



Обоснование параметров работы роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа для селекционной сеялки

А. С. Чулков , М. Е. Чаплыгин, М. М. Шайхов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(г. Москва, Российская Федерация)

 andrei.chulkov@mail.ru

Аннотация

Введение. Разработка и внедрение автоматизированных и роботизированных машин и устройств для выполнения работ в селекции и семеноводстве зерновых и других культур создают условия для повышения производительности и снижения трудоемкости работ, способствуют наращиванию объемов производства отечественного посевного материала. Для посева культур на втором этапе селекционных работ применяются кассетные сеялки, в которых используются специальные загрузочные устройства для подачи кассет с разделенными на порции семенами к автономным высевальным аппаратам, число которых соответствует числу ячеек в кассете. Роботизированное кассетное загрузочное устройство селекционных сеялок предназначено для последовательного перемещения кассет с семенным материалом к высевальным аппаратам и подачи блоков кассет в рабочую зону по заданной программе при выполнении технологического процесса посева на делянках селекции зерновых, зернобобовых и других культур. При этом должно быть обеспечено строгое согласование работы роботизированного кассетного загрузочного устройства и высевальных аппаратов сеялки, а для этого необходимо обосновать конструктивно-технологические параметры загрузочного устройства с учетом его строения.

Цель исследования. Проанализировать работу роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа в системе взаимодействия рабочих органов сеялки при выполнении технологического процесса посева культур на селекционных делянках и обосновать его параметры для загрузки высевальных аппаратов селекционной сеялки.

Материалы и методы. Для определения параметров устройства использовали физико-математические зависимости, описывающие его работу в различных режимах при выполнении селекционного посева зерновых и других культур на втором этапе работ.

Результаты исследования. Обосновали параметры роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа для двух режимов работы: подачи кассет в рабочей зоне к выгрузным отверстиям рабочего стола и подачи блока кассет в рабочую зону. Рассчитаны параметры механизмов манипулятора: для актуатора, перемещающего кассеты, минимальное усилие составляет 7,2 Н, длина штока – 700 мм, скорость штока – 60 мм/с; для электродвигателя, вращающего подвижную платформу устройства, частота вращения выходного вала составляет 10 об/мин, минимально необходимая мощность на выходном валу привода подвижной платформы – 55,7 Вт.

Обсуждение и заключение. Определены конструктивно-технологические параметры роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа для загрузки высевальных аппаратов селекционной сеялки на втором этапе селекционных работ. Проведен расчет скорости подачи кассет, которая составляет 0,033 м/с во время основной операции выполнения посева для исходных параметров: рабочей

© Чулков А. С., Чаплыгин М. Е., Шайхов М. М., 2024



скорости движения сеялки 3,0 км/ч, длины деланки 1 м и длины межъярусной дорожки 0,5 м. Для режима подачи блока кассет рассчитали угловую скорость вращения подвижной платформы ($1,05 \text{ с}^{-1}$), при которой подача блока кассет будет происходить за 1 с.

Ключевые слова: посев зерновых культур, селекция, кассетная селекционная сеялка, роботизированное кассетное загрузочное устройство, манипулятор, блок кассет

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: авторы выражают признательность анонимным рецензентам.

Для цитирования: 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>

Justifying the Operation Parameters of a Robotic Cassette Loading Device of the Carousel Type for a Selection Seeder

A. S. Chulkov✉, M. E. Chaplygin, M. M. Shaykhov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM
(Moscow, Russian Federation)

✉ andrei.chulkov@mail.ru

Abstract

Introduction. The development and implementation of automated and robotic machines and devices for performing works on selection and seed production of grain and other crops creates conditions for increasing productivity and reducing labor intensity of work and contributes to increasing the production volume of domestic crop seeds. For sowing crops at the 2nd stage of selection work, there are used cassette seeders, which have special loading devices for feeding cassettes with seeds divided into portions to autonomous seeding units, the number of which corresponds to the number of cells in the cassette. The robotic cassette loading device of selection seeders is designed for successive movement of cassettes with seeds to the seeding units and for feeding cassette blocks to the working area according to a specified program when performing the technological process of sowing on seed plots for breeding grain, leguminous and other crops. In this case, there must be ensured strict coordination of the robotic cassette loading device and seeder seeding units operation and for this it is necessary to justify the engineering parameters of the robotic cassette loading device taking into account its design.

Aim of the Study. The study is aimed at analyzing the robotic cassette loading device operation in the interaction system between the seeder working parts during the technological process of sowing crops on selection breeding plots and justifying the parameters of the robotic cassette loading device of the carousel type for loading the selection seeder seeding units.

Materials and Methods. To determine the parameters of the robotic cassette loading device, there were used physical and mathematical dependencies describing the operation of the robotic cassette loading device in various modes during selection sowing of grain and other crops at the second stage of work.

Results. There were substantiated the parameters of the robotic cassette loading device of the carousel type for two operating modes: feeding cassettes in the working area to the discharge outlets of the work table and feeding a block of cassettes into the working area. There were calculated parameters of the manipulator mechanisms. For the actuator moving the cassettes, the minimum force is 7.2 N, the rod length is 700 mm, the rod speed is 60 mm/s, and for the electric motor rotating the robotic cassette loading device moving platform, the rotation frequency of the output shaft is 10 r/pm, the minimum required power on the output shaft of the moving platform drive is 55.7 W.



