

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Technologies, Machines and Equipment for the Agro-industrial Complex

Научная статья

УДК 631.331.11

doi: 10.55196/2411-3492-2023-2-40-76-83

**Исследование процесса работы устройства для высева семян
разбросным способом**

**Аслан Каральбиевич Апажев¹, Юрий Хасанович Шогенов²,
Юрий Ахметханович Шекихачев^{✉3}**

^{1,3}Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

²Российская академия наук, Ленинский проспект, д. 14, Москва, Россия, 119991

¹kbr.apagev@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

²yh1961s@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7588-0458>

^{✉3}shek-fmep@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

Аннотация. В статье предложено решение проблемы обеспечения сельскохозяйственных животных полноценными кормами в условиях отгонного животноводства. Установлено, что в Северо-Кавказском регионе применяются три способа создания культурных пастбищ: основываясь на имеющихся природных и искусственных травостоях посредством их поверхностного улучшения (проведением культур-технических работ, регулированием водно-воздушного режима почвы, борьбой с сорной и ядовитой растительностью, подсевом трав, внесением удобрений); коренным улучшением природных кормовых сельхозугодий, т. е. созданием искусственных культурных пастбищ; использованием под пастбища посевов многолетних трав, возделываемых на сильноэродированных склоновых землях для снижения или исключения эрозионных процессов. Анализ результатов исследования дисковых разбрасывателей показывает, что они требуют дальнейшего совершенствования. Для этого предложено устройство для высева семян разбросным способом с дисковым рабочим органом, которое позволяет автоматически подбирать угол его наклона в соответствии с крутизной обрабатываемого склона, в результате чего исключается необходимость его заезда на горный склон при выполнении технологического процесса по подсеву трав и внесению удобрений. В результате обеспечивается устойчивая работа устройства без риска его опрокидывания. При проведении теоретических исследований процесса работы предложенного дискового рабочего органа пренебрегли скольжением семени по поверхности сбрасывателя (считая скорость семени малой по сравнению с окружной скоростью точки поверхности сбрасывателя, с которой оно находится в контакте, или равной нулю). Получены теоретические зависимости, позволяющие рассчитать траекторию движения семени с учетом силы тяжести и сопротивления воздуха. Установлены рациональные параметры предложенного устройства: окружная скорость высевающего диска 13,1 м/с; скорость передвижения устройства 2,9 м/с; высота расположения высевающего диска 0,332 м. При этих значениях норма высева находится в пределах агротехнических требований и составляет 4 млн шт/га.

Ключевые слова: кормопроизводство, пастбища, растительность, семена, высев, норма, траектория, устройство, моделирование, параметры

Для цитирования. Апажев А. К., Шогенов Ю. Х., Шекихачев Ю. А. Исследование процесса работы устройства для высева семян разбросным способом // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 2(40). С. 76–83.

