

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

УДК 631.331.5:635.65

DOI: 10.31857/S2500262723030134, EDN : FAEJNH

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ВЫСЕВА СЕМЯН ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫМИ СЕЯЛКАМИ**А.И. Завражнов¹**, академик РАН, **А.В. Балашов²**, доктор технических наук, **А.А. Завражнов¹**, кандидат технических наук, **Н. Ю. Пустоваров²**, кандидат технических наук¹Мичуринский государственный аграрный университет,
393760, Тамбовская обл., Мичуринск, ул. Интернациональная, 101
E-mail: aiz@mgau.ru.²Всероссийский научно-исследовательский институт
выспользования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
392022, Тамбовская обл., Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28
E-mail: ntc.agro@yandex.ru.

Исследования проводили с целью определения качественных и энергетических показателей работы пропашной сеялки с электрическими приводами рабочих органов, оснащенной системой контроля высева семян, позволяющей обеспечить дистанционное управление посевным агрегатом. В экспериментах использовали высевающие аппараты сеялки МС-8 с приводом через редуктор от электрического двигателя постоянного тока FL57BLS04 мощностью 180 Вт и сеялки ТС-М-4150А с высевающим аппаратом производства фирмы «MaterMass» и приводом через редуктор и цепные передачи от бесколлекторного двигателя FL86BLS мощностью 220 Вт. Для энергообеспечения двигателей высевающих аппаратов применяли импульсный источник питания SDR-960-48. Качество работы высевающих аппаратов при использовании семян различных пропашных культур определяли методом фиксации временных интервалов между выбросами семян из диска высевающего аппарата с использованием датчика высева, установленного в сошнике. При изменении частоты вращения диска высевающего аппарата сеялки МС-8 от 20 до 60 об/мин коэффициент вариации выбросов семян варьировал от 0,15 до 0,35, а потребная мощность – от 30 до 110 Вт. Мощность на привод вентилятора не превышала 2,5 кВт, суммарная потребная мощность электрических двигателей на привод всех высевающих аппаратов и вентилятора – 4,0 кВт. У сеялки ТС-М-4150А потребная мощность на привод высевающих аппаратов несколько выше и на рабочих режимах составляет не менее 3,0 кВт. Предложена система контроля и управления высевом отечественной электрифицированной сеялкой на основе платы Arduino Uno. Ее программа включает две подпрограммы, учитывающих скорость движения посевного агрегата, на основании которой определяется частота вращения высевающего диска и количество пропусков и двойников. Использование в пропашных сеялках электрифицированного привода и системы контроля высева семян позволяет бесступенчато устанавливать норму высева семян и управлять процессом высева из кабины трактора.

CONTROL OF SOWING SEEDS OF ROW CROPS WITH ELECTRIFIED SEEDERS**A.I. Zavrazhnov¹, A.V. Balashov², A.A. Zavrazhnov¹, N. Yu. Pustovarov²**¹Michurinsk State Agrarian University
393760, Tambovskaya obl., Michurinsk, ul. Internatsional'naya, 101
E-mail: aiz@mgau.ru.²The All-Russian Research Institute
for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,
392022, Tambovskaya obl., Tambov, per. Novo-Rubezhny, 28
E-mail: ntc.agro@yandex.ru.

The research was conducted to determine the qualitative and energy performance indicators of a precision seeder with electric drives for working tools, equipped with a seed distribution control system that allows remote control of the seeding unit. The experiments used seeders MC-8 with drive through a gearbox from a 180W DC motor FL57BLS04 and seeders TC-M-4150A with a seed distribution apparatus produced by «MaterMass» and driven through a gearbox and chain drives from a 220W brushless motor FL86BLS. The pulse power supply SDR-960-48 was used to power the seed distribution apparatus motors. The quality of operation of the seed distribution apparatus when using seeds of various row crops was determined by the method of recording the time intervals between seed ejections from the distribution disk using a seed sensor installed in the furrow opener. When changing the rotation speed of the seeder's distribution disk from 20 to 60 rpm, the coefficient of variation of seed ejections varied from 0.15 to 0.35, and the power consumption ranged from 30 to 110W. The power consumption for the fan drive did not exceed 2.5 kW, and the total power consumption of the electric motors for driving all the seed distribution apparatuses and the fan was 4.0 kW. For the TC-M-4150A seeder, the power consumption for driving the seed distribution apparatuses is slightly higher and amounts to at least 3.0 kW in operating modes. A control and management system for seeding with a domestic electrified seeder based on the Arduino Uno board was proposed. Its program includes two subprograms that take into account the speed of movement of the seeding unit, based on which the rotation speed of the distribution disk and the number of skips and duplicates are determined. The use of electrified drives and seed distribution control systems in precision seeders allows for stepless adjustment of the seed sowing rate and control of the sowing process from the tractor cabin.