Discussion and Conclusion. There were determined the engineering parameters of the robotic cassette loading device of the carousel type for loading the seeding units of a selection seeder at the 2nd stage of selection work. The calculation of the cassette feed speed of 0.033 m/s during the main sowing operation was carried out for the initial parameters: the seeder operating speed of 3.0 km/h, the plot length of 1 m and the length of the inter-tier path 0.5 m. For the cassette block feed mode, there was calculated the angular velocity of rotation of the moving platform (1.05 radians per second), at which the cassette block feed will take 1 second.

Keywords: sowing of grain crops, selection, cassette selection seeder, robotic cassette loading device, manipulator, block cassette

Conflict of interest: The authors declare no conflicting interests.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to anonymous reviewers.

For citation: Chulkov A.S., Chaplygin M.E., Shaykhov M.M. Justification of 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>

Введение. Для выполнения работ в селекции и семеноводстве зерновых и других культур в сельскохозяйственном производстве осуществляется создание и распространение автоматизированных и роботизированных машин и устройств, что приводит к повышению производительности и снижению трудоемкости работ, способствует наращиванию объемов производства отечественного посевного материала. Разработка и применение новых селекционных сеялок с элементами роботизации технологического процесса должны обеспечить более качественное выполнение посева зерновых и других культур в селекционных и семеноводческих питомниках, уменьшение трудоемкости посева делянок [1–3].

Кассетные сеялки применяются для посева культур на 2-м этапе селекционных работ. Они имеют специальные загрузочные устройства для подачи кассет с разделенным на порции высеваемым материалом (семенами) к автономным высевальным аппаратам, число которых соответствует числу ячеек в кассете и общему числу рядков на делянке. Роботизированное кассетное загрузочное устройство (РКЗУ) селекционных сеялок предназначено для последовательного перемещения кассет с семенным материалом к высевальным аппаратам сеялки и подачи блоков кассет в рабочую зону по заданной программе при выполнении технологического процесса посева на делянках селекции зерновых, зернобобовых и других культур.

Целью исследования является анализ работы РКЗУ карусельного типа для загрузки высевальных аппаратов селекционной сеялки в системе взаимодействия рабочих органов сеялки при выполнении технологического процесса посева зерновых и других культур на селекционных делянках, а также обоснование параметров РКЗУ для основных режимов его работы.

Обзор литературы. На 2-м этапе селекции зерновых и зернобобовых культур для выполнения технологии посева применяют кассетные селекционные сеялки с порционными высевальными аппаратами автономного посева [4–6]. В конструкции указанных аппаратов применяется конус для равномерного распределения подаваемой в устройство порции семян вдоль его основания. При выполнении

посева каждая порция семян равномерно распределяется вдоль отдельного ряда засеваемой делянки. Загрузка семян в конусные высевальные аппараты осуществлялась при помощи кассетного загрузочного устройства, перестановку блоков кассет в которых осуществлял оператор вручную [7–9]. Для загрузки высевальных аппаратов семенами предложено применять РКЗУ карусельного типа, что позволит повысить производительность сеялки по сравнению с ранее применявшимися сеялками с кассетным загрузочным устройством и снизить трудоемкость за счет сокращения ручного труда при работе РКЗУ [10–12].

РКЗУ может быть интегрировано как в отечественные кассетные сеялки (типа СКС-6-10, СССэ-6 и др.¹), так и в сеялки зарубежной разработки компаний Wintersteiger Ag (Австрия), Haldrup (Германия) и др. [13–15].

Материалы и методы. Обоснование параметров РКЗУ карусельного типа провели с использованием физико-математического аппарата [16–18].

На основе принципиальной схемы (рис. 1) устройства по патенту РФ на изобретение № 2806909 разработаны алгоритм работы РКЗУ (рис. 2) и схемы для расчета параметров РКЗУ для двух режимов его работы (рис. 3, 4) [14].

Конструктивно-технологическая схема РКЗУ карусельного типа разработана в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012² и ОСТ 46 73-78³. При разработке схемы устройства применили структурный подход, основанный на разбиении роботизированного устройства на блоки по функциональному признаку, когда каждый блок выполняет отдельную функцию⁴.

Результаты исследования. Роботизированное кассетное устройство для загрузки высевальных аппаратов предназначено для установки на селекционную сеялку с целью посева зерновых, зернобобовых и других культур на 2-м этапе селекционных работ [9; 14; 15]. Согласно ОСТ 46 73-78 на данном этапе работ длина делянки L_d составляет от 1 до 5 м, длина междурядной дорожки $L_{мя}$ – не более 2 м.

Схема устройства по патенту РФ на изобретение № 2806909 «Роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа селекционной сеялки» [14] представлена на рисунке 1.

РКЗУ карусельного типа работает в двух режимах в соответствии с алгоритмом (рис. 2):

- режим подачи кассет в рабочей зоне к выгрузным отверстиям рабочего стола (поступательное движение кассет);
- режим подачи блока кассет в рабочую зону (вращательное движение подвижной платформы с установленными на ней блоками кассет).

