev L.Yu. – formulation of the main goals and objectives of the study, the formation of general conclusions;
Mashev O.V. – revision of the text and design of materials, visualization of materials, analysis of literary sources.
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

14.09.2025
25.11.2025