Nikolay Nazarov - Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher of the Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture of the Federal State Budgetary Institution of Science "Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences", Russia, Novosibirsk, e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru.

Irina Nekrasova - is a senior researcher at the Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture of the Federal State Budgetary Institution of Science "Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences", Russia, Novosibirsk, e-mail: irnek@ngs.ru.

Поступила в редакцию (Received): 21.01.2022 Принята к публикации (Accepted): 24.02.2022

УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-1-13-19

ЛАБОРАТОРНО-СТЕНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА, ОБОРУДОВАННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

[1,2]Завражнов Анатолий Иванович
[2]Балашов Александр Владимирович
[2]Стрыгин Сергей Петрович
[2]Пустоваров Никита Юрьевич
[1]ФГБНУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Высев семян в отдельных высевающих аппаратах прекращается во время работы сеялок точного высева из-за буксования колес или обрыва цепей, при изменении частоты вращения вала вентилятора нарушается стабильность присасывания семян к отверстиям диска высевающего аппарата. В данной работе эти недостатки в работе сеялок предлагается устранить за счет применения электрического привода высевающих аппаратов и вентиляторов, что позволяет обеспечить автономность привода каждого аппарата, не зависящего от условий работы посевного агрегата и стабильность работы вентилятора независимо от изменения частоты вращения ВОМ трактора. Экспериментальные исследования энергетических показателей электрического привода высевающего аппарата проводились в лабораторных условиях на различных культурах (соя, сахарная свекла, подсолнечник). По результатам лабораторно-стендовых исследований определена требуемая мощность на привод одного высевающего аппарата, которая составляет от 30 до 130 Вт, при частоте вращения диска от 10 до 60 об/мин. Была определена суммарная мощность электроприводов всех высевающих аппаратов и вентилятора, которая в зависимости от частоты вращения диска составляет от 1,6 до 2,47 кВт. Сформулировано условие, соблюдение которого позволит исключить вероятность смещения и перекатывания семян по борозде после выпадения их из высевающего диска, вращающегося в обратном направлении перемещению посевного агрегата, при соответствии линейной скорости диска и скорости посевного агрегата (эффект нулевого наложения). Разработан алгоритм управления работой посевным агрегатом с электрическим приводом высевающих аппаратов, интегрированный с установленным в кабине трактора монитором системы контроля высева.*

Ключевые слова: *посев, сеялка, электрический привод, стенд, качество, контроль, управление.*

LABORATORY RESEARCH OF THE SEEDING DEVICE WITH THE ELECTRIC DRIVE

[1,2]Zavrazhnov Anatoly
[2]Balashov Alexander
[2]Strygin Sergei

[2]***Pustovarov Nikita***
[1]*FSBEI HE Michurinsk State Agrarian University*
[2]*FSBSI "All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture"*

Abstract. *Seeding of seeds in individual sowing units stops during the operation of precision seeding planters due to wheel slipping or chain breakage, when the fan shaft speed changes, the stability of the suction of seeds to the holes of the sowing unit disc is disturbed. In this paper, these shortcomings in the operation of seeders are proposed to be eliminated through the use of an electric drive of seeding units and fans, which makes it possible to ensure the autonomy of the drive of each unit, independent of the operating conditions of the sowing unit, and the stability of the fan, regardless of changes in the tractor PTO speed. Experimental studies of the energy parameters of the electric drive of the seeding apparatus were carried out in laboratory conditions on various crops (soy, sugar beet, sunflower). According to the results of laboratory bench tests, the required power for the drive of one seeding machine was determined, which ranges from 30 to 130 watts, at a disk rotation speed from 10 to 60 rpm. The total power of the electric drives of all seeding machines and the fan was determined, which, depending on the speed of rotation of the disk, ranges from 1.6 to 2.47 kW. A condition has been formulated, compliance with which will eliminate the possibility of shifting and rolling seeds along the furrow after they fall out of the sowing disc rotating in the opposite direction to the movement of the sowing unit, in accordance with the linear velocity of the disc and the speed of the sowing unit (zero overlap effect). An algorithm has been developed for controlling the operation of a seeding unit with an electric drive of seeding machines, integrated with a seeding control system monitor installed in the tractor cab.*