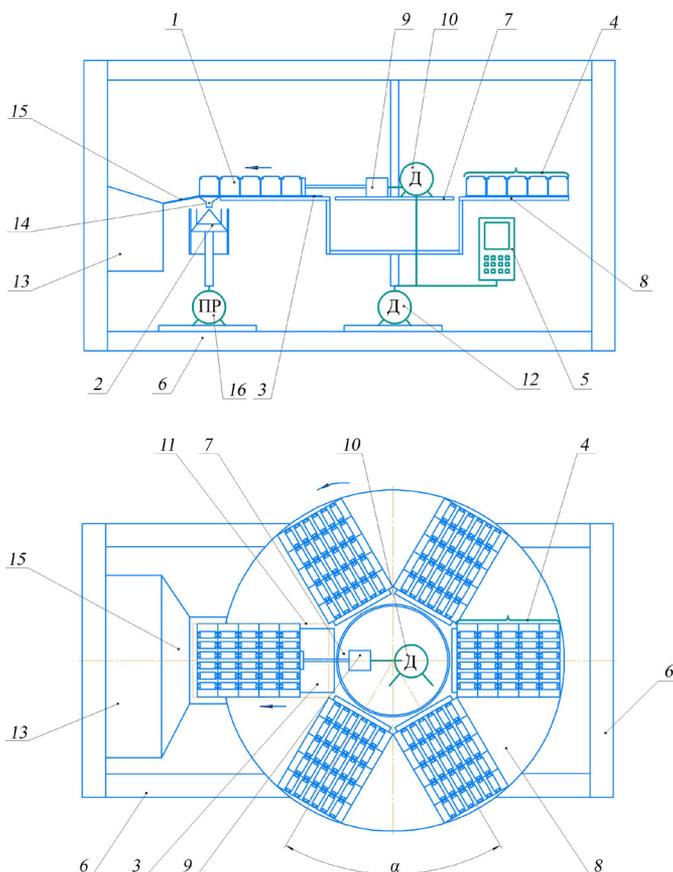
¹ Анискин В. И., Некипелов Ю. Ф. Механизация опытных работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. М. : ВИМ, 2004. 200 с.

² ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2019. 31 с. URL: <https://meganorm.ru/Data/707/70723.pdf> (дата обращения: 12.06.2024).

³ ОСТ 46 73-78. Рекомендации по применению терминов и определений в области механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. М. : Колос, 1979. 32 с.

⁴ Проектирование роботов и робототехнических систем : учебное пособие / В. Х. Пшихопов [и др.]. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2014. 196 с.

Определение конструктивно-технологических параметров для режима подачи кассет в рабочей зоне к выгрузным отверстиям. Схема для расчета параметров подачи кассет к выгрузным отверстиям представлена на рисунке 3.



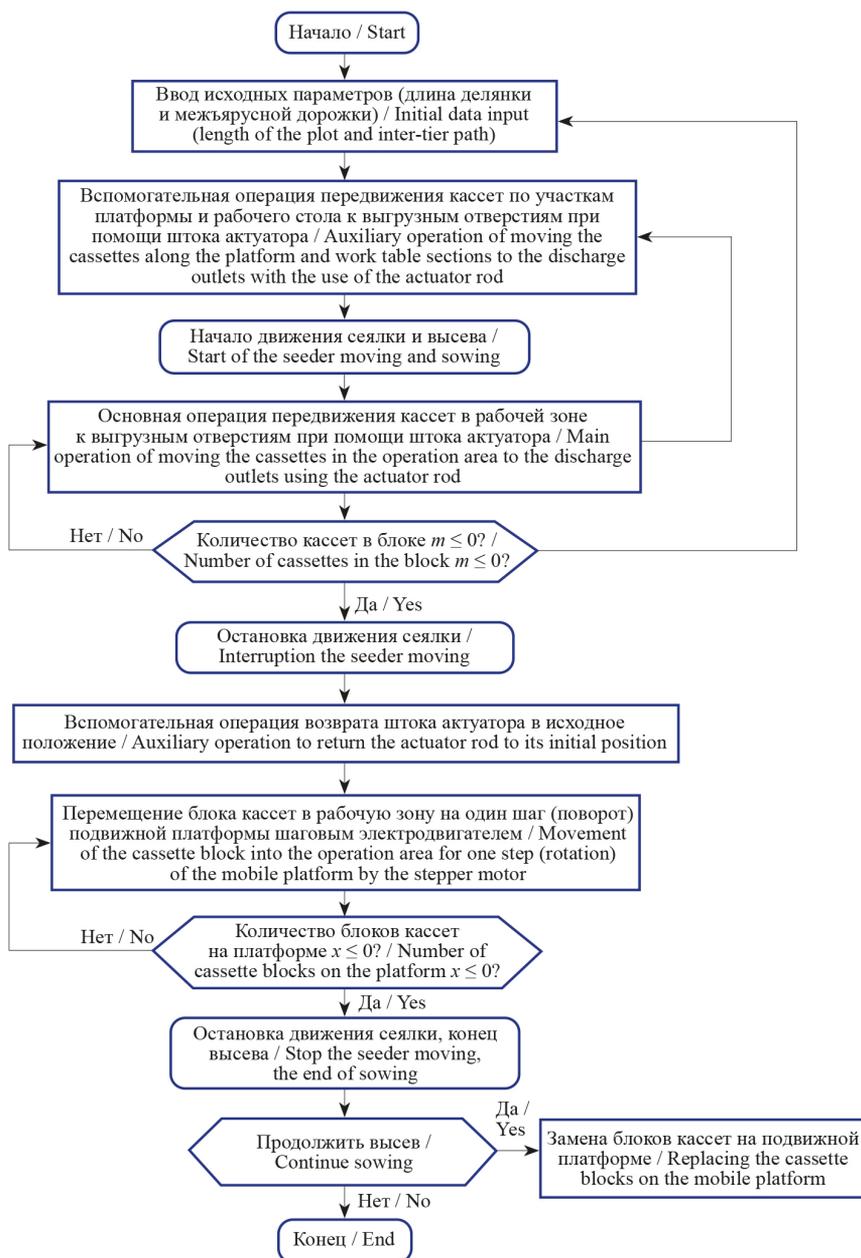
Р и с. 1. Принципиальная схема РКЗУ карусельного типа (вид сбоку и сверху):
 1 – кассета с ячейками для высеваемого материала; 2 – высевающий аппарат; 3 – направляющая пластина; 4 – кассетный блок; 5 – блок управления; 6 – рама; 7 – центральная неподвижная платформа; 8 – внешняя подвижная платформа; 9 – актуатор; 10 – электродвигатель привода актуатора; 11 – рабочая зона перемещения кассет; 12 – электродвигатель привода внешней подвижной платформы; 13 – контейнер для сбора пустых кассет; 14 – рабочий стол с выгрузными отверстиями; 15 – наклонный лоток для спуска пустых кассет; 16 – привод высевающего аппарата