Ключевые слова: посев, сеялка, электрический привод, стенд, качество, контроль, алгоритм управления высевом.**Key words:** sowing, seeder, ready drive, stand, quality, control, seeding control algorithm.

Посев пропашных культур в хозяйствах России проводят агрегатами с пневматическими сеялками отечественного и иностранного производства с элементами цифровизации (система контроля высева семян,

параллельное вождение посевных агрегатов) и механическим приводом рабочих органов [1, 2, 3]. У этих сеялок вращение высевающих аппаратов осуществляется от опорно-приводных колес через цепные передачи,

валы и коробки передач, а вращение вала вентилятора пневматических сеялок – от ВОМ трактора. Буксование опорно-приводных колес или обрыв цепных передач приводит к прекращению высева семян отдельными или всеми высевальными аппаратами сеялки [4, 5]. Нестабильная частота вращения ВОМ трактора вызывает изменение частоты вращения вала вентилятора, которое сопровождается нестабильностью присасывания семян к отверстиям высевальных дисков аппаратов. Отмеченные недостатки механических приводов рабочих органов пневматических сеялок устраняются применением электрических приводов высевальных аппаратов и вентилятора. Такие сеялки выпускают некоторые иностранные фирмы [6, 7]. Электрический привод высевальных аппаратов пневматических сеялок способствует стабилизации установленной нормы высева семян независимо от условий эксплуатации посевных агрегатов. Использование электрического привода открывает возможности для дистанционного управления каждым высевальным аппаратом сеялки и отключения одного или группы аппаратов из кабины трактора на полях со сложной конфигурацией, поворотных полосах и засеянных участках поля с помощью системы спутниковой навигации [8, 9, 10].

Для обеспечения точного высева пропашные сеялки оснащают системами контроля высева семян, которые обеспечивают оперативный контроль работы посевного агрегата и своевременно информируют механизатора о нарушениях процесса высева, отклонениях от заданных параметров работы сеялки и местах их возникновения световой индикацией или звуковым сигналом [11]. Поэтому актуальная задача повышения эффективности посева пропашных культур в системе точного земледелия заключается в исследовании конструктивно-режимных параметров посевного агрегата с отечественной электрифицированной сеялкой, оснащенной системой контроля высева семян и управляемой автоматически, обеспечивающих выполнение технологического процесса в соответствии с агротехническими требованиями.

Цель исследований – определение качественных и энергетических показателей работы сеялки с электрическими приводами рабочих органов, оснащенной системой контроля высева семян и разработка системы автоматического управления посевным агрегатом.

Методика. Эксперименты проводили с высевальными аппаратами сеялки МС-8 с диаметром диска 168 мм и различным количеством отверстий (производитель ПАО «Миллеровосельмаш» г. Миллерово, Ростовской области) с приводом через редуктор от электрического двигателя постоянного тока FL57BLS04 мощностью 180 Вт, и сеялки ТС–М-4150А с диаметром диска 220 мм и различным количеством отверстий (производитель ЗАО «Техника-Сервис», г. Воронеж), на которую устанавливается высевальный аппарат производства фирмы «MaterMass» с приводом через редуктор и цепные передачи от бесколлекторного двигателя FL86BLS мощностью 220 Вт. Исследования выполняли на стендах, разработанных в лаборатории «Использование МТА» ВНИИТиН. Для энергообеспечения двигателей высевальных аппаратов использовали импульсный источник питания SDR-960–48. Частоту вращения электродвигателей устанавливали с помощью панели оператора МТ6071iE через блок управления бесколлекторным двигателем BLSD-50.

