

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.331

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-40-46>

Математическое моделирование работы конусного высевающего аппарата селекционной сеялки

А.С. Чулков¹, М.М. Шайхов²^{1,2} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ andrei.chulkov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>² mars.shaihov@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>

Аннотация. При посеве зерновых и зернобобовых культур на 2-м и 3-м этапах селекционных работ используют конусный порционный высевающий аппарат. Для согласования движения сеялки по делянке и работы конусного высевающего аппарата необходимо установить зависимость параметров работы высевающего аппарата от параметров селекционного посева. С целью установления этой зависимости с помощью физико-математического аппарата исследовали параметры работы конусного высевающего аппарата селекционной сеялки для 2-го и 3-го этапов работ от параметров посева зерновых и зернобобовых культур на делянке. Вывели формулу функциональной зависимости угловой скорости вращения конуса высевающего аппарата от рабочей скорости движения сеялки и длины делянки, а также формулу для нахождения линейной скорости перемещения обводной ленты конусного высевающего аппарата. Рассчитали, что для сеялки СКС-6-10 на 2-м этапе работ на делянке длиной от 1 до 5 м и рабочей скорости сеялки от 1,0 до 2,0 км/ч угловая скорость вращения конуса высевающего аппарата варьируется от 0,35 до 3,49 с⁻¹, для 3-го этапа работ на делянке протяженностью 2...20 м и рабочей скорости сеялки от 1,0 до 3,0 км/ч – от 0,09 до 2,62 с⁻¹. Рассчитали, что в конусных высевающих аппаратах сеялок Wintersteiger AG линейная скорость перемещения обводной ленты для 2-го этапа работ на делянке длиной от 1 до 5 м и рабочей скорости сеялки от 1,0 до 2,0 км/ч составила от 0,025 до 0,25 м/с, для 3-го этапа работ на делянке протяженностью от 2 до 20 м и рабочей скорости сеялки от 1,0 до 3,0 км/ч – от 0,013 до 0,38 м/с. Представленные математические модели могут использоваться при разработке селекционной сеялки с конусным высевающим аппаратом, оснащенной электронным управлением и контролем посева, а также системой навигации для повышения качества посева.

Ключевые слова: посев; конусный порционный высевающий аппарат; математическое моделирование; селекционная сеялка; скорость вращения конуса высевающего аппарата; линейная скорость перемещения обводной ленты

Для цитирования: Чулков А.С., Шайхов М.М. Математическое моделирование работы конусного высевающего аппарата селекционной сеялки // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 40-46. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-40-46>

ORIGINAL ARTICLE

Mathematical modeling of the operation of a cone-type seeding unit of a crop breeding seeder

A.S. Chulkov¹, M.M. Shaykhov²^{1,2} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia¹ andrei.chulkov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>² mars.shaihov@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>

Abstract. When sowing cereals and leguminous crops at the 2nd and 3rd stages of the crop breeding process, use is made of a cone-type batch seeding unit. In order to coordinate the seeder movement on the plot and the operation of the cone-type seeding unit, it is necessary to establish the relationship between the seeding unit parameters and the parameters of crop breeding sowing. To establish this relationship with the use of physical and mathematical tools, they authors studied the operating parameters of the cone-type seeding unit of the crop breeding seeder for the 2nd and 3rd technological stages using the parameters of sowing grain and leguminous crops on the plot. They have obtained the formula of functional dependency of the angular rotation speed of the cone-type seeding unit on the operating speed of the seeder and the length of the plot, as well as the formula for finding the linear speed of the bypass belt of the cone-type seeding unit. The calculations have shown that for the planter SKS-6-10 at the 2nd technological stage on the plot

with a length of 1 to 5 m and the working speed of the seeder from 1.0 to 2.0 km/h, the angular rotation speed of the cone-type seeding unit varies between 0.35 and 3.49 s⁻¹. For the 3rd technological stage on the plot with a length between 2 and 20 m and the working speed of the seeder between 1.0 and 3.0 km/h, this indicator ranges between 0.09 and 2.62 s⁻¹. Cone-type seeding units of Wintersteiger AG planters have proved to have the linear speed of the bypass belt movement ranging between 0.025 to 0.25 m/s for the 2nd technological stage on the plot with a length between 1 and 5 m and working speed of the seeder between 1.0 and 2.0 km/h. For the 3rd technological stage on the plot with a length between 2 and 20 m and a working speed of the planter between 1.0 and 3.0 km/h, the speed ranges between 0.013 and 0.38 m/s. The presented mathematical models can be used in designing a crop breeding seeder with a cone-type seeding unit, equipped with electronic control and seeding control, as well as a navigation system to improve the quality of sowing.