Keywords: *sowing, seeder, electric drive, stand, quality, control, management.*

Введение. Для посева пропашных культур в большинстве хозяйствах России используются механические и пневматические сеялки отечественного, и зарубежного производства с механическим приводом рабочих органов, и электронной системой контроля высева семян [1, 2]. Привод высевающих аппаратов сеялок осуществляется от опорно-приводных колес через цепные передачи, валы, коробки передач, а привод вентилятора пневматических сеялок - от ВОМ трактора через систему механических передач. [3] Из-за буксования колес или обрыва цепей прекращается высев семян в отдельных высевающих аппаратах. При изменении частоты вращения вала вентилятора нарушается стабильность присасывания семян к отверстиям диска высевающего аппарата. [4] Эти недостатки в работе сеялок можно устранить за счет применения электрического привода высевающих аппаратов и вентиляторов, что позволяет обеспечить автономность привода каждого аппарата, независимо от условий работы посевного агрегата, а стабильность работы вентилятора – от изменения частоты вращения ВОМ трактора. По оценке специалистов, на сегодняшний день не более 20–25% российских хозяйств используют при точном посеве пропашных культур автоматическое отключение секций сеялки на основе GPS, которое возможно только при применении электрического привода рабочих органов сеялок. [5] Это позволяет управлять нормой высева каждым аппаратом и автоматически их отключать на засеянных участках, а также исключить пересевы на разворотных полосах и клиньях. Применение электрического привода высевающих аппаратов сеялок заменяет элементы механического привода (валы, шестерни, звездочки, цепи и коробки перемены передач) для регулирования нормы высева семян, что позволяет сократить расходы на технологическое и техническое обслуживание посевных агрегатов. [6]

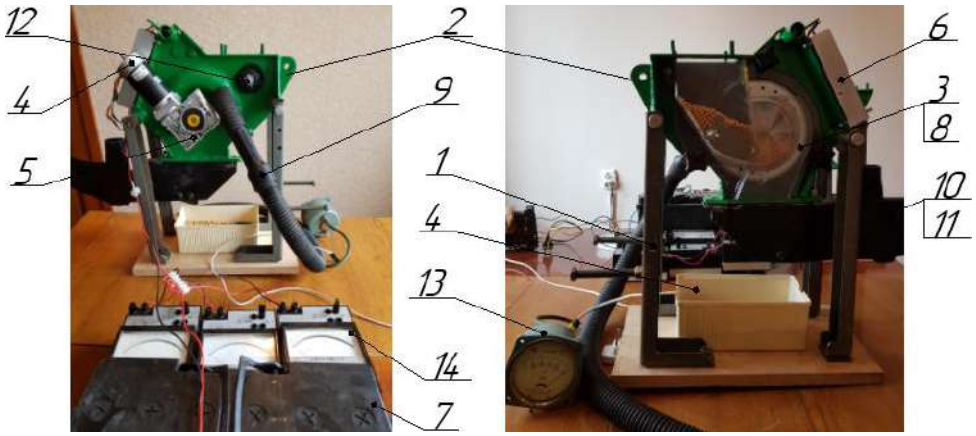
Материалы и методы. Экспериментальные исследования высевающих аппаратов для пропашных культур проводились в лабораторных условиях по разработанной методике [7, 8] на стенде с электрическим регулируемым приводом вращения диска, рисунок 1.

При проведении лабораторно-стендовых исследований фиксировали временные интервалы между выбросами семян из высевающего аппарата с помощью датчика высева, установленного в сошнике, который регистрирует пролёт семян с помощью приставки к компьютеру LPT-порт и передает сигнал через блок преобразования импульса в компьютер [7].

Потребная мощность на привод высевающего аппарата определяется по известной формуле [3, 6]:

$$P_{пр} = \frac{0{,}105 \cdot M \cdot n}{\eta_{пр}}, \quad (1)$$

где M – крутящий момент на валу высевающего диска, Н·м; n – частота вращения высевающего диска, об/мин; $\eta_{пр}$ – КПД электропривода.



1 - рама, 2 - высевающий аппарат, 3- высевающий диск, 4 – электродвигатель, 5 – редуктор, 6 - устройство управления, 7 - источника питания, 8 - семенная камера, 9 - вакуумная установка, 10 – сошник, 11 - датчик высева, 12 - сбрасыватель, 13 – вакуумметром, 14 - амперметр.