doi: 10.55196/2411-3492-2023-2-40-76-83

Original article

Study of the operating process of a device for sowing seeds in a scattered way

Aslan K. Apazhev¹, Yuri Kh. Shogenov², Yuri A. Shekikhachev^{✉3}

^{1,3}Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030

²Russian Academy of Sciences, 14 Leninsky Prospekt, Moscow, Russia, 119991

¹kbr.apagev@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

²yh1961s@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7588-0458>

^{✉3}shek-fmep@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

Abstract. The article proposes a solution to the problem of providing farm animals with complete feed in the conditions of transhumance. It has been established that three methods of creating cultivated pastures are used in the North Caucasian region: based on the available natural and artificial grass stands through their surface improvement (carrying out cultural work, regulating the water-air regime of the soil, combating weeds and poisonous vegetation, overseeding grasses, fertilizing); radical improvement of natural fodder farmlands, i.e. creation of artificial cultural pastures; using for pasture crops of perennial grasses cultivated on heavily eroded sloping lands to reduce or eliminate erosion processes. Analysis of the research results of disc spreaders shows that they require further improvement. For this purpose, a device for sowing seeds in a scattered way with a disk working body is proposed, which allows you to automatically select the angle of inclination of the disk working body in accordance with the steepness of the treated slope, which eliminates the need for its arrival on the mountain slope when performing the technological process for overseeding grasses and fertilizing. As a result, stable operation of the device is ensured without the risk of tipping over. When carrying out theoretical studies of the process of operation of the proposed disk working body, the sliding of the seed over the surface of the ejector was neglected (considering the speed of the seed to be small compared to the peripheral speed of the point on the surface of the ejector with which the seed is in contact, or equal to zero). Theoretical dependences are obtained, which allow to calculate the trajectory of the seed movement, taking into account gravity and air resistance. Rational parameters of device are established: peripheral speed of the sowing disc 13.1 m/s; device movement speed 2.9 m/s; the height of the sowing disc is 0.332 m. With these values, the seeding rate is within the limits of agrotechnical requirements and amounts to 4 million units/ha.

Keywords: fodder production, pastures, vegetation, seeds, sowing, norm, trajectory, device, modeling, parameters

For citation. Apazhev A.K., Shogenov Y.Kh., Shekikhachev Y.A. Study of the operating process of a device for sowing seeds in a scattered way. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2023;2(40):76–83. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2023-2-40-76-83

Введение. В горных регионах для укрепления кормовой базы наибольшую эффективность показало создание культурных пастбищ, имеющих поверхностно улучшенный природный или искусственный травостой [1–7].

Культурные пастбища являются высокоэффективными и по праву считаются надежным источником стабильного обеспечения зелеными кормами животных в течение пастбищного периода. Свободная пастьба жи-

вотных на пастбищах является естественным способом их питания, созданным природой в пределах единой экосистемы, в которой произрастает естественная травянистая растительность. Одна из самых затратных статей в животноводстве – производство кормов. К примеру, при содержании животных на культурных пастбищах имеет место снижение удельного веса затрат на производство кормов в структуре суммарных затрат в сравнении с их содержанием в стойлах в 2 раза (с 60-65 до 30%), а затрат на приобретение горюче-смазочных материалов – в 6-7 раз. Искусственные культурные пастбища рекомендуется создавать главным образом в низкогорье, в редких, обоснованных, случаях – и в среднегорье, на участках, имеющих достаточно мощные и увлажненные почвы, выровненный рельеф и вырожденный травостой. Вид пастбищ определяется природно-климатическими и экономическими условиями региона и в соответствии с этим они могут быть однолетними, краткосрочными (до 5-6 лет) и долгодетными, долгосрочными (свыше 5-6 лет). Наибольшей эффективностью в горных регионах обладают долгодетные пастбища, что объясняется низкими совокупными затратами и меньшей степенью опасности возникновения и развития эрозионных процессов.

Одним из факторов повышения урожайности кормовых угодий является применение высокоэффективных технологических процессов посева и посевных машин. Применяемые рядовые способы посева не в полной мере отвечают особенностям горного и предгорного сельского хозяйства и не обеспечивают наилучшие условия для реализации потенциальной продуктивности горных кормовых угодий.

Оптимальным способом посева сельскохозяйственных культур считается равномерное размещение семян по площади питания. Такие условия обеспечивает посев с помощью дискового высевочного аппарата.

Цель исследования – установление рациональных параметров устройства для высева семян разбросным способом.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследования базируются на методах математического моделирования. Лабораторная установка была смонтирована на

тележке почвенного канала и имитировала безрядковую сеялку, оснащенную катушечным высевочным аппаратом-семяпроводом из пластмассовой трубки Ø35 мм и сошником или макетом сошника. Высев осуществлялся на липкую поверхность или почву. Для проведения исследования в производственных условиях разработана экспериментальная сеялка с новым дисковым разбрасывателем, а разброс по полю семян и его равномерность определялась наложением рамки.

Результаты исследования. Предлагаемое устройство [8–10] (рис. 1а) для высева семян разбросным способом состоит из рамы 1, опорных колес 2 и технологической емкости 3 для размещения семян и удобрений.