F i g. 1. Schematic diagram of a carousel-type robotic cassette loading device (RCLD) (top and side views):
 1 – cassette with cells for the material to be sown; 2 – sowing device; 3 – guide plate; 4 – cassette block;
 5 – control unit; 6 – frame; 7 – central fixed platform; 8 – external movable platform; 9 – actuator;
 10 – actuator drive electric motor; 11 – operation area for moving cassettes; 12 – electric motor for driving the external moving platform; 13 – container for collecting empty cassettes; 14 – work table with discharge outlets; 15 – inclined tray for lowering empty cassettes; 16 – sowing device drive

Примечание: Д – электродвигатель; ПП – привод.
 Note: Д – electric motor; ПП – drive.

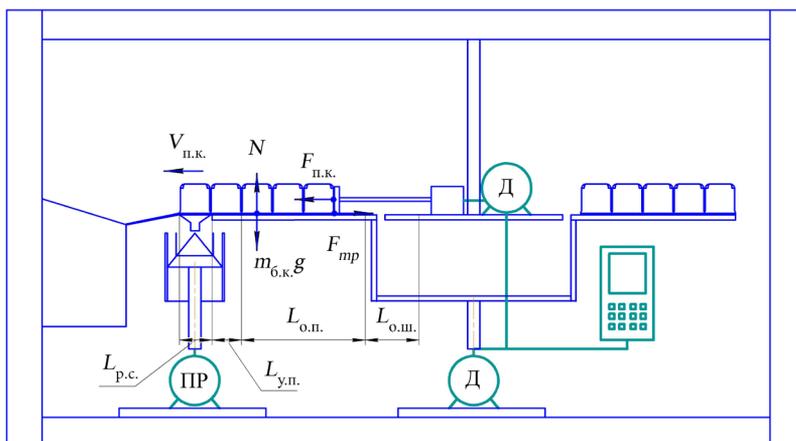
Источник: рисунок составлен авторами статьи по материалам патента на изобретение № 2806909 [14].

Source: the diagram is compiled by the authors of the article based on the materials of the patent for invention No. 2806909 [14].



Р и с. 2. Алгоритм работы РКЗУ карусельного типа
 F i g. 2. Algorithm of operation of a RCLD of a carousel type

Источник: здесь и далее рисунки составлены авторами статьи.
 Source: hereinafter in this article the diagrams are compiled by the authors of the article.



Р и с. 3. Схема для расчета параметров подачи кассет к выгрузным отверстиям
 F i g. 3. Scheme for calculating the parameters for feeding cassettes to the discharge outlets

Операцию подачи кассет в рабочей зоне к выгрузным отверстиям разделили на три: основную и две вспомогательных.

Первая вспомогательная операция предшествует началу посева и выполняется до движения сеялки по делянке, при этом должно быть обеспечено перемещение кассет штоком актуатора:

$$L_{в1} = L_{о.ш.} + L_{у.п.} + L_{п.с.},$$

где $L_{о.ш.}$ – длина перемещения штока актуатора от исходного положения в пределах центральной неподвижной платформы до начала рабочей зоны, равная величине его отвода от начала рабочей зоны до исходного положения во избежание столкновения со следующим подаваемым в рабочую зону блоком кассет, $L_{о.ш.} \geq 100$ мм; $L_{у.п.}$ – длина переходного участка платформы между направляющей пластиной и рабочим столом, $L_{у.п.} \leq 50$ мм; $L_{п.с.}$ – длина рабочего стола с выгрузными отверстиями, $L_{п.с.} = 225$ мм. Примем $L_{в1} = 100 + 50 + 225 = 375$ мм.