Keywords: sowing; cone-type batch seeding unit; mathematical modeling; crop breeding seeder; rotation speed of the seeder cone; linear speed of the bypass belt movement

For citation: Chulkov A.S., Shaykhov M.M. Mathematical modeling of the operation of a cone-type seeding unit of a crop breeding seeder. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):40-46 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-40-46>

Введение

При посеве зерновых и зернобобовых культур на 2-м и 3-м этапах селекционных работ широко применяют многорядные селекционные сеялки с конусными высевальными аппаратами [1, 2]: для 2-го этапа – с автономными порционными аппаратами¹, например, СКС-6-10, СССР-2 (Россия), Rowseed S (Wintersteiger AG, Австрия), SR-30 (Haldrup, Германия) [3, 4]; для 3-го этапа – с порционным аппаратом центрального распределения², например, ССН-7 (Россия), Plotseed S (Wintersteiger AG, Австрия), SB-25 (Haldrup, Германия) [5, 6].

Работа конусного высевального аппарата должна быть согласована с перемещением сеялки по селекционной деланке.

Математическими моделями по согласованию работы конусного высевального аппарата и передвижения селекционной сеялки по деланке заданной длины занимались в разное время многие ученые.

В 80-е гг. XX в. Н.Н. Ульрих и другие ученые рассматривали взаимосвязь технических и технологических параметров с учетом изменяемого передаточного отношения механической коробки передач привода высевального аппарата [6, 7].

В 2019 г. М.Н. Московский, М.А. Литвинов и другие ученые представили математическое моделирование процесса селекционного посева с учетом возможного буксования и изменения рабочей скорости сеялки на фоне нестабильных внешних погодных и почвенных условий. При этом использовались энкодеры, установленные на ведомых колесах сеялки [8, 9].

В 2021 г. китайский ученый Х.Р. Cheng и другие ученые оптимизировали рабочие параметры

высевающего аппарата (высота подъема стакана-дозатора, частота вращения конуса и др.) в сеялке с системой управления высевом [10].

При разработке новых технических средств и технологий в различных отраслях сельского хозяйства, в том числе для селекционного посева, стали широко внедрять цифровизацию и роботизацию. Однако при разработке роботизированных селекционных сеялок с высевальным аппаратом конусного типа учитываются не все требования.

В связи с повышенными требованиями к контролю за качеством выполнения посева зерновых и других культур в селекции и семеноводстве в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разрабатываются селекционные сеялки с электронным управлением и контролем посева, в том числе с роботизированным кассетным загрузочным устройством для подачи семян в высевальную аппарат [11-13]. Для согласования работы высевального аппарата и движения сеялки по деланке необходимо составить математическую модель для программного обеспечения управления работой высевального аппарата.

Цель исследований: построить математическую модель для исследования зависимости параметров работы конусного высевального аппарата селекционной сеялки для 2-го и 3-го этапов работ от параметров посева зерновых и зернобобовых культур на деланке.

Материалы и методы

Методика математического моделирования представляет собой установление взаимосвязи через физико-математические зависимости базового параметра длины деланки (в соответствии с ОСТ 4673-78), на которой должно быть посеяно необходимое количество семян, входящего параметра рабочей скорости движения сеялки и выходного параметра скорости вращения конуса высевального аппарата или скорости движения обводной ленты.

¹ Анискин В.И., Некипелов Ю.Ф. Механизация опытных работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. М.: ВИМ, 2004. 200 с.

² То же.

Расчеты параметров работы конусного высевашего аппарата по выведенным формулам выполнены с использованием приложения Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Конусные высевашие аппараты применяются на селекционных сеялках для 2-го и 3-го этапов посева семян сельскохозяйственных культур на делянках определенной длины. Семенной материал подается в аппарат ограниченными порциями, соответствующими заданной норме высева, из кассет при помощи

кассетного загрузочного устройства или вручную оператором, и равномерно распределяется по основанию конуса³ [3].

Параметры селекционного посева согласно ОСТ 4673-78 представлены в таблице.