Оценку показателей работы высевальных аппаратов сеялок МС-8 и ТС–М-4150А с электрическим приводом вращения дисков осуществляли в ходе лабораторно-стендовых исследований на семенах пропашных

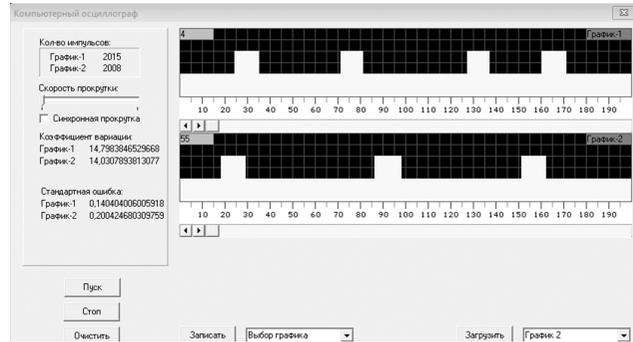


Рис. 1. Окно программы, продолжительности пролета семян между чувствительными пластинами датчика высева и временные интервалы между выбросами семян.

культур: сахарной свеклы (дражированные семена), сои, кукурузы, люпина. Качество работы высевальных аппаратов определяли методом фиксации временных интервалов между выбросами семян пропашных культур из высевального аппарата с учетом продолжительности их пролета между чувствительными пластинами датчика высева, установленного в сошнике [11, 12]. От датчика высева сигнал передавался через блок преобразования импульса к компьютеру с помощью приставки. Установленную частоту вращения диска регистрировали тахометром ТмМП-100УЗ. Продолжительность пролета семян между чувствительными пластинами датчика высева и временные интервалы между выбросами семян через заданные промежутки, выраженные в миллисекундах, отображалась на оси ординат гистограммы. Количество семян, выпавших за определенное число оборотов высевального диска, и величина коэффициента вариации распределения выбросов семян из высевального аппарата за исследуемый промежуток времени отображались на мониторе компьютера (рис. 1).

Силу тока на исследуемых режимах работы высевального аппарата при установленных частотах вращения вала электрического двигателя регистрировали по показаниям цифрового амперметра, затем с учетом напряжения, фиксируемого цифровым вольтметром, определяли потребляемую мощность электродвигателя по известной формуле. Потребную мощность на привод вентилятора, устанавливаемого на сеялку, рассчитывали

$$P_{\text{с}} = \frac{m \cdot (d_{\text{с}} - \sqrt{d_{\text{с}}^2 - \sqrt{d_{\text{отв}}^2}}) \cdot (\omega^2 \cdot R + g) \cdot k_3 \cdot k_{\text{п}} \cdot V_{\text{в}} \cdot Z \cdot N}{\delta \cdot d_{\text{отв}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{пр}}} \quad (1)$$

где m – масса семени, кг; $d_{\text{с}}$ – диаметр семени, мм; $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия, мм; R – радиус окружности центров отверстий, м; ω – частота вращения высевального диска, с^{-1} ; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; k_3 – коэффициент запаса ($k_3=1,2$); $k_{\text{п}}$ – коэффициент присасывания равен отношению скорости воздуха в отверстиях к скорости воздуха в отверстиях без семени ($k_{\text{п}}=0,55 \dots 0,72$); $V_{\text{в}}$ – скорость воздушного потока в присасывающем отверстии диска, $\text{м}/\text{с}$; Z – количество отверстий на высевальном диске; N – количество высевальных аппаратов на сеялке; d – коэффициент пропорциональности, учитывающий суммарное действие различных сил; $\eta_{\text{в}}$ – КПД вентилятора; $\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода.

Для исключения раскатывания семян по дну бороздки после их выпадения из высевального аппарата необходимо согласовывать частоту вращения высевального диска с рабочей скоростью посевного агрегата, по предложенному выражению [13]:

$$\omega_{\partial} = \frac{v_{na} \cdot q}{n} \quad (2)$$

где ω_{∂} – частота вращения высевашего диска, с⁻¹; v_{na} – рабочая скорость посевного агрегата, м/с; q – норма высева семян, шт./м; n – количество отверстий на диске, шт.