Основная операция подачи кассет в рабочей зоне к выгрузным отверстиям, под усилием штока актуатора, происходит во время прохождения сеялкой нескольких делянок и междюрусных дорожек. При этом крайняя, контактирующая со штоком, кассета перемещается во время операции посева на расстояние:

$$L_{о.п.} = B \cdot m,$$

где B – ширина кассеты, $B = 60$ мм = 0,06 м; m – количество кассет в блоке для представленной конструкции, $m = 5$ шт. Тогда $L_{о.п.} = 60 \cdot 5 = 300$ мм.

Вторая вспомогательная операция включает в себя возврат штока актуатора в исходное положение перед подачей следующего блока кассет с семенами. При этом шток перемещается на величину:

$$L_{в2} = L_{п.с.} + L_{у.п.} + L_{о.п.} + L_{о.ш.}. \quad (1)$$

По формуле (1): $L_{в2} = 225 + 50 + 300 + 100 = 675$ мм.

Необходимая длина выдвижения штока $L_{ш}$ определяется величиной $L_{в2} = 675$ мм и расположением корпуса актуатора на неподвижной платформе. Приняли $L_{ш} = 700$ мм.

Оценка усилия на передвижение кассет по направляющей пластине и другим элементам конструкции РКЗУ. При выполнении основной операции подачи кассет с семенами в рабочей зоне к выгрузным отверстиям кассеты скользят по направляющей пластине и далее по участкам подвижной платформы и рабочего стола.

Необходимое усилие $F_{п.к.}$, Н, на передвижение кассет можно определить с помощью оценки силы трения $F_{тр.}$, Н, скольжения по формуле:

$$F_{п.к.} \approx F_{тр.} = \mu_{ABS} \cdot N, \quad (2)$$

где μ_{ABS} – коэффициент трения скольжения (материал кассет, направляющих пластин, подвижной платформы РКЗУ и рабочего стола – ABS-пластик; приняли $\mu_{ABS} = 0,54$); N – нормальная реакция опоры, Н:

$$N = m_{б.к.} \cdot g, \quad (3)$$

где $m_{б.к.}$ – масса пяти загруженных семенами кассет, $m_{б.к.} = 1,36$ кг; g – ускорение свободного падения, $g \approx 9,81$ м/с².

Из формулы (2), с учетом (3), определили оценку усилия на передвижение кассет с семенами при их подаче к выгрузным отверстиям: $F_{п.к.} \approx 7,2$ Н.

Определение необходимой скорости подачи кассет при непрерывном движении по направляющей пластине к выгрузным отверстиям рабочего стола. Указанная величина должна быть согласована с рабочей скоростью движения сеялки по деланке и межъярусной дорожке и работой высевающего аппарата.

Учитывали, что рабочая скорость движения сеялки v_c по деланке варьируется (для сеялки СКС-6-10 рекомендуемая скорость 1,15 км/ч согласно ТУ 46-16-466-83, для сеялки СССэ-6 – до 3,0 км/ч) [8]. Приняли указанные значения скоростей для дальнейших исследований конструктивно-технологических параметров РКЗУ карусельного типа.

Выполнили расчет скорости подачи кассет для значений исходных параметров: минимальной длины деланки $L_d = 1$ м (согласно ОСТ 46 73-78); длины межъярусной дорожки $L_{мя} = 0,5$ м; максимальной рабочей скорости движения сеялки $v_c = 3,0$ км/ч $\approx 0,83$ м/с. При большей длине деланок и межъярусных дорожек и меньшей рабочей скорости движения сеялки во время выполнения основной операции посева для обеспечения работы РКЗУ на посеве 2-го этапа селекционных работ (согласно ОСТ 46 73-78) скорость перемещения штока актуатора (подачи кассет) может быть меньше.

Параметры работы высевающего аппарата сеялки и подачи кассет РКЗУ должны быть согласованы по времени. Время засева деланки:

$$t_d = L_d / v_c. \quad (4)$$

При длине деланки $L_d = 1$ м по формуле (4) получили: $t_d = 1 / 0,83 \approx 1,2$ с.
Время прохождения сеялкой межъярусной дорожки:

$$t_{\text{мя}} = L_{\text{мя}} / v_c. \quad (5)$$

При длине межъярусной дорожки $L_{\text{мя}} = 0,5$ м по формуле (5):

$$t_{\text{мя}} = 0,5 / 0,83 \approx 0,6 \text{ с.}$$

Суммарное время засева делянки и прохождения сеялкой межъярусной дорожки:

$$t_{\text{д.мя}} = t_{\text{д}} + t_{\text{мя}}. \quad (6)$$

По формуле (6): $t_{\text{д.мя}} \approx 1,2 + 0,6 = 1,8$ с.

Скорость подачи кассеты во время основной операции подачи кассет в рабочей зоне к выгрузным отверстиям при прохождении сеялкой делянки и межъярусной дорожки:

$$v_{\text{п.к.}} = B / t_{\text{д.мя}},$$

где B – длина пути прохождения кассеты к выгрузным отверстиям, равная ширине кассеты, $B = 60$ мм = 0,06 м. Тогда $v_{\text{п.к.}} = 0,06 / 1,8 = 0,033$ м/с.

Выдвижение и возврат штока в исходное положение на вспомогательных операциях во время остановки сеялки необходимо выполнять максимально быстро, чтобы время остановки было минимальным. При этом скорость выдвижения и возврата штока $v_{\text{в.ш.}}$ на вспомогательных операциях должна удовлетворять условию:

$$v_{\text{в.ш.}} \geq v_{\text{п.к.}}. \quad (7)$$

Поэтому с учетом условия (7) для расчетов приняли $v_{\text{в.ш.}} = 60$ мм/с. При этой скорости возврат штока в исходное положение при перемещении на $L_{\text{в2}} = 675$ мм происходит за время $t_{\text{в.ш.}} \approx 11,3$ с.