Конусные высевашие аппараты автономного высева и центрального распределения (рис. 1) имеют следующие основные элементы конструкции: распределительный конус 1, стакан-дозатор 2, загрузочную воронку 3, корпус или обводную ленту 4, семяпровод 5, привод высевашего аппарата 6 (механический или электрический).

Таблица

Параметры посева на 2-м и 3-м этапах селекционных работ по ОСТ 4673-78

Table

Sowing parameters at the 2nd and 3rd stages of crop breeding operations according to OST 4673-78

Параметр посева / Sowing parameter	2-й этап / 2nd stage	3-й этап / 3rd stage
Длина делянки, L_d , м / Plot length, L_d , m	1...5	2...20
Ширина межъярусной дорожки, м / Width of a tier track, m	не более 2 м / not more than 2 m	не более 6 м / not more than 6 m
Число рядков в делянке / Number of rows in the plot	1...6	3...10
Количество семян в делянке / Number of seeds in the plot: – зерновых культур / cereal crops – зернобобовых культур / leguminous crops	до 500 шт. / up to 500 pcs до 300 шт. / up to 300 pcs	до 1,0 кг / up to 1.0 kg до 1,7 кг / up to 1.7 kg

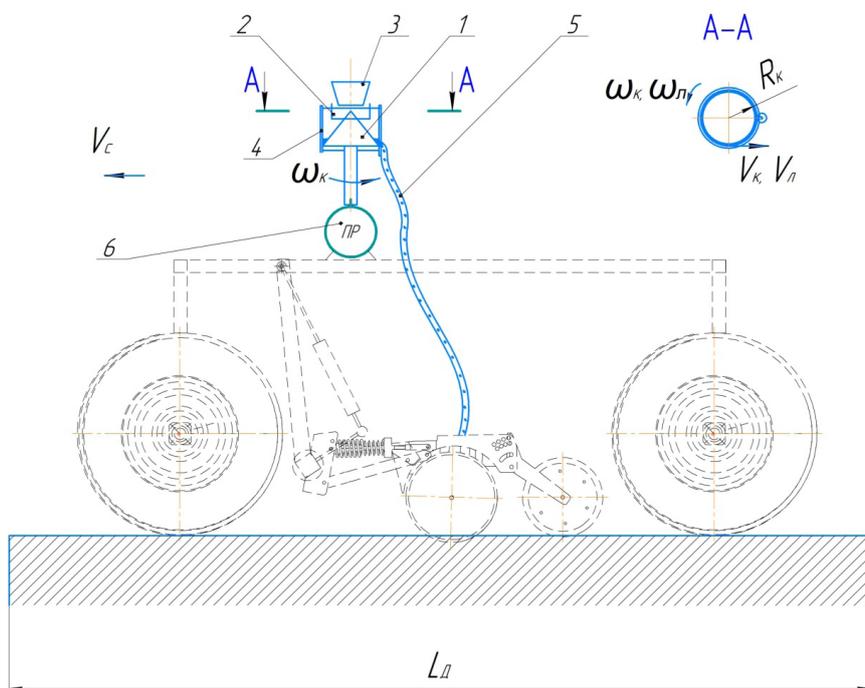


Рис. 1. Схема работы конусного высевашего аппарата селекционной сеялки при посеве на делянке:

- 1 – распределительный конус; 2 – стакан-дозатор; 3 – загрузочная воронка;
- 4 – корпус или обводная лента; 5 – семяпровод; 6 – привод высевашего аппарата

Fig. 1. Operation flowchart of a cone-type seeding unit of the crop breeding seeder when sowing on the plot:

- 1 – distribution cone; 2 – metering nozzle; 3 – feeding funnel; 4 – housing or bypass belt;
- 5 – seed tube; 6 – drive of the sowing unit

³ Анискин В.И., Некипелов Ю.Ф. Механизация опытных работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. М.: ВИМ, 2004. 200 с.

Конусные аппараты могут быть с вращающимся или неподвижным конусом. Например, в сеялке СКС-6-10, оборудованной механическим приводом высевашего аппарата, подвижный конус приводится во вращение от коробки перемены передач и перемещает семена к выгрузному отверстию, а в сеялках Wintersteiger AG с электроприводом конус высевашего аппарата неподвижен, при этом семена перемещаются при помощи обводной ленты [9, 10].

