

EDN: EKXLSH

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-10-16

Научная статья
УДК 338.43(471):633.521

Разработка самоходного оборачивателя лент льна на дистанционном управлении

Сергей Викторович Соловьёв,
младший научный сотрудник,
e-mail: s.solovyov@fncl.ru;
Владислав Юрьевич Романенко,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: v.romanenko@fncl.ru;

Виктор Григорьевич Черников,
доктор технических наук, профессор,
член корреспондент РАН,
главный научный сотрудник,
e-mail: v.chernikov@fncl.ru

Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005).

Реферат. Отметим, что крупные мировые машиностроительные компании работают над созданием сельскохозяйственных роботизированных систем. Особое внимание уделяется разработке универсальных беспилотных мобильных энергетических средств, позволяющих выполнять технологические операции без участия человека. Анализ машин для уборки и приготовления льнотресты выявил недостаточную автоматизацию и роботизацию данных процессов. При уборке льна наименее энергозатратной операцией является оборачивание. Начаты исследования по применению самоходного оборачивателя лент льна на дистанционном управлении с возможностью дальнейшей адаптации под автономную работу. *(Цель исследования)* Обосновать режимы и разработать силовую электрическую схему самоходного оборачивателя лент льна на электроприводе с дистанционным управлением. *(Материалы и методы)* Теоретически обосновали линейную скорость движения транспорта по отношению к прямолинейному движению оборачивателя. *(Результаты и обсуждения)* Определили режимы работы оборачивателя лент льна: угловую скорость транспорта 4,63 радиан в секунду при скорости движения машины 2,78 метров в секунду. На основании веса машины подобраны приводные колеса 7,00-12 Ф-42-1, шины которых обеспечивают отличное сцепление с дорожным покрытием и хорошую маневренность. Индекс нагрузки приводных колес составил 133, наружный диаметр шин 660 миллиметров, ширина профиля без нагрузки не более 195 миллиметров. Спроектирована силовая электрическая схема самоходного оборачивателя лент льна с дистанционным управлением. *(Выводы)* Определены режимы работы электрифицированного самоходного оборачивателя лент льна на радиуправлении и предложена электрическая схема, которая позволяет осуществить проектирование узлов и агрегатов машин для приготовления льнотресты.

Ключевые слова: ленты льна, самоходный оборачиватель, приготовление льнотресты, радиуправление.

■ **Для цитирования:** Соловьёв С.В., Романенко В.Ю., Черников В.Г. Обоснование режимов работы самоходного оборачивателя лент льна на дистанционном управлении // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №4. С. 10-16. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-10-16. EDN: EKXLSH.

Scientific article

Development of Remote-Controlled Self-Propelled Flax Windrow Turner

Sergey V. Solovyov,
junior researcher,
e-mail: s.solovyov@fncl.ru;
Vladislav Yu. Romanenko,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: v.romanenko@fncl.ru;

Viktor G. Chernikov,
Dr.Sc.(Eng.), professor, corresponding member
of the Russian Academy of Sciences,
chief researcher,
e-mail: v.chernikov@fncl.ru

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Task of the Federal State Budgetary Institution FNC LC (No. FGSS-2022-0005).

Abstract. The paper highlights efforts by major global engineering companies to develop agricultural robotic systems, with a particular focus on universal unmanned mobile energy vehicles designed to perform technological operations autonomously. Analysis of current machinery for harvesting and preparing flax straw indicates a lack of sufficient automation and robotization in these processes. Among the operations involved in flax harvesting, turning is defined as the least energy-intensive. In this regard, research has begun on the development of a remotely controlled, self-propelled flax windrow turner, with potential for further adaptation to autonomous operation. (*Research purpose*) The study aims to substantiate the optimal operating modes and develop a power electrical circuit for a remotely controlled, self-propelled flax windrow turner equipped with an electric drive. (*Materials and methods*) The study provides a theoretical basis for the conveyor's linear speed in relation to the rectilinear motion of the flax turner. (*Results and discussions*) The study identified the following operating modes for the flax windrow turner: the conveyor's angular velocity was determined to be 4.63 radians per second, with a machine speed of 2.78 meters per second. Considering the machine's weight, 7.00-12 F-42-1 drive wheels were selected, with tires that offer excellent road traction and maneuverability. The drive wheels had a load index of 133, an outer diameter of 660 millimeters, and a profile width of no more than 195 millimeters without load. Additionally, a power electrical circuit was designed for a remotely controlled self-propelled flax windrow turner. (*Conclusions*) The study determined the operating modes for an electrified radio-controlled, self-propelled flax windrow turner and proposed a powered electrical circuit for designing the units and assemblies of machinery used in flax straw harvesting.