Рисунок 1 – Экспериментальный стенд для исследования высевающего аппарата с электрическим приводом вращения диска

После преобразования формул, представленных в [6], получили выражение для определения потребной мощности электропривода вентилятора:

$$P_в = \frac{m \cdot \left(d_c - \sqrt{d_c^2} - \sqrt{d}_{отв}^2\right) \cdot (\omega^2 \cdot R + g) \cdot k_з \cdot k_п \cdot V_в \cdot Z \cdot N}{\delta \cdot d_{отв} \cdot \eta_в \cdot \eta_{пр}}, \quad (2)$$

где m – масса семени, кг; $d_с$ – диаметр семени, м; $d_{отв}$ – диаметр отверстия, м; R – радиус окружности центров отверстий, м; ω – частота вращения высевающего диска, с$^{-1}$; g-ускорение свободного падения, м/с^2; $k_з$ – коэффициент запаса, $k_з$ =1,2; $k_п$ – коэффициент присасывания равен отношению скорости воздуха в отверстии с семенем к скорости воздуха в отверстии без семени, $k_п$ = 0,55-0,72; $V_в$ – скорость воздушного потока в присасывающем отверстии диска, м/с; Z – количество отверстий на высевающем диске, шт.; N – количество высевающих аппаратов на сеялке, шт.; δ – коэффициент пропорциональности, учитывающий суммарное действие различных сил; $\eta_в$ – кпд электропривода вентилятора.

Для исключения вероятности смещения и перекатывания семян по борозде после выпадения их из высевающего диска, вращающегося в обратном направлении перемещению посевного агрегата, линейная скорость диска высевающего аппарата должна соответствовать скорости посевного агрегата [9] (эффект нулевого наложения), т.е. должно соблюдаться следующее условие:

$$n_д \cdot R_д = n_к \cdot R_к, \quad (3)$$

где $n_д, n_к$- частота вращения высевающего диска и опорно-приводного колеса сеялки, соответственно; $R_д, R_к$- радиусы высевающего диска и опорно-приводного колеса сеялки, соответственно.

При этом длина траектории падения семян до борозды должна быть согласована со скоростью посевного агрегата и нормой высева семян по предлагаемому нами уравнению, полученному с учетом скорости падения семян по известным законам изменения дальности полета (расстояние, пройденное телом вдоль горизонтальной оси за определенное время) тела брошенного горизонтально в вертикальном и горизонтальном направлениях, и выражения по определению частоты вращения высевающего диска согласованного с нормой высева семян и скоростью посевного агрегата, представленного в [10]:

$$L = \frac{V_a \cdot k}{l_c \cdot q} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}, \quad (4)$$

где V_a- скорость посевного агрегата, м/с; k - отношение диаметров высевающего диска и опорно-приводного колеса сеялки; l_c- расстояние между семенами по длине рядка, м; q - норма высева семян, шт./м; h - высота установки датчика относительно боковой поверхности диска, м; g - ускорение свободного падения, м/с^2.

Результаты и их обсуждения. Экспериментальными исследованиями, установлено, что на привод диска высевающего аппарата сеялки МС-8 диаметром 168 мм от электрического двигателя постоянного тока FL57BLS04 при изменении его частоты вращения от 10 до 60 об/мин, которая соответствует линейной скорости диска от 0,18 до 1,06 м/с, при высеве семян различных пропашных культур, потребуется от 30 до 130 Вт [7] (рисунок 2).

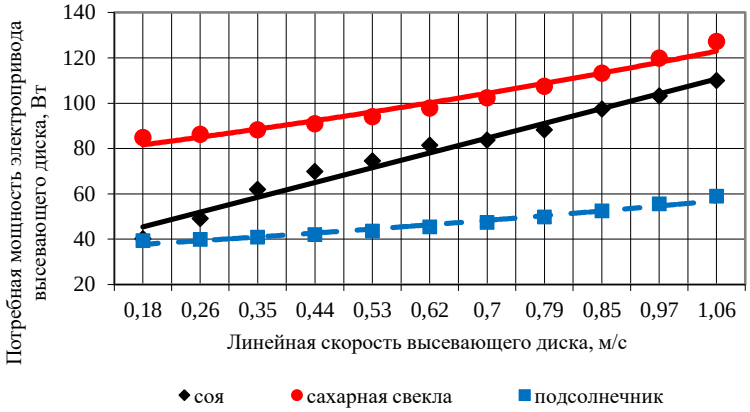


Рисунок 2 – Мощность электродвигателя на привод одного высевающего аппарата, в зависимости от культуры