Для реализации рассматриваемого технологического процесса была разработана система контроля и управления высевом семян электрифицированной сеялки, которая содержит емкостные датчики высева, индуктивный датчик пути, контроллер с встроенными модулями контроля и управления, электродвигатель для вращения дисков высеваших аппаратов и электродвигатель для перемещения сьемника двойников семян, блок сбора и обработки информации. Датчики высева семян закреплены в полостях сошников всех высеваших аппаратов и соединены кабельной разводкой с блоком сбора и обработки информации. Датчик пути закреплен на раме сеялки у опорно-приводного колеса. Контроллер оснащен дисплеем, состоящим из разноцветных светодиодных модулей, и размещен в кабине трактора. Модули контроля и управления установлены в корпусе контроллера. Электродвигатели для управления вращением дисков и перемещением сбрасывателей двойников семян смонтированы в корпусах высеваших аппаратов сеялки и соединены с блоком сбора и обработки информации, который установлен на раме сеялки [14].

Управление работой посевным агрегатом с электрифицированной сеялкой должно быть интегрировано с установленным в кабине трактора контроллером системы контроля высева, энергообеспечение монитора которого осуществляется от бортовой сети трактора. Энергообеспечение модулей управления, установленных на сеялке, осуществляется модулем питания с выходным напряжением 12 В.

Результаты и обсуждение. Анализ результатов определения продолжительности пролета исследуемых семян пропашных культур между чувствительными пластинами датчика высева в зависимости от частоты вращения высевашего диска свидетельствует, что наименьшая величина этого показателя (8...9 мс) отмечена у дражированных семян сахарной свеклы, которая практически не изменялась при работе высевашего аппарата на всех режимах (рис. 2). Наибольшая продолжительность пролета (13...14 мс) фиксировалась на семенах люпина и кукурузы. При увеличении частоты вращения высевашего диска она уменьшалась на 7,3...12,8 %. Продолжительность пролета семян сои находилась в пределах 12 мс. Таким образом, с увеличением размеров семян пропашных культур продолжительность их пролета между чувствительными пластинами датчика высева возрастает.



Рис. 2. Продолжительность пролета семян пропашных культур между чувствительными пластинами датчика высева.

Результаты экспериментальных исследований качественных и энергетических показателей работы высевашего аппарата сеялки ТС-М-4150А с электроприводом вращения диска (напряжение 48 В)

Частота вращения высевашего диска, об/мин	Потребляемый ток, А	Потребляемая мощность, Вт	Средний временной интервал между выбросами семян, мс
20	1,13	54,24	123,83
30	2,17	104,16	83,64
40	3,55	170,40	63,99
50	5,03	241,44	49,01
60	6,90	331,20	42,58

Анализ энергетических показателей работы высевашего аппарата сеялки ТС-М-4150А показал, что с увеличением частоты вращения высевашего диска потребляемый ток при постоянном напряжении питания электродвигателя, равном 48 В, возрастает, а временные интервалы между выбросами семян из высевашего аппарата сокращаются (см. табл.).

Мощность, потребляемая электродвигателем привода вращения диска на рабочих частотах от 30 до 50 об/мин, не превышает 250 Вт. Поэтому для стабильного энергообеспечения высеваших аппаратов 12-и рядной сеялки ТС-М-4150А на рабочих режимах потребуется источник питания мощностью не менее 3 кВт. Для стабильного энергообеспечения сеялки с учетом электропривода вентилятора необходимо использовать штатный генератор трактора требуемой мощности и установить дополнительный генератор с автономным приводом от ВОМ или гидропривода. Коэффициент вариации выбросов семян пропашных культур из высевашего аппарата сеялки ТС-М-4150А при изменении частоты вращения диска с 20 до 60 об/мин составлял от 0,143 до 0,149 (рис. 3).

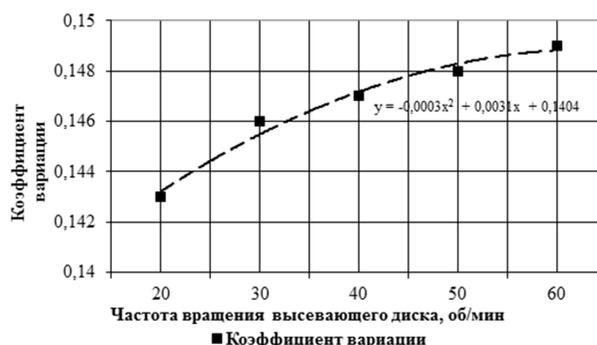


Рис. 3. Качественные показатели работы высевашего аппарата сеялки ТС-М-4150А в зависимости от частоты вращения диска.