Keywords: flax windrows, self-propelled turner, flax straw harvesting, radio control.

■ **For citation:** Solovyov S.V., Romanenko V.Yu., Chernikov V.G. Development of remote-controlled self-propelled flax windrow turner. *Agricultural Machinery and Technology*. 2024. Vol. 18. N4. 10-16 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-10-16. EDN: EKXLSH.

Наиболее трудоемким процессом в льноводстве является уборка, на ее долю в зависимости от принятой технологии приходится 65-80% затрат труда, 55-75% денежных средств и до 40% энергии [1].

К приоритетам научно-технологического развития сельского хозяйства относится переход к высокопродуктивному, экологически чистому агрохозяйству [2]. Данное направление предусматривает применение цифровых, информационных, интеллектуальных технологий и роботизированных комплексов, способствующих повышению эффективности производства продукции [3, 4].

В настоящее время крупные мировые разработчики и производители мобильных сельхозмашин ведут работы над созданием сельскохозяйственных роботов и роботизированных систем [5, 6]. Особое внимание уделяется универсальным беспилотным мобильным энергетическим средствам (МЭС) [7, 8]. Внедрение цифровых технологий в МЭС превращает тракторы и самоходные комбайны с традиционной компоновочной схемой в интеллектуальные машины, которые агрегируют с навесными и прицепными машинами за счет не только механических связей (навесная система, прицепное устройство, гидросистема, вал отбора мощности), но и информационных (электронных) [9, 10].

Россия потеряла лидирующие позиции в мире по производству и переработке льна [11]. По данным Росстата, за три года (2020-2022 гг.) посевные площади льна сократились с 53 тыс. до 35 тыс. га, соответственно, снизились и объемы производства. Если в 2000 г. в России было произведено 48 тыс. т льноволокна, то в последние годы эти объемы не превышали 30 тыс. т [12].

Слабый интерес к возделыванию льна-долгунца связан с большой трудоемкостью и отсутствием техники [13]. Если для посева мелкосеменных культур, к которым относится лен, еще можно приобрести универсальные сеялки или переоборудовать имеющиеся, то для каждой технологической операции при уборке этой культуры (теребление, оборачивание, вспушивание, прессование) необходимы специализированные технические средства. Для таких операций, как оборачивание льна при работе с прицепной и навесной техникой можно использовать трактора тягового класса не выше 0,6 [14, 15].

Цель исследования: разработать технологическую схему и обосновать конструктивные параметры самоходного оборачивателя лент льна на электроприводе, а также его силовую электрическую схему с дистанционным управлением.

Материалы и методы. В 2023 г. в условиях лаборатории агроинженерных технологий ФНЦ лубяных культур выполнен мощный расчет электрифицированного самоходного оборачивателя лент льна, разработаны компоновочно-конструктивная схема и блок-схема взаимодействия между электрическими и механическими элементами. Требуемая расчетная мощность для передвижения самоходного электрифицированного оборачивателя составила 1,33 кВт. Мощность холостого хода рабочих органов 0,88 кВт. Мощность, необходимая для привода рабочих органов, равна 1,99 кВт. Суммарная мощность с учетом 5% запаса составит 3,5 кВт [15, 16]. На основании полученных данных необходимо разработать алгоритм операций самоходного оборачивателя лент льна, выбрать и обосновать его конструктивные элементы, а также разработать силовую электрическую схему.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Так как самоходный оборачиватель лент льна не предназначен для беспилотного движения по дорогам общего пользования, то его необходимо безопасно доставить на поле (место начала автономной работы) при помощи оператора или с применением вспомогательного транспортного средства. Далее по заранее заданным GPS-координатам машина подъезжает к началу разостланной ленты льна, которую необходимо обернуть. Для перевода оборачивателя из транспортного в рабочее положение предложена конструкция рамы, соединенной с управляемым колесом через механизм подъема и опускания.

Технологическая схема радиоуправляемого оборачивателя лент льна на представлена на [рисунке 1](#). Машина состоит из рамы 1, подбирающе-оборачивающего транспортера 2, ведущих колес 3, ведомого управляемого колеса 4, механизма подъема и опускания подбирающе-оборачивающего транспортера 5.