Актуатор для перемещения кассет подбирается по следующим основным параметрам: усилию 7,2 Н; длине штока $L_{\text{ш}} = 700$ мм; скорости выдвижения и возврата штока $v_{\text{в.ш.}} = 60$ мм/с.

Определение параметров для режима подачи блока кассет в рабочую зону при вращении подвижной платформы РКЗУ карусельного типа. Усилие $F_{\text{п}}$ сопротивления вращению подвижной платформы оценили по формуле:

$$F_{\text{п}} = \mu \cdot N_{\text{п}}, \quad (8)$$

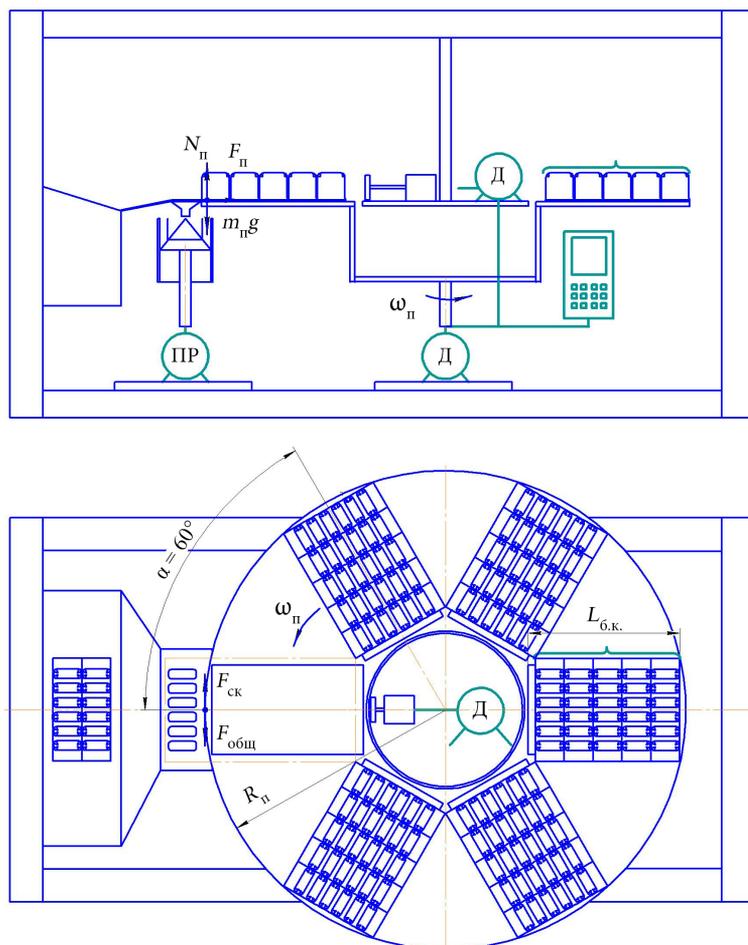
где μ – коэффициент трения стального вала электродвигателя в опоре, на которой закреплена подвижная платформа, $\mu = 0,3$; $N_{\text{п}}$ – нормальная реакция опоры подвижной платформы с установленными на ней блоками кассет с семенами, Н:

$$N_{\text{п}} = m_{\text{п}} \cdot g, \quad (9)$$

где $m_{\text{п}}$ – масса подвижной платформы с установленными на ней блоками кассет с семенами, кг; $m_{\text{п}} = 30,0$ кг; g – ускорение свободного падения, м/с², $g = 9,81$ м/с².

По формуле (8), с учетом (9), получили: $F_{\text{п}} = 88,29$ Н.

Схема для расчета параметров в режиме подачи блока кассет представлена на рисунке 4.



Р и с. 4. Схема для расчета параметров РКЗУ карусельного типа для режима подачи блока кассет при вращении подвижной платформы (вид сбоку и сверху)

Fig. 4. Scheme for calculating the parameters of a carousel-type RCLD for the feeding mode of a cassette block during rotation of the moving platform (top and side views)

По команде блока управления подвижная платформа должна начать вращение и переместить блоки кассет на один шаг – угол $\alpha = 60^\circ$ (при равномерном распределении блоков кассет вдоль края подвижной платформы для шестиблочного РКЗУ карусельного типа).

Поворот платформы на один шаг необходимо выполнять максимально быстро, чтобы время остановки сеялки было минимальным. Приняли время подачи нового заполненного семенами блока кассет в рабочую зону $t_{п.п.} = 1$ с. При этом частота выходного вала электродвигателя (вращения подвижной платформы) $n_{п.}$, об/с определяется по формуле:

$$n_{п.} = (t_{п.п.})^{-1} / 6. \tag{10}$$

Получено по формуле (10): $n_n \approx 0,167$ об/с (соответствует 10 об/мин).
Угловая скорость на выходном валу привода ω_n , с^{-1} :

$$\omega_n = 2 \cdot \pi \cdot n_n. \quad (11)$$

По формуле (11): $\omega_n \approx 2 \cdot 3,14 \cdot 0,167 \approx 1,05 \text{ с}^{-1}$.