Перед началом движения сеялки по деланке или при проезде межъярусной дорожки семена из стакана-дозатора подаются на конус и равномерно распределяются вдоль окружности его основания. При основании конуса находится отверстие, через которое семена сходят с конуса и попадают в семяпровод, по которому они подаются в сошник, направляющий их в борозду.

Для получения математической модели работы конусного высевашего аппарата определим зависимости параметров его работы от параметров посева зерновых и зернобобовых культур на селекционных деланках 2-го и 3-го этапов работ.

При составлении уравнений в ходе математического моделирования скорость вращения конуса во время посева семян на деланке принята постоянной, без учета его начального разгона и конечного торможения. Данное допущение связано с его небольшой скоростью вращения и малой инертностью.

В высевашем аппарате с вращающимся конусом один оборот конуса соответствует по времени, прохождению сеялкой расстояния, равного длине деланки. При этом время (t_k , с), в течение которого конус совершает один оборот, должно быть равным времени засева деланки (t_d , с):

$$t_k = t_d. \quad (1)$$

Время засева деланки определяется по выражению:

$$t_d = L_d / v_c \quad (2)$$

где L_d – длина деланки, м; v_c – рабочая скорость движения сеялки при посеве деланки, м/с.

Частота вращения конуса высевашего аппарата (n_k , об/с) с учетом (1) –

$$n_k = 1 / t_d \quad (3)$$

Из (3) с учетом (2) получим:

$$n_k = v_c / L_d \quad (4)$$

Угловая скорость (ω_k , рад/с) вращения конуса высевашего аппарата –

$$\omega_k = 2\pi \cdot n_k \quad (5)$$

Из (5) с учетом (4) получим следующее выражение для определения угловой скорости вращения конуса:

$$\omega_k = 2\pi \cdot v_c / L_d \quad (6)$$

Математическая модель (6) работы высевашего аппарата с вращающимся конусом представляет собой функциональную зависимость угловой скорости ω_k от двух технологических параметров селекционного посева – длины деланки L_d и рабочей скорости v_c движения сеялки:

$$\omega_k = f(L_d, v_c).$$

В конусных высеваших аппаратах с неподвижным конусом семена перемещаются вдоль окружности основания конуса при помощи обводной ленты. Элементы ленты при огибании конуса движутся по дуге окружности с угловой скоростью (ω_l , рад/с). При этом линейная скорость (v_l , м/с) перемещения ленты отвечает выражению:

$$v_l = \omega_l \cdot R_k \quad (7)$$

где ω_l – угловая скорость движения элементов обводной ленты вдоль дуги основания конуса, рад/с; R_k – радиус основания конуса высевашего аппарата, м.

Формула для определения ω_l совпадает с выражением (6):

$$\omega_l = 2\pi \cdot v_c / L_d \quad (8)$$

С учетом (8) выражение (7) примет вид:

$$v_l = 2\pi \cdot R_k \cdot v_c / L_d \quad (9)$$

Математическая модель (9) работы высевашего аппарата с неподвижным конусом представляет собой функциональную зависимость линейной скорости обводной ленты v_l от трех параметров – длины деланки L_d , рабочей скорости v_c движения сеялки и радиуса R_k основания конуса высевашего аппарата:

$$v_l = f(L_d, v_c, R_k).$$

Скорость перемещения семян по дуге окружности основания конуса, совпадающая с линейной скоростью перемещения ленты или линейной скоростью точек кромки основания вращающегося конуса, определяется также по формуле (9).

С использованием приложения Microsoft Excel по выведенным формулам (6) и (9) выполнены расчеты параметров работы конусного высевашего аппарата.

Расчет угловой скорости ω_k вращения конуса по формуле (6) выполнен для конусных высеваших аппаратов сеялки СКС-6-10, которая может применяться в комплектации для 2-го этапа работ с высевашим аппаратом автономного посева и касетным загрузочным устройством или для 3-го этапа работ с высевашим аппаратом центрального распределения.

Зависимость угловой скорости ω_k вращения конуса от длины деланки L_d и рабочей скорости v_c движения сеялки представлена на рисунке 2.