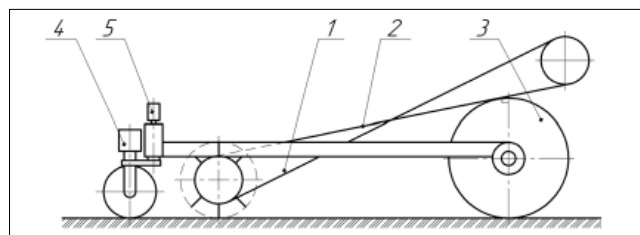


Рис. 1. Технологическая схема радиоуправляемого самоходного оборачивателя лент льна

Fig. 1. Technological diagram of a radio-controlled self-propelled flax windrow turner

Управляемое колесо, установленное на раме 3, имеет кронштейн, который свободно перемещается в раме 2, а подъем и опускание осуществляются за счет винтовой пары 4 посредством привода 1 от мотор-редуктора ([рис. 2](#)). На раме жестко закреплен рабочий орган – подбирающий барабан, который опускается на заданное расстояние от земли, контроль которого осуществляется при помощи концевых выключателей, отрегулированных заранее. Колесо установлено на раме

Далее начинается движение оборачивателя по полю с точным копированием ленты льна таким образом, чтобы центр подбирающего барабана всегда находился по центру оборачиваемой ленты льнотресты. Одновременно путем включения электродвигателя, передающего движение на ведущий шкив оборачивающего устройства, посредством ременной передачи начинается вращение подбирающего барабана. Лента подбирается с поля, оборачивается на 180° и снова расстилается. Чтобы лента поступала в подборщик без разрыва и сгуживания необходимо соблюсти и другое обязательное условие – соотношение скоростей окружной скорости

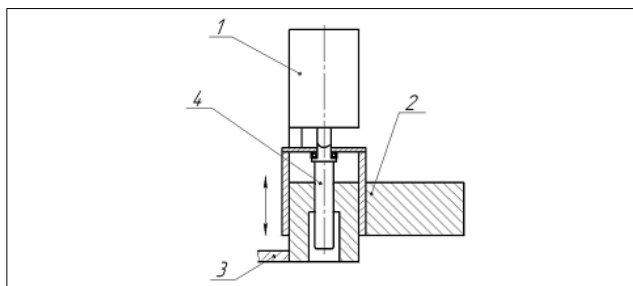


Рис. 2. Механизм подъема и опускания подбирающе-оборачивающего транспортера

Fig. 2. Lifting and lowering mechanism of the picking-up and turning conveyor

барабана и транспортера и поступательной скорости подборщика (машины).

Линейная равномерная скорость движения машины V_M равна скорости движения точки V_0 оси 0 и находится по уравнению:

$$V_M = V_0 = \omega_{KB} \cdot R_{KB}. \quad (1)$$

Скорость вращения подбирающего барабана и оборачивающего устройства должна быть синхронна со скоростью движения оборачивателя. Движение осуществляется по заданному треку с GPS-координатами либо путем дистанционного управления оператором при помощи пульта и видеоконтроля. Поворот машины осуществляется от электродвигателя через червячный редуктор. В конце ленты происходит подъем подбирающего барабана, самоходный оборачиватель переезжает к началу другой ленты и цикл повторяется.

В конце работы оборачиватель перемещается на заданную конечную точку с GPS-координатами или по команде оператора. В качестве дистанционного пульта управления предусматривается применение смартфона на базе *Android* со специальным программным обеспечением. Это позволит осуществлять управление и видеоконтроль в режиме реального времени.

При работе в режиме автопилота, если возникает препятствие в процессе работы или остановки по причине забивки либо неисправности, самоходный оборачиватель должен остановиться и подать на пульт управления сигнал оператору.

Для выбора мотор-редуктора на привод подбирающе-оборачивающего транспортера необходимо определить линейные скорости движения транспортера и машины ([рис. 3](#)).

Линейная равномерная скорость движения машины V_M , равна скорости движения V_0 точки оси 0 и находится по уравнению:

$$V_M = V_0 = \omega_{KB} \cdot R_{KB}, \quad (2)$$

где ω_{KB} – угловая скорость колеса ведущего; c^{-1} ; R_{KB} – радиус колеса ведущего, м.