Численным экспериментом по выражению (2) была определена потребная мощность на привод вентилятора 12-ти рядной сеялки при высеве семян сои в зависимости от указанной частоты вращения диска, которая варьирует от 1,6 до 2,47 кВт. При этом суммарная потребная мощность электрических двигателей постоянного тока, устанавливаемых на сеялку, для привода всех высевающих аппаратов и вентилятора, при посеве сои на агротехнически обоснованной частоте вращения высевающих дисков, обеспечивающую надежное присасывание семян к отверстиям на диске в пределах 20–30 об/мин, составляет не более 3,75 кВт (рисунок 3).

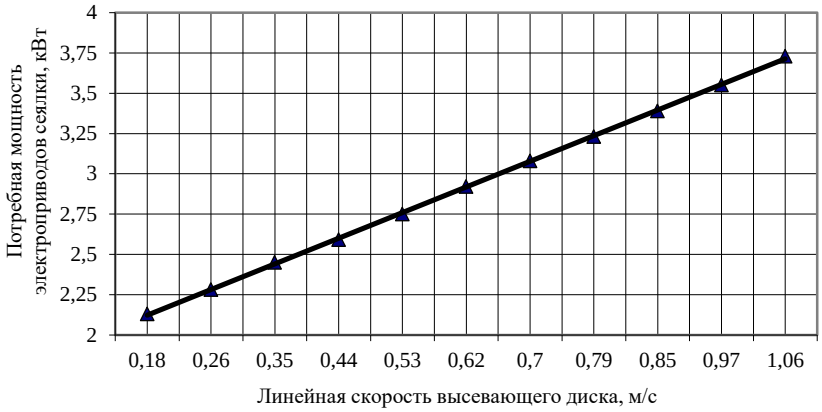


Рисунок 3 – Суммарная мощность электроприводов всех высевающих аппаратов и вентилятора

Управление работой посевным агрегатом с сеялкой с электрическим приводом высевающих аппаратов должно быть интегрировано с установленным в кабине трактора монитором системы

контроля высева и осуществляется по разработанному алгоритму, представленному на рисунке 4, следующим образом.