Качественная работа сеялки ТС-М-4150А с электрическими приводами высеваших аппаратов при использовании штатных высеваших дисков с 24-мя отверстиями, поставляемых с этой сеялкой, и настройке, осуществляемой согласно руководству по эксплуатации, достигается при частоте вращения диска от 25 до 40 об/мин. В этом случае при движении посевного агрегата по полю со скоростью 5,4...11 км/ч обеспечивается 100%-ное присасывание семян ко всем отверстиям на высевашем диске и их равномерное распределение по длине ряда.

Потребляемая мощность электрическим двигателем постоянного тока FL57BLS04 для привода диска одного высевашего аппарата сеялки МС-8 при высева семян пропашных культур в зависимости от частоты его вращения варьировала от 30 до 110 Вт.

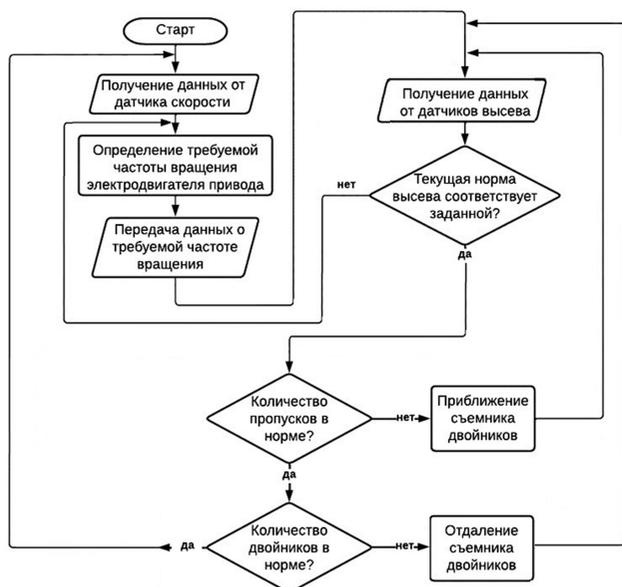


Рис. 4. Алгоритм работы системы управления высевом электрифицированной сеялкой.

В ходе лабораторно-стендовых исследований с высевом сои и подсолнечника сеялкой МС-8 при 20 отверстиях на диске и частоте вращения высевающего диска от 20 до 60 об/мин были определены качественные показатели его работы. Коэффициент вариации выбросов семян составлял от 0,15 до 0,35. При рабочей частоте вращения диска 25 об/мин обеспечивалось 100 %-ное присасывание семян к отверстиям на диске с необходимым разрежением (4,4...5,0 кПа) в вакуумной камере высевающего аппарата при отсутствии двойников и коэффициенте вариации выбросов семян, не превышающем 0,15...0,17.

По результатам численного эксперимента потребная мощность на привод вентилятора 12-и рядной сеялки МС-8 при высеве семян сои в зависимости от частоты вращения диска варьировала от 1,6 до 2,47 кВт, а суммарная потребная мощность электрических двигателей на привод всех высевающих аппаратов и вентилятора при установленной частоте вращения высевающих дисков не превышает 4,0 кВт.

Таким образом, при автоматической корректировке частоты вращения высевающего диска и перемещения сбрасывателя двойников, необходимо учитывать временные интервалы между выбросами семян и скорость движения посевного агрегата. При устойчивом и продолжительном отклонении параметров высева семян для их стабилизации необходимо настроить соответствующие рабочие органы сеялки согласно разработанному алгоритму (рис. 4) программы контроля и управления высевом электрифицированной сеялкой на основе платы Arduino UNO [15].

В системе контроля высева семян обрабатываются сигналы от датчика скорости и фиксируется текущая скорость движения посевного агрегата на определенном промежутке пути, по которой рассчитывается требуемая частота вращения электродвигателя привода высевающего диска. При значительном отклонении частоты вращения высевающих дисков от заданной в отдельных высевающих секциях осуществляется автоматическая адресная корректировка (повышение или понижение) частоты вращения электродвигателя привода высевающего диска.