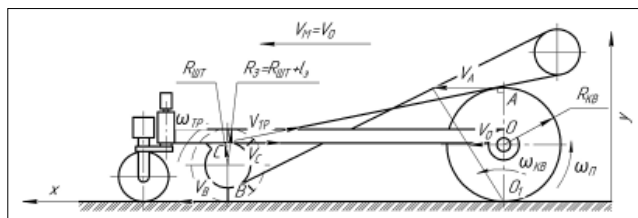


Рис. 3. Схема к определению линейной скорости движения транспортера по отношению к прямолинейному движению самоходного оборачивателя лент льна

Fig. 3. Diagram for determining the linear speed of the conveyor relative to the rectilinear movement of the self-propelled flax windrow turner

Пояснения к схеме: V_M – линейная скорость движения машины; V_0 – линейная скорость движения точки O оси колеса ведущего; V_B – окружная скорость точки B касания пружинного зуба подборщика и ленты льна (расположена на почве); V_{TP} – линейная скорость движения транспортера; R_{KB} – радиус колеса ведущего; $R_{ШТ}$ – радиус шкива транспортера; R_3 – радиус подбирающего барабана по верхушкам зуба.

Ведущее колесо жестко закреплено с осью привода и совершает равномерное вращательное движение на оси, поэтому скорость точки A находим из уравнения:

$$V_A = \omega_n \cdot R_{KB}, \quad (3)$$

где ω_n – угловая скорость привода, c^{-1} .

Относительно почвы ведущее колесо совершает плоскопараллельное движение, мгновенный центр скоростей находится в точке O_1 . Из точек A и O_1 проведем перпендикуляр. Находим скорость точки A по уравнению:

$$V_A = \omega_{KB} \cdot 2 \cdot R_{KB}. \quad (4)$$

Подставляя уравнения (2) и (3) в (1) получим скорость движения машины:

$$V_M = V_A / 2 = (\omega_n \cdot R_{KB}) / 2. \quad (5)$$

Подбирающе-оборачивающий транспортер жестко закреплен на раме машины и совершает сложное движение, которое складывается из вращательного движения шкивов транспортера и прямолинейного равномерного движения машины. Так как ремень жесткий, то точка C движется с ремнем ремня транспортера, ее скорость будет направлена в противоположную сторону, и с учетом знаков уравнение примет вид:

$$V_{TP} = V_M - V_C, \quad (6)$$

где V_C – окружная скорость шкива транспортера, м/с.

При оборачивании ленты льна слой стеблей за счет трения перемещается по транспортеру машины. Однако если взять точку C ленты, то после обо-

рачивания ее линейное перемещение относительно осей X и Y будет равно нулю, поэтому скорость точки C равна нулю. Поскольку скорость является первой производной от перемещения по осям, уравнение (5) примет вид:

$$0 = V_M - V_C, \text{ откуда } V_M = V_C. \quad (7)$$

Скорость движения ремня транспортера в точке C находим из уравнения:

$$V_C = \omega_{TP} \cdot R_{ШТ}, \quad (8)$$

где ω_{TP} – угловая скорость шкива транспортера, c^{-1} ; $R_{ШТ}$ – радиус шкива транспортера, м.

Скорость в момент подбора ленты льна на верхушках зубьев подбирающего барабана

$$V_B = \omega_{TP} \cdot R_3 = \omega_{TP} \cdot (R_{ШТ} + l_3), \quad (9)$$

где l_3 – длина пружинного зуба, м.

Преобразуем уравнения (4) и (5) с учетом равенства (6):

$$(\omega_n \cdot R_{KB}) / 2 = \omega_{TP} \cdot R_{ШТ}.$$

Тогда

$$\omega_{TP} = (\omega_n \cdot R_{KB}) / (2 \cdot R_{ШТ}). \quad (10)$$

Из уравнения (9) видно, что после определения необходимого радиуса и частоты вращения ведущих колес, а также принятия геометрических размеров шкивов транспортера можно определить необходимую угловую скорость подбирающе-оборачивающего транспортера.

Для дальнейших расчетов надо знать геометрические размеры ведущих колес самоходного оборачивателя. Резина для колес машин подбирается по наибольшей допустимой вертикальной нагрузке на шину при заданной скорости движения.