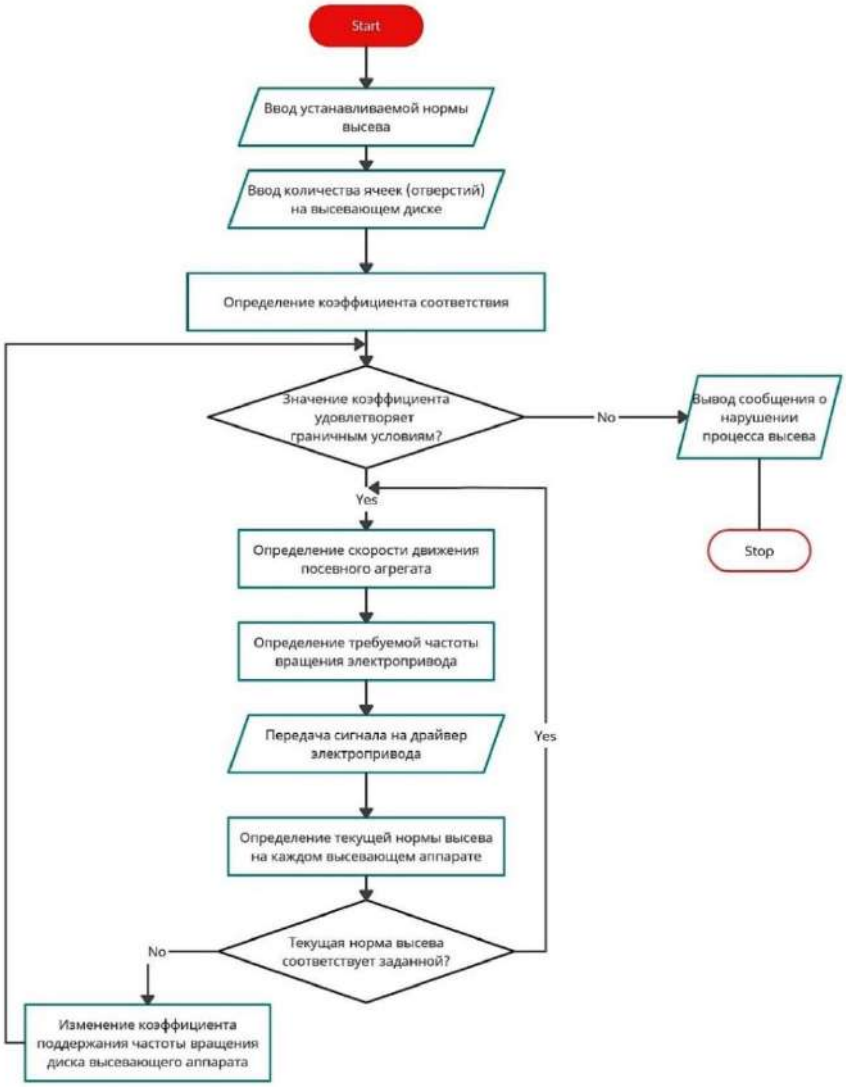


Рисунок 4 - Алгоритм управления работой посевного агрегата с сеялкой, оборудованной электрическим приводом рабочих органов.

В начале работы система контроля высева семян (СКВС) требует ввода устанавливаемой нормы высева, а также ввода количества ячеек (отверстий) на высевающем диске для определения коэффициента соответствия (частоты вращения диска высевающего аппарата и требуемой нормы высева). Далее, после начала движения посевного агрегата происходит опрос датчиков высева каждого высевающего аппарата, и, если текущая норма высева соответствует заданной, то работа высевающих аппаратов продолжается в текущем режиме. В случае, если текущая норма высева отклоняется от заданной, то система контроля высева семян передает на драйвер электрического привода управляющий сигнал, понижающий или повышающий коэффициент соответствия, для сохранения соответствия нормы текущей нормы высева требуемой. Изменение коэффициента соответствия осуществляется в пределах от 0,875 до 1,125 для обеспечения соответствия линейных скоростей семени и посевного агрегата. В случае превышения отклонения коэффициента соответ-

ствия механизатору передается сигнал о превышении отклонений, что требует остановки посевного агрегата для устранения причин неполадок.

Выводы. Электрический привод высевающих аппаратов и вентилятора пропашной сеялки поддерживает стабильность нормы высева семян в каждом рядке и постоянную высокую скорость посевного агрегата, не зависящую от частоты вращения высевающего диска. Применение СКВС обеспечивает высокую точность высева семян каждой секцией и их равномерное распределение вдоль рядка, а также своевременное информирование оператора о возникших технологических отказах сеялки, например, прекращение высева семян одним или несколькими аппаратами и забивание сошников почвой.

Список литературы

1. Kryuchin N.P., Kotov D.N., Andreev A.N., Artamonova O.A. Development and research of seeding devices for selected selfpropelled pneumatic seeder // BIO Web of Conferences 37, 00092 (2021). - https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700092.
2. Завражнов А.И., Балашов А.В., Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Крищенко А.В. Модернизированная система контроля высева семян // Наука в центральной России. Наука в центральной России, №2, (38), 2019. – С. 53–60.
3. Вагин И.В. Повышение качества высева семян зерновых культур пневмосеялкой с электроприводом высевающего аппарата и вентилятора: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.20.01 – Пенза. – 2010. – 19 с.
4. Wang, S., Yu, Y., Yang, C., Liu, L., Zhang, Y., Zhang, Z., Li, H. Experiment and research of seeding electromechanical control seeding system based on fuzzy control strategy // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. – 2020. - V. 38. - № 1. - P. 453-462. - DOI: 10.3233/JIFS-179419.
5. К 2035 году внедрение технологий точного земледелия в российском растениеводстве достигнет 90% [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.agroinvestor.ru/business-pages/35181-k-2035-godu-vnedrenie (дата обращения: 29.01.2022).
6. Ловкис В.Б., Захаров А.В., Стасюкевич Н.Н., Стасюкевич А.Н. Обоснование и расчет схемы электропривода пневмосеялки агрегата комбинированного почвообрабатывающе-посевного // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. Выпуск 50. – Минск, 2016. – С. 193–199.
7. Стрыгин С.П., Крищенко А.В., Завражнов А.А., Дергачев Д.В. Результаты лабораторно-стендовых исследований высевающего аппарата сеялки МС-8 // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. № 1 (60). – С. 48–51.
8. Завражнов А.И., Измайлов А.Ю., Пустоваров Н.Ю. Разработка и обоснование параметров ёмкостного датчика высева семян пропашных культур // Сельскохозяйственные машины и технологии, Т. 13, № 2, 2019. – С. 4–9.
9. Василенко В.В., Казаров К.Р., Труфанов В.В., Астанин В.К. Влияние неравномерности интервалов между семенами на урожай сахарной свеклы // Индустриальная технология возделывания сахарной свеклы в Центрально-Черноземной зоне. – Воронеж, 1982. – С. 134-139.
10. Хижняк В.И., Несмиян А.Ю., Авраменко Ф.В. Проектирование и расчет пропашных сеялок: учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 114 с.