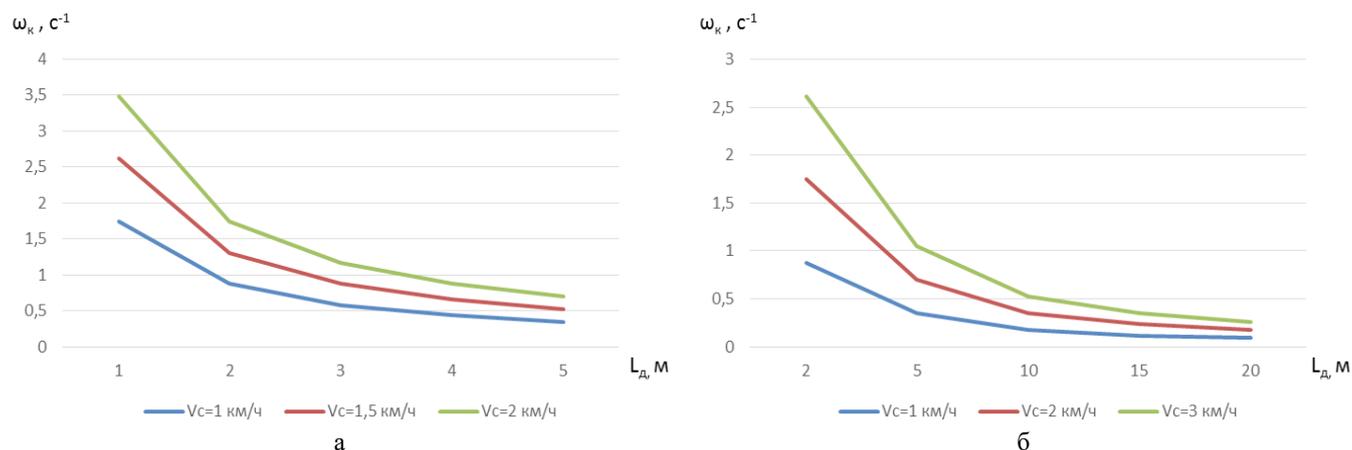


Рис. 2. Зависимость угловой скорости вращения конуса (ω_k) от длины делянки (L_d) при различных рабочих скоростях сеялки (v_c):

а – для высевашего аппарата автономного посева на 2-м этапе работ;
 б – для высевашего аппарата центрального распределения на 3-м этапе работ

Fig. 2. Relationship between the angular speed of cone rotation (ω_k) and the length of the plot (L_d) at different working speeds of the seeder (v_c):

а – for a seeding unit of autonomous seeding at the 2nd technological stage;
 б – for a seeding unit of central distribution at the 3rd technological stage

Угловая скорость ω_k вращения конуса высевашего аппарата сеялки СКС-6-10 варьируется: для 2-го этапа работ – от 0,35 до 3,49 c^{-1} (рад/с) на делянке длиной от 1 до 5 м при рабочей скорости движения сеялки от 1,0 до 2,0 км/ч, для 3-го этапа работ – от 0,09 до 2,62 c^{-1} (рад/с) на делянке от 2 до 20 м при рабочей скорости движения сеялки от 1,0 до 3,0 км/ч.

Расчет линейной скорости перемещения обводной ленты v_l выполнен для конусных высеваших аппаратов Wintersteiger AG: модели Rowseed S –

для 2-го этапа работ с аппаратом автономного посева и кассетным загрузочным устройством, модели Plotseed S – для 3-го этапа работ с аппаратом центрального распределения.

Зависимости линейной скорости перемещения обводной ленты v_l от длины делянки L_d , рабочей скорости v_c движения сеялки и радиуса R_k основания конуса высевашего аппарата (для аппарата автономного посева $R_k = 0,072$ м, для аппарата центрального распределения $R_k = 0,145$ м) представлены на рисунке 3.