Для одного колеса оборачивателя ленты льна вертикальная нагрузка

$$G_{OK} = G / 3, \quad (11)$$

где G_{OK} – нагрузка на колесо, Н; G – вес машины, Н.

Приняв вес машины согласно [9] 500 кг и подставив числовые значения в уравнение (10), получаем:

$$G_{OK} = (9,8 \cdot 500) / 3 = 1633 \text{ Н или } 166 \text{ кг.}$$

Определив максимальную нагрузку на колесо, по приложению А ГОСТ 7463-2003 [11], подбираем шину и колесо 7,00-12, индекс нагрузки которых составляет 46.

Для ведущих колес самоходного оборачивателя выбрана покрышка 7,00-12 Ф-42-1. Она обеспечивает отличное сцепление с дорожным покрытием и хорошую управляемость. Индекс нагрузки равен 133 (нагрузка 2060, скорость до 30 км/ч), наружный диаметр шины 660 мм, ширина профиля без нагруз-

ки не более 195 мм в соответствии с ГОСТ 7463-2003 «Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия».

Как показали производственные испытания оборачивателей лент льна, максимальная скорость агрегатирования машины при качественном выполнении операции не должна превышать 10 км/ч [10] (2,78 м/с). Исходя из этого определялась угловая скорость приводных колес:

$$\omega_{KB} = V_A / (2 \cdot R_{KB}) = 2,780,66 = 4,21, c^{-1} \text{ или } 40,2 \text{ об/мин.}$$

Ввиду конструктивных особенностей подбирающе-оборачивающего транспортера диаметр шкива принимаем до 300 мм согласно рекомендациям (Романенко В.Ю. Повышение эффективности работы оборачивателя льна путем оптимизации параметров и режимов работы подбирающе-оборачивающего устройства: дисс. ... канд. техн. наук. Тверь, 2011. 202 с.). Находим по уравнению (9) необходимую угловую скорость транспортера при линейной скорости движения машины 10 км/ч (2,78 м/с):

$$\omega_{тр} = [4,21 \cdot (0,66/2)] / [2 \cdot (0,3/2)] = 4,63, c^{-1} \text{ или } 44,2 \text{ об/мин.}$$

Таким образом для качественного выполнения самоходным обрачивателем лент льна технологического процесса необходимо подобрать понижающий редуктор и установить на приводной вал подбирающе-оборачивающего транспортера. Он должен соответствовать требованиям по выходным оборотам в диапазоне не менее 44 об/мин и не более 50 об/мин.

Одним из элементов проектирования самоходного оборачивателя лент льна является разработка силовой электрической схема с дистанционным управлением (рис. 4). Она состоит из GPS антенны 1; электродвигателя управляющего колеса 2; электродвигателя для перемещение оборачивателя 3; электродвигателя привода рабочего органа 4; электродвигателя и концевых выключателей на подъем-опускание рабочего органа 5; преобразователя 6 напряжения с 60 на 24 В; замка зажигания (включения) 7; тяговых аккумуляторов 8; контроллера 9; пульта управления 10.

Данная электрическая схема позволяет вписать разрабатываемый самоходный обрачиватель в си-

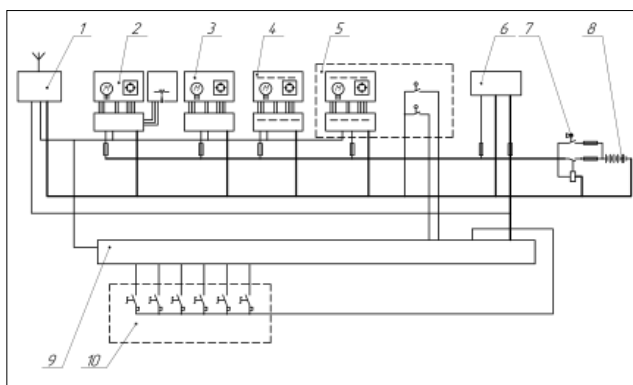


Рис. 4. Силовая электрическая схема самоходного оборачивателя лент льна

Fig. 4. Power electrical circuit of a self-propelled flax windrow turner

стему точного сельского хозяйства [17]. Эффективность работы машины в целом планируется подтвердить путем проведения полевых опытов по известным методикам [18].

Заключительным этапом станет проведение апгрейда электрической схемы путем добавления модулей для роботизации оборачивателя и возможности автономной работы [19].