Мощность на выходном валу привода подвижной платформы определяли по формуле:

$$N_{\text{пр}} = M_{\text{пр}} \cdot \omega_n, \quad (12)$$

где $M_{\text{пр}}$ – крутящий момент на выходном валу привода, Н·м; ω_n – угловая скорость вращения выходного вала привода (платформы РКЗУ), с^{-1} .

Крутящий момент на выходном валу привода рассчитали по формуле:

$$M_{\text{пр}} = F_n \cdot R_n, \quad (13)$$

где F_n – усилие сопротивления вращению подвижной платформы, Н; R_n – внешний радиус подвижной платформы, м; $R_n = 0,6$ м.

По формулам (12) и (13) получили:

$$M_{\text{пр}} = 88,29 \cdot 0,6 \approx 53,0 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$N_{\text{пр}} = 53,0 \cdot 1,05 \approx 55,7 \text{ Вт}.$$

По численному значению $N_{\text{пр}}$, по каталогу выбирается величина N_n – номинальная мощность электродвигателя, исходя из условия $N_{\text{пр}} \leq N_n$.

Таким образом, рассчитаны параметры для электродвигателя, вращающего подвижную платформу РКЗУ с шагом 60° , – частота вращения вала 10 об/мин, угловая скорость $1,05 \text{ с}^{-1}$.

Обсуждение и заключение. Определены конструкционно-технологические параметры РКЗУ карусельного типа для загрузки высевających аппаратов селекционной сеялки на 2-м этапе селекционных работ. Проведен расчет скорости подачи кассет $0,033$ м/с во время основной операции выполнения посева для исходных параметров – рабочей скорости движения сеялки $3,0$ км/ч, длины деланки 1 м и длины межъярусной дорожки $0,5$ м. Для режима подачи блока кассет определили угловую скорость вращения подвижной платформы, равную $1,05 \text{ с}^{-1}$, при которой подача блока кассет будет происходить за 1 с. Рассчитаны параметры механизмов манипулятора: для актуатора, перемещающего кассеты, минимальное усилие $7,2$ Н, длина штока 700 мм, скорость штока 60 мм/с; для электродвигателя, вращающего подвижную платформу РКЗУ, частота вращения выходного вала 10 об/мин, минимально необходимая мощность на выходном валу привода подвижной платформы $55,7$ Вт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. EDN: YFRZDV
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. Жалнин Э. В. Семеноводство России – приоритет импортозамещения // Сельский механизатор. 2016. № 3. URL: <https://selmech.msk.ru/316.html> (дата обращения: 17.04.2024).
4. 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>
5. Автоматизированные технические средства в посевной технике для селекции и семеноводства сельхозкультур / А. Х. Текушев [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 3. С. 49–55. EDN: SEESLE
6. Измайлов А. Ю., Евтюшенков Н. Е. Приоритетная техника для селекции и первичного семеноводства // Сельский механизатор. 2017. № 3. URL: <http://www.selmech.msk.ru/317.html> (дата обращения: 17.04.2024).
7. Кассетные загрузочные устройства для высевających аппаратов селекционных сеялок / А. С. Чулков [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, № 2. С. 74–81. EDN: TUJELT
8. Lavrov A., Smirnov I., Litvinov M. Justification of the Construction of a Self-Propelled Selection Seeder with an Intelligent Seeding System // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 224. Article no. 05011. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822405011>
9. 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. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-92-97>
10. Жалнин Э. В. Возродим селекцию и семеноводство // Сельский механизатор. 2014. № 7. С. 4–5. EDN: SVKVRH
11. Научно-технические достижения агроинженерных научных учреждений для производства основных групп сельскохозяйственной продукции / Ю. Ф. Лачуга [и др.] // Техника и оборудование для села. 2021. № 4 (286). С. 2–11. EDN: LAQWUU
12. Лобачевский Я. П. Научное обеспечение приоритетных технологий агропромышленного комплекса Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2024. Т. 94, № 3. С. 275–282. EDN: GFXGCD
13. Инновационные достижения агроинженерных научных учреждений в условиях развития цифровых систем в сельском хозяйстве / Я. П. Лобачевский [и др.] // Техника и оборудование для села. 2024. № 5(323). С. 2–9. EDN: IZLBHP
14. Роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа для селекционной сеялки : патент 2806909 Российская Федерация / Чулков А. С., Чапыгин М. Е., Шайхов М. М. № 2023112652 ; заявл. 25.05.2023 ; опубл. 08.11.2023. EDN: GBKTEM
15. 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
16. Yaropud V., Datsiuk D. By Improving Breeding Seeder Sowing Device Small Seeded Crops // Vibrations in Engineering and Technology. 2021. No.1. P. 152–162. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2021-1-15>
17. Theory of Movement of the Combined Seeding Unit / H. Beloev [et al.] // Agriculture and Agricultural Science Procedia. 2015. Vol. 7. P. 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.024>
18. Современные физические методы и технологии в сельском хозяйстве / С. В. Гудков [и др.] // Успехи физических наук. 2024. Т. 194, № 2. С. 208–226. EDN: QINIEQ

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., abstract in Eng.) EDN: YFRZDV
2. Izmaylov A.Yu. Smart Technologies and Robotic Means in Agricultural Production. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk*. 2019;89(5):536–538. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>