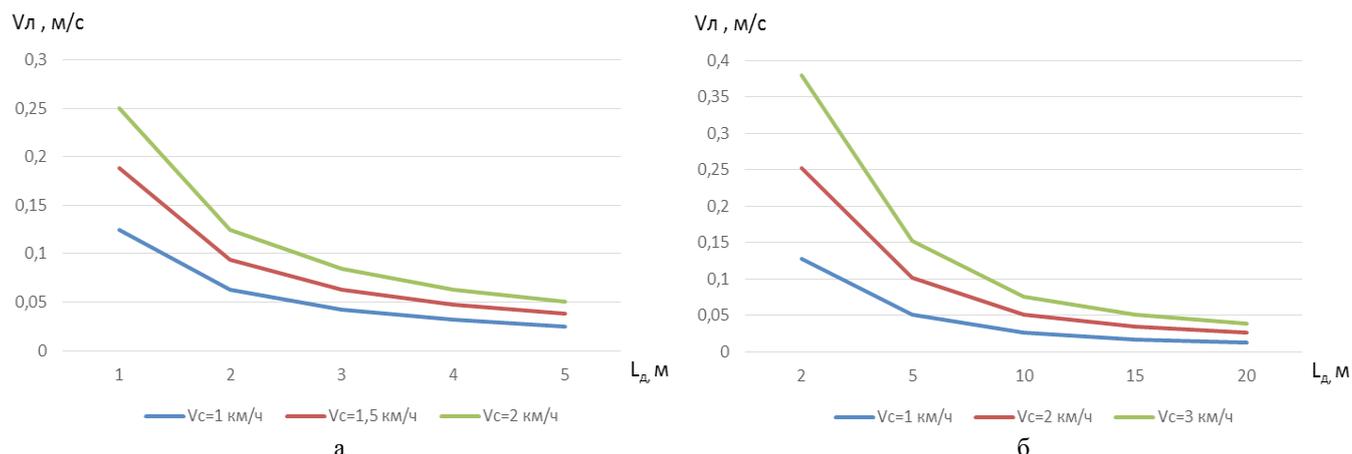


Рис. 3. Зависимость линейной скорости перемещения обводной ленты (v_l) от длины делянки (L_d), рабочей скорости сеялки (v_c) и радиуса основания конуса высевашего аппарата (R_k):

а – для высевашего аппарата автономного посева на 2-м этапе работ;
 б – для высевашего аппарата центрального распределения на 3-м этапе работ

Fig. 3. Relationship between the linear speed of bypass belt movement (v_l), plot length (L_d), seeder working speed (v_c), and seeder cone base radius (R_k):

а – for a seeding unit of autonomous seeding at the 2nd technological stage;
 б – for a seeding unit of central distribution at the 3rd technological stage

Линейная скорость перемещения обводной ленты ($v_{л}$) в конусных высевальных аппаратах сеялок Wintersteiger AG варьируется: для 2-го этапа работ – от 0,025 до 0,25 м/с на делянке длиной от 1 до 5 м при рабочей скорости движения сеялки от 1,0 до 2,0 км/ч, для 3-го этапа работ – от 0,013 до 0,38 м/с на делянке от 2 до 20 м при рабочей скорости движения сеялки от 1,0 до 3,0 км/ч.

Полученные детерминированные математические модели (6) и (9) зависимости параметров работы конусных высевальных аппаратов от рабочей скорости движения селекционной сеялки, длины делянки и радиуса основания конуса необходимы при разработке селекционных сеялок с электронным управлением и контролем высева с использованием системы навигации.

Выводы

1. Для согласования движения сеялки по делянке и работы конусного высевального аппарата

установлена зависимость параметров работы высевального аппарата от параметров селекционного посева.

2. Угловая скорость вращения конуса высевального аппарата сеялки СКС-6-10 для 2-го этапа работ варьируется от 0,35 до 3,49 с⁻¹ (рад/с) при рабочей скорости сеялки 1,0...2,0 км/ч, для 3-го этапа работ – от 0,09 до 2,62 с⁻¹ при скорости сеялки 1,0...3,0 км/ч.

3. Линейная скорость перемещения обводной ленты в конусных высевальных аппаратах сеялок Wintersteiger AG для 2-го этапа работ изменяется в диапазоне 0,025...0,25 м/с при рабочей скорости сеялки 1,0...2,0 км/ч, для 3-го этапа работ – от 0,013 до 0,38 м/с при скорости сеялки 1,0...3,0 км/ч.

4. Полученные результаты помогут разработать селекционную сеялку с электронным управлением и контролем высева с использованием системы навигации.

Список источников

1. 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. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89, № 5. С. 536-538. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
3. 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, № 1. С. 49-54. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2025-19-1-49-54>
4. 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 (51). С. 74-81. EDN: TUJELT
5. Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12, № 3. С. 45-52. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52>
6. Ульрих Н.Н. Механический посев на селекционных делянках // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1982. № 3. С. 4-8.
7. Ульрих Н.Н. Новые селекционные сеялки // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1982. № 2. С. 53-59.
8. Московский М.Н., Литвинов М.А., Пахомов И.В. Обоснование расположения селекционной сеялки с интеллектуальной системой управления высевом в межосевом пространстве самоходного шасси // *Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2019)*: Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ДГТУ (РИСХМ), с. Дивноморское, 4-14 сентября 2019 г. Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-ПРИНТ», 2019. С. 339-342. EDN: LMLKMG