Выводы

Определены режимы работы самоходного оборачивателя лент льна, угловая скорость транспортера составила $4,63 \text{ c}^{-1}$ при скорости движения машины 2,78 м/с.

На основании веса машины подобраны приводные колеса 7,00-12 Ф-42-1, шины которых обеспечивают отличное сцепление с дорожным покрытием и маневренность. Индекс нагрузки приводных колес составил 133 (нагрузка 2060, скорость до 30 км/ч), наружный диаметр шин 660 мм, ширина профиля без нагрузки не более 195 мм.

Спроектирована силовая электрическая схема самоходного оборачивателя лент льна на дистанционном управлении. На основании полученных данных на самоходный обрачиватель лент льна предлагается разработать конструкторскую документацию, а также комплектование необходимыми материалами для изготовления опытного образца и проведения полевых исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Соловьёв С.В. Исследования параметров и режимов работы аппарата для очеса льна на корню // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N2. С. 13-18. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-2-13-18.
2. Великанова И.В., Диченский А.В., Гриц Н.В. Внедрение цифровых технологий как инструмент развития отрасли льноводства // *Аграрная наука*. 2021. N10. С. 116-120. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-353-10-116-120.
3. Старостин И.А., Ешин А.В., Годжаев Т.З., Давыдова С.А. Концептуальные направления развития беспилотных мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения // *Тракторы и сельхозмашины*. 2024. Т. 91. N1. С. 23-37. DOI: 10.17816/0321-4443-567812.
4. Ценч Ю.С., Курбанов Р.К., Захарова Н.И. Развитие систем управления полетом и средств аэрофотосъемки

- беспилотных воздушных судов сельскохозяйственного назначения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N2. С. 11-19. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-11-19.
5. Ценч Ю.С., Шаров В.В. Становление отечественной мобильной сельскохозяйственной техники на электротяге // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N3. С. 4-13. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-4-13.
6. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. N4. С. 63-68. DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
7. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // *Техника и оборудование для села*. 2023. N4(310). С. 2-5. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
8. Рубцов И.В., Русанова О.Г., Годжаев З.А. Использование технологий специального назначения в сельскохозяйственной робототехнике // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N1. С. 37-41. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-1-37-41.
9. Аксенов А.Г., Дмитриев К.С. Цифровой двойник электропривода грузового трицикла для транспортировки семян // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2024. Т. 71. N1. С. 76-86. DOI: 10.22314/2658-4859-2024-71-1-76-86.
10. Годжаев З.А., Сенькевич С.Е., Алексеев И.С., Ильченко Е.Н. Математическое моделирование динамических процессов сельскохозяйственного мобильного энергетического средства на электроприводе // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024. Т. 25. N1. С. 112-122. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.112-122.
11. Попов Р.А., Великанова И.В. Проблемы и перспективы развития льняного подкомплекса в условиях трансформации мер государственной поддержки // *Техника и оборудование для села*. 2020. N9(279). С. 43-48. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-9-43-48.
12. Романенко В.Ю. Сохранение качества льнотресты путем применения самоходного подборщика-оборачивателя // *Аграрный научный журнал*. 2023. N11. С. 194-198. DOI: 10.28983/asj.y2023i11pp194-198.
13. Попов Р.А. Технические средства для уборки льна-долгунца / Р.А. Попов, С.А. Давыдова, И.Г. Голубев // *Техника и оборудование для села*. 2021. N7(289). С. 23-27. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-7-23-27.
14. Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ущиповский И.В., Попов Р.А. Основные проблемы научного обоснования льноводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N3. С. 45-52. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.
15. Романенко В.Ю., Соловьев С.В. Выбор компоновочной схемы и мощностной расчет самоходного оборачивателя лент льна на электроприводе // *Аграрный научный журнал*. 2024. N7. С. 138-144. DOI: 10.28983/asj.y2024i7pp138-144.
16. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Попов Р.А. и др. Определение коэффициентов трения стеблей льна по характеристикам шероховатости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N1. С. 41-47. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47.
17. Гриц Н.В., Ростовцев Р.А., Диченский А.В. Использование элементов точного сельского хозяйства для получения климатически обоснованной урожайности сельскохозяйственных культур в специализированных севооборотах // *Аграрная наука*. 2023. N10. С. 88-94. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94.
18. Голубев В.В., Кудрявцев А.В., Фирсов А.С., Сафонов М.А. Методика проведения агротехнического полевого опыта // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N4. С. 43-48. DOI: 10.22314/207375992017.4.4348.
19. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.