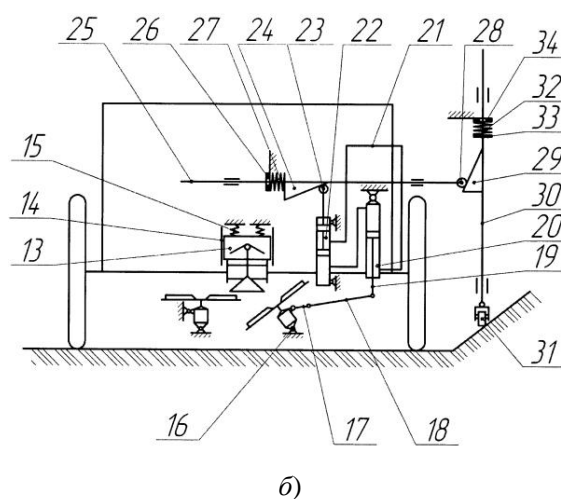
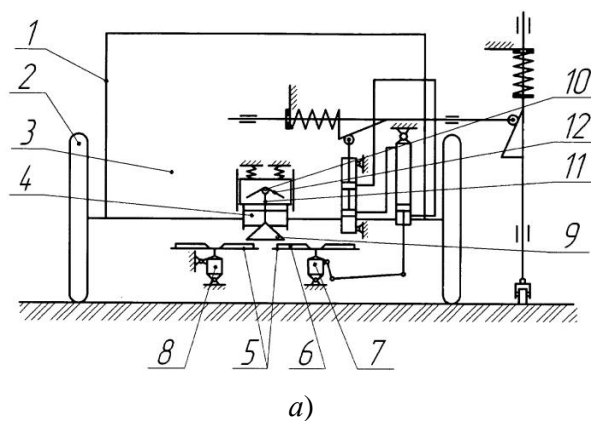


Рисунок 1. Устройства для высева семян разбросным способом
Figure 1. Devices for sowing seeds in a broadcast way

В технологической емкости 3 располагается механизм 4 для подачи и дозирования в соответствии с нормами семян и удобрений.

Рабочие органы представляют собой центробежные диски 5, оснащенные лопатками 6. Привод рабочих органов осуществляется от гидромоторов 7 и 8. Туконеправитель 9 потока семян и удобрений размещается сверху центробежных дисков 5 и фиксирован. В верхней части он имеет регулируемый по высоте упор 10, выполненный в форме ролика. Регулирование положения упора 10 по высоте обеспечивает винтовой механизм 11. На упор 10 опирается профильная дорожка 12, жестко закрепленная на дозирующей заслонке 13 (рис. 1б), которая устанавливается в направляющих 14 и имеет возможность вертикально перемещаться. Упругие элементы 15 поджимают ее к упору 10. Корпус первого гидромотора 8 жестко закреплен на раме 1, а второго гидромотора 7 – на одном конце с помощью оси 16 к раме 1 с возможностью поворота, а на другом конце – тягой 17 шарнирно соединяется с рычагом 18, который в свою очередь шарнирно соединяется со штоком 19 гидроцилиндра 20, связанного посредством маслопроводов 21 с золотниковым гидрораспределителем 22 гидросистемы устройства.

Шток золотникового гидрораспределителя 22 посредством ролика 23 опирается на кулачок 24, который жестко закреплен на ползуне 25, проходящем с зазором сквозь отверстие упорного кольца 26, зафиксированного неподвижно на раме 1. Между упорным кольцом 26 и прямолинейным кулачком 24 установлена пружина 27. На конце ползуна 25 закреплен ролик 28, который перекачивается по поверхности кулачка 29. Кулачок 29 зафиксирован на толкателе 30, на одном конце которого шарнирно установлено копирующее колесо 31, имеющее постоянный контакт с поверхностью почвы благодаря пружине 32, расположенной между опорной шайбой 33, зафиксированной на толкателе 30, и упорным кольцом 34, зафиксированным на раме 1.