3. Zhalnin E.V. Russian Seed Production – The Priority of Import Substitution. *Selskiy Mechanizator*. 2016;3. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://selmech.msk.ru/316.html> (accessed 17.04.2024).
4. Nesmiyan 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., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52>
5. Tekushev A.Kh., Chaplygin M.E., Chulkov A.S., Shaykhov M.M. The Automated Technical Means in Sowing Equipment for Breeding and Seed Production of Agricultural Crops. *Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2022;69(3):49–55. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: SEESLE
6. Izmailov A.Yu., Evtyuchenkov N.E. Priority Appliances for Breeding and Primary Seed Production. *Selskiy Mechanizator*. 2017;3. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <http://www.selmech.msk.ru/317.html> (accessed 17.04.2024).
7. 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;70(2):74–81. EDN: TUJELT
8. Lavrov A., Smirnov I., Litvinov M. Justification of the Construction of a Self-Propelled Selection Seeder with an Intelligent Seeding System. *MATEC Web of Conferences*. 2018;224:05011. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822405011>
9. Chulkov A.S., Shibryaeva L.S. Parameters of a Robotic Loading Device for Selection Seeder. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024;18(2):92–97. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-92-97>
10. Zhalnin E.V. Revive Breeding and Seed Production. *Selskiy Mechanizator*. 2014;7:4–5. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: SVKVRH
11. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Scientific and Technical Results of Agro-Engineering Scientific Institutions for the Production of Main Groups of Agricultural Products. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;4(286):2–11. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: LAQWUU
12. Lobachevsky Ya.P. Scientific Support of Priority Technologies Agro-Industrial Complex of the Russian Federation. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk*. 2024;94(3):275–282. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: GFXGCD
13. Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Innovative Achievements of Agricultural Engineering Scientific Institutions in the Context of the Development of Digital Systems in Agriculture. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;5(323):2–9. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: IZLBHP
14. Chulkov A.S., Shaikhov M.M., Chaplygin M.E. Robotic Cassette Loading Device of Carousel Type for Selection Seeder. Patent 2806909 Russian Federation. 2023 November 8. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: GBKTEM
15. Chulkov A.S., Shaikhov 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., abstract in Eng.) EDN: ZMIJSQ
16. Yaropud V., Datsiuk D. By Improving Breeding Seeder Sowing Device Small Seeded Crops. *Vibrations in Engineering and Technology*. 2021;1:152–162. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2021-1-15>
17. 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. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.024>
18. Gudkov S.V., Sarimov R.M., Astashev M.E., Pishchalnikov R.Yu., Yanykin D.V., Simakin A.V., et al. Modern Physical Methods and Technologies in Agriculture. *Physics-Uspekhi*. 2024;194(2):208–226. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: QINIEQ

Об авторах:

Чулков Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологий и машин для посева и уборки зерна и семян в селекции и семеноводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация,

г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>, Researcher ID: JOZ-1910-2023, SPIN-код: 1726-9749, andrei.chulkov@mail.ru

Чаплыгин Михаил Евгеньевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией технологий и машин для посева и уборки зерна и семян в селекции и семеноводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>, Researcher ID: AAZ-6056-2020, Scopus ID: 57211741695, SPIN-код: 2268-6927, misha2728@yandex.ru

Шайхов Марсель Марселевич, ведущий специалист лаборатории технологий и машин для посева и уборки зерна и семян в селекции и семеноводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>, SPIN-код: 1076-9502, mars.shaihov@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

А. С. Чулков – формулирование основных целей и задач исследования, составление начального варианта статьи, формирование общих выводов.

М. Е. Чаплыгин – доработка текста и оформление материалов, анализ литературных источников, формирование общих выводов, итоговая доработка статьи.

М. М. Шайхов – методология, анализ литературных источников, формирование общих выводов, итоговая доработка статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию 03.09.2024; поступила после рецензирования 18.09.2024; принята к публикации 25.09.2024

About the authors:

Andrey S. Chulkov, Cand.Sci. (Eng.), Leading Researcher of the Laboratory of Technologies and Machines for Sowing and Harvesting Grain and Seeds in Breeding and Seed Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>, Researcher ID: JOZ-1910-2023, SPIN-code: 1726-9749, andrei.chulkov@mail.ru

Mikhail E. Chaplygin, Cand.Sci. (Eng.), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Technologies and Machines for Sowing and Harvesting Grain and Seeds in Breeding and Seed Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>, Researcher ID: AAZ-6056-2020, Scopus ID: 57211741695, SPIN-code: 2268-6927, misha2728@yandex.ru

Marsel' M. Shaykhov, Leading Specialist of the Laboratory of Technologies and Machines for Sowing and Harvesting Grain and Seeds in Breeding and Seed Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>, SPIN-code: 1076-9502, mars.shaihov@yandex.ru

Authors contribution:

А. С. Чулков – writing the main goals and objectives of the study, writing the initial draft, writing general conclusions, final processing of the manuscript.

М. Е. Чаплыгин – revision of the manuscript and design of materials, analysis of literary sources, writing general conclusions, final processing of the manuscript.

М. М. Шайхов – methodology, analysis of literary sources, writing general conclusions, final processing of the manuscript.

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 03.09.2024; revised 18.09.2024; accepted 25.09.2024