REFERENCES

1. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Solovyov S.V. Study on parameters and operating modes of the device for deseeding flax in the field. *Agricultural Machinery and Technology*. 2021. Vol. 15. N2. 13-18 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-2-13-18.
2. Velikanova I.V., Dichensky A.V., Grits N.V. Implementation of digital technologies as a tool for the development of the flax industry. *Agrarian Science*. 2021. N10. 116-120 (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2021-353-10-116-120.
3. Starostin I.A., Eshchin A.V., Godzhaev T.Z., Davydova S.A. Conceptual directions for the development of unmanned mobile power vehicles for agricultural purposes. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024. Vol. 91. N1. 23-37 (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-567812.
4. Tsench Yu.S., Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Evolution of flight control systems and aerial photography in unmanned agricultural aircraft. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N2. 11-19. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-11-19.
5. Tsench Yu.S., Sidorov I.V. Stages of technologies and technical means development for fertilization and plant protection. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. N18(3). 14-22 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-14-22.

6. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. et al. About synthesis of robotic agriculture mobile machine. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2019. N4. C. 63-68 (In Russian). DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
7. Lobachevskiy Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Scientific and technical achievements of agricultural engineering organizations in the context of digital transformation of agriculture. *Machinery and Equipment for the Village*. 2023. N4(310). 2-5 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
8. Rubtsov I.V., Rusanova O.G., Gojaev Z.A. The use of special-purpose technologies in agricultural robotics. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018. Vol. 12. N1. 37-41 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-1-37-41.
9. Aksenov A.G., Dmitriev K.S. The digital twin of the electric drive of a cargo tricycle for transporting seeds. *Electrotechnologies and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2024. Vol. 71. N1. 76-86 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2024-71-1-76-86.
10. Godzhaev Z.A., Senkevich S.E., Alekseev I.S., Ilchenko E.N. Mathematical modeling of dynamic processes of agricultural mobile energy vehicles on an electric drive. *Agrarian Science Euro-North-East*. 2024. Vol. 25. N1. 112-122 (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.112-122.
11. Popov R.A., Velikanova I.V. Problems and prospects for the development of the linseed subcomplex in the context of the transformation of state support measures. *Machinery and Equipment for the Village*. 2020. N9(279). 43-48 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-9-43-48.
12. Romanenko V.Yu. Preservation of the quality of flax by using a self-propelled baler wrapper. *Agrarian Scientific Journal*. 2023. (11). 194-198 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2023i11pp194-198.
13. Popov R.A., Davydova S.A., Golubev I.G. Equipment for harvesting fiber flax. *Machinery and Equipment for the Village*. 2021. N7(289). 23-27 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-7-23-27.
14. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovsky I.V., Popov R.A. The main problems of scientific support of flax growing. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N3. 45-52 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.
15. Romanenko V.Yu., Solovyov S.V. The choice of a layout scheme and power calculation of a self-propelled flax ribbon wrapper on an electric drive. *Agrarian Scientific Journal*. 2024. N7. 138-144 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2024i7pp138-144.
16. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Popov R.A. et al. Calculation of the friction coefficients of flax stems according to their roughness characteristics. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019. Vol. 13. N1. 41-47 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47.
17. Grits N.V., Rostovtsev R.A., Dichensky A.V. The use of elements of digital agriculture to obtain climate-based crop yields in specialized crop rotations. *Agrarian Science*. 2023. N1(10). 88-94 (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94.
18. Golubev V.V., Kudryavtsev A.V., Firsov A.S., Safonov M.A. Technique of agrotechnical field experiment. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. N4. 43-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2017-4-43-48.
19. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N4. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Соловьев С.В. – сбор и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, проведение расчетов;
 Романенко В.Ю. – литературный анализ, формирование общих выводов, редактирование и доработка текста статьи, подготовка материала к публикации;
 Черников В.Г. – научное руководство, постановка задачи. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Solovyov S.V. – collection and analysis of theoretical and practical materials on the research topic, calculations;
 Romanenko V.Yu. – literature review, formulation of general conclusions, manuscript proofreading and refinement, preparation of material for publication;
 Chernikov V.G. – scientific supervision, problem statement. The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

02.10.2024

12.11.2024