Далее, на основании временных интервалов между выбросами семян определяется количество пропусков или двойников. При превышении их предельно допустимой величины этого показателя осуществляется соответствующая корректировка (приближение или отдаление) положения сбрасывателя двойников относительно отверстий на высевающем диске. После выполнения всех перечисленных действий система управления передает соответствующие команды на приводы вращения высевающего диска и перемещения сбрасывателя двойников по протоколу RS-485. Для обеспечения точного управления системой эти подпрограммы выполняются циклически.

Выводы. При изменении частоты вращения высевающего диска от 10 до 60 об/мин коэффициент вариации выбросов семян из высевающего аппарата составляет от 0,140 до 0,154. Потребная мощность электрического привода вращения высевающего диска на сеялке ТС-М-4150А на рабочих режимах работы не превышает 250 Вт, у сеялки МС-8 – 110 Вт.

Суммарная потребная мощность электродвигателей всех высевающих аппаратов и вентилятора 12-и рядных сеялок на рабочих режимах ориентировочно не превышает 4,0 кВт. Для их энергообеспечения необходимо использовать штатный генератор трактора и дополнительный генератор с приводом от ВОМ трактора или гидропривода.

Разработанный алгоритм управления работой посевным агрегатом с электрифицированной сеялкой, интегрированный с установленным в кабине трактора монитором системы контроля и управления дает возможность бесступенчато регулировать норму высева семян независимо от скорости посевного агрегата и управлять процессом высева из кабины трактора.

Литература

1. Рыбалкина Н. Н. Влияние норм высева и способов посева на урожайность сои // *Земледелие*. 2000. № 1. С. 23–25.
2. Lavrukhin P., Senkevich S., Ivanov P. Placement Plants on the Field Area by Seeding Machines: Methodical Aspects Assessment Rationality // *Handbook of Research on Smart Computing for Renewable Energy and Agro-Engineering*. Hershey, PA, USA: IGI Global, 2020. P. 240–261.
3. Колчина Л. М. Автоматические системы технологического контроля посевной техники // *Техника и оборудование для села*. 2014. № 3. С. 69.
4. Лачуга Ю. Ф., Ахалая Б. Х., Шогенов Ю. Х. Новые конструкции универсальных рабочих органов почвообрабатывающей и посевной техники // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 4. С. 73–76.
5. Геометрия посева пропашных культур / А. А. Завражнов, А. И. Завражнов, А. А. Земляной и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 1. С. 59–66.
6. Бейлис В. М. Общие технические и технологические требования к системе инновационных машинных технологий и техники // *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. № 5. С. 49–52.
7. The methodology of modeling and optimization of technologies in crop production / V. V. Mikheev, A. G. Ponomarev, P. A. Eremin, et al. // *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. Vol. 51, No. 3. P. 52–57.
8. Интенсивные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции / Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Я. П. Лоба-

- чевский и др. // *Техника и оборудование для села*. 2018. № 7. С. 2–7.
9. Измайлов А. Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89. № 5. С. 536–538.
10. Обоснование и расчет схемы электропривода пневмосеялки агрегата комбинированного почво-обрабатывающе-посевного / В. Б. Ловкис, А. В. Захаров, Н. Н. Стасюкевич и др. // *Межведомственный тематический сборник «Механизация и электрификация сельского хозяйства»*. Минск, НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2016. Вып. № 50. С. 193–199.
11. Забражнов А. И., Лобачевский Я. П., Пустоваров Н. Ю. Разработка и обоснование параметров емкостного датчика высева семян пропашных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. № 2. С. 4–9.
12. Забражнов А. И., Балашов А. В., Пустоваров Н. Ю. Результаты исследований параметров датчиков, используемых в системе контроля высева семян пропашных культур // *Наука в центральной России*. 2017. № 5(29). С. 28–35.
13. Модернизированная система контроля высева семян / А. И. Забражнов, А. В. Балашов, С. П. Стрыгин и др. // *Наука в центральной России*. 2019. № 2 (38). С. 53–60.
14. Крищенко А. В., Пустоваров Н. Ю., Стрыгин С. П. и др. Система контроля и управления высевом пропашной сеялки Патент на изобретение 2783373 С1, 11.11.2022. Заявка № 2021128065 от 23.09.2021.
15. Bistak P. *Arduino support for personalized learning of control theory basics* // *IFAC-PapersOnLine*. 2019. Vol. 52. No. 27. P. 217–221.

Поступила в редакцию 25.01.2023
После доработки 01.03.2023
Принята к публикации 28.03.2023