References

1. Kryuchin N.P., Kotov D.N., Andreev A.N., Artamonova O.A. Development and research of seeding devices for selected selfpropelled pneumatic seeder // BIO Web of Conferences 37, 00092 (2021). - https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700092.
2. Zavrazhnov A.I., Balashov A.V., Strygin S.P., Pustovarov N.Y., Krishhenko A.V. Modernizirovannaja sistema kontrolja vyseva semjan // Nauka v central'noj Rossii. Nauka v central'noj Rossii, №2, (38), 2019. – S. 53–60.
3. Vagin I.V. Povyshenie kachestva vyseva semjan zernovyh kul'tur pnevmosejalkoj s jelektroprivodom vysevajushhego apparata i ventiljatora : avtoreferat dis. ... kandidata tehnicheskih nauk : 05.20.01 – Penza. – 2010. – 19 c.
4. Wang, S., Yu, Y., Yang, C., Liu, L., Zhang, Y., Zhang, Z., Li, H. Experiment and research of seeding electromechanical control seeding system based on fuzzy control strategy // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. – 2020. - V. 38. - № 1. - P. 453-462. - DOI: 10.3233/JIFS-179419.

5. K 2035 godu vnedrenie tehnologij tochnogo zemledelija v rossijskom rastenievodstve dostignet 90% [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: https://www.agroinvestor.ru/business-pages/35181-k-2035-godu-vnedrenie (data obrashhenija: 29.01.2022).

6. Lovkis V.B., Zaharov A.V., Stasjukevich N.N., Stasjukevich A.N. Obosnovanie i raschet shemy jelektroprivoda pnevmosejalki agregata kombinirovannogo pochvoobrabatyvajushhe-posevnogo // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. Mezhvedomstvennyj tematicheskij sbornik. Vypusk 50. – Minsk, 2016. – S. 193–199.

7. Strygin S.P., Krishhenko A.V., Zavrazhnov A.A., Dergachev D.V. Rezul'taty laboratorno-stendovyh issledovanij vysevajushhego apparata sejalki MS-8 // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. № 1 (60). – S. 48–51.

8. Zavrazhnov A.I., Izmajlov A.Y., Pustovarov N.Y. Razrabotka i obosnovanie parametrov jomkostnogo datchika vyseva semjan propashnyh kul'tur // Sel'skohozjajstvennye mashiny i tehnologii, T. 13, № 2, 2019. – S. 4–9.

9. Vasilenko V.V., Kazarov K.R., Trufanov V.V., Astanin V.K. Vlijanie neravnomernosti intervalov mezhdu semenami na urozhaj saharnoj svekly // Industrial'naja tehnologija vozdelyvanija saharnoj svekly v Central'no-Chernozemnoj zone. – Voronezh, 1982. – S. 134-139.

Hizhnjak V.I., Nesmijan A.Y., Avramenko F.V. Proektirovanie i raschet propashnyh sejalok: uchebnoe posobie po kursovomu i diplomnomu proektirovaniju / Zernograd: Azovo-Chernomorskij inzhenernyj institut FGBOU VPO DGAU, 2015. – 114 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Завражнов Анатолий Иванович – академик РАН, доктор технических наук, прфессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru

Балашов Александр Владимирович – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: ntc.agro@yandex.ru

Стрыгин Сергей Петрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: sew1982@gmail.com

Пустоваров Никита Юрьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: ntc.agro@yandex.ru

Author credentials

Affiliations

Zavrazhnov Anatoly - Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru

Balashov Alexander – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: ntc.agro@yandex.ru

Strygin Sergei – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: sew1982@gmail.com

Pustovarov Nikita – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: ntc.agro@yandex.ru

Поступила в редакцию (Received): 20.01.2022 Принята к публикации (Accepted): 22.02.2022