References

1. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021;15(4):6-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Izmaylov A.Yu. Smart technologies and robotic means in agricultural production. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk*. 2019;89(5):536-538. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
3. 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;19(1):49-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2025-19-1-49-54>
4. Chulkov A.S., Shaykhov M.M., Chaplygin M.E., Tekushev A.H. Cassette loading units for hanging devices of breeding seeders. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(2):74-81. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2023-70-2-74-81>
5. Nesmian A.Yu., Tsench Yu.S. Tendencies and prospects for the development of domestic machinery for sowing grain crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018;12(3):45-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52>
6. Ulrich N.N. Mechanical sowing on selective plots. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 1982;3:4-8. (In Russ.)
7. Ulrich N.N. New plant-breeding seeders. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 1982;2:53-59. (In Russ.)
8. Moskovskiy M.N., Litvinov M.A., Pakhomov I.V. Justification of the location of the selection seeder with an intelligent seed control system in the center space of the self-propelled chassis. *Innovative technologies in science and education (ITNO-2019): Proceedings of the VII International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of DSTU (RISHM)*, Divnomorskoye, September 04-14, 2019. ООО «DGTU-PRINT», 2019. Pp. 339-342. EDN: LMLKMG. (In Russ.)
9. Moskovskiy M.N., Litvinov M.A., Belousov S.V. Theoretical bases of a course motion for a two axles agricultural vehicle according to wheels slipping. *Polythematic Online Scientific Journal*

9. Московский М.Н., Литвинов М.А., Белоусов С.В. Теоретические основы курсового движения двухосного сельскохозяйственного транспортного средства с учетом скольжения колес // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 154. С. 94-103. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-154-010>

10. 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;14(3):72-80. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211403.6218>

11. Чулков А.С., Шайхов М.М. Роботизированное кассетное загрузочное устройство конвейерного типа для селекционной сеялки // Техника и оборудование для села. 2024. № 6 (324). С. 20-22. EDN: ZMIJSQ

12. Чулков А.С., Чаплыгин М.Е., Шайхов М.М. Роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа для селекционной сеялки // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 3 (82). С. 99-107. EDN: UREWAC

13. Чулков А.С., Чаплыгин М.Е., Шайхов М.М. Обоснование параметров работы роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа для селекционной сеялки // Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34, № 4. С. 549-562. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.549-562>

of *Kuban State Agrarian University*. 2019;154:94-103. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-154-010>

10. 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;14(3):72-80. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211403.6218>

11. Chulkov A.S., Shaykhov M.M. Conveyor-type robotic cassette loading device for a selection seeder. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;6(324):20-22. (In Russ.)

12. Chulkov A.S., Chaplygin M.E., Shaykhov M.M. Carousel type robotic cassette loading device for breeding seeder. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(3):99-107. (In Russ.)

13. Chulkov A.S., Chaplygin M.E., Shaykhov M.M. Justifying the operation parameters of a robotic cassette loading device of the carousel type for a selection seeder. *Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(4):549-562. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.549-562>

Информация об авторах

¹ Чулков Андрей Сергеевич, канд. техн. наук; andrei.chulkov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>; SPIN-код: 1726-9749, AuthorID: 740463

² Шайхов Марсель Марселевич, ведущий специалист; mars.shaihov@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>; SPIN-код: 1076-9502, AuthorID: 574003

^{1,2} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Вклад авторов

А.С. Чулков – написание рукописи статьи и оформление материалов, методология, анализ источников литературы, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи; М.М. Шайхов – анализ источников литературы, формирование общих выводов, итоговая доработка текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 05.03.2025, после рецензирования и доработки 22.05.2025; принята к публикации 22.05.2025

Author Information

Andrey S. Chulkov¹, PhD (Eng); andrei.chulkov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>; Researcher ID: JOZ-1910-2023

Marsel M. Shaikhov², lead specialist; mars.shaihov@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>

^{1,2} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russia, Moscow, 1st Institutsky Proezd Str., 5

Author Contribution

A.S. Chulkov – writing – original draft, design of materials, research supervision, literature review, writing – general conclusions, review and editing of the manuscript;

M.M. Shaikhov – literature review, writing – general conclusions, review and editing of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 05.03.2025; Revised 22.05.2025; Accepted 22.05.2025