В процессе работы устройства на ровном участке (рис. 1а) материал из технологической емкости 3 с помощью механизма подачи 4 подается на центробежные диски 5 с лопатками 6 и разбрасывается по поверхности почвы. При этом шток 19 (рис. 1б) гидроцилиндра 20 занимает крайнее нижнее положение, удерживая рычаг 18 и тягу 17 в по-

ложении, при котором оси валов гидромоторов 7 и 8 расположены вертикально. Шток золотникового гидрораспределителя 22 в этом случае находится в крайнем нижнем положении, которое соответствует максимальному ходу ползуна 25 вправо.

Туконеправитель 9 потока материала над центробежными дисками 5 установлен в среднем положении, в результате чего на рабочие органы поступает одинаковое количество материала. Так как туконеправитель 9 установлен в среднем положении, упор 10 располагается в средней части профильной дорожки 12. Дозирующая заслонка 13 благодаря упругим элементам 15 располагается в нижнем положении. Норма внесения семян трав и удобрений определяется положением упора 10, регулируемым посредством винтового механизма 11.

При работе устройства на склоновом участке (рис. 1б) копирующее колесо 31 с толкателем 30 с опорной шайбой 33 и установленным на нем неподвижно кулачком 29 перемещаются вверх, что способствует сжатию пружины 32, а ролик 28 перекачивается по поверхности подъема кулачка 29, перемещая ползун 25 влево. Вместе с тем пружина 27 сжимается и ролик 23 перекачивается по поверхности кулачка 24 к оси ползуна 25, а шток золотникового гидрораспределителя 22 перемещается вверх. Вследствие этого масло из корпуса золотникового гидрораспределителя 22 под давлением поступает в гидроцилиндр 20, что приводит к втягиванию штока 19, в результате чего гидромотор 7 с центробежным диском 5 посредством рычага 18 и тяги 17 поворачивается на угол, определяемый крутизной склона.

С уменьшением крутизны склона копирующее колесо 31 со связанным с ним толкателем 30 под воздействием пружины 32 опускаются вниз. Это, в свою очередь, приводит к соответствующему снижению угла наклона гидромотора 7 и центробежного диска 5.

Анализ результатов исследования дисковых разбрасывателей [10] показывает, что они требуют дальнейшего совершенствования.

Схема предлагаемого дискового рабочего органа показана на рисунке 2. Барабан 1 радиусом r вращается на роликах 2, в которых установлены подшипники качения. На бара-

бане жестко закреплены четыре сбрасывателя 3 радиусом R . Рассмотрим процесс движения семени после того, как оно отделится от сбрасывателя. Схема сил, действующих на семя, показана на рисунке 3.

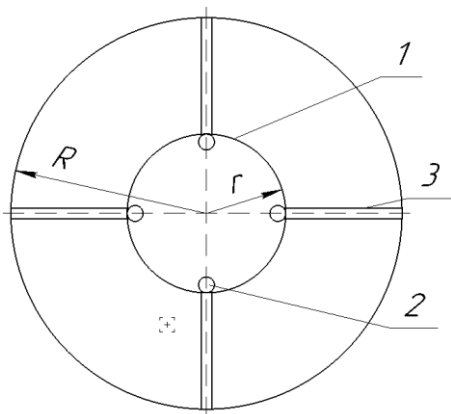


Рисунок 2. Схема дискового рабочего органа
Figure 2. Scheme of the disk working body

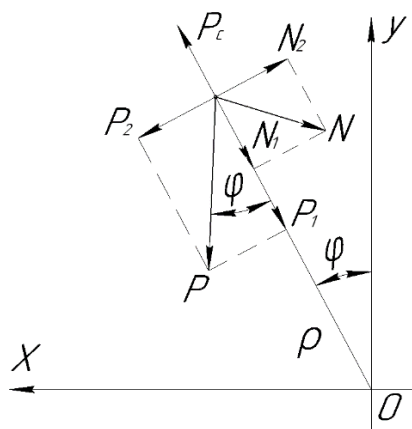


Рисунок 3. Схема сил, действующих на семя
Figure 3. Diagram of the forces acting on the seed

В любой момент времени, когда $0 < \varphi < 90^0$, т. е. когда семя падает со сбрасывателя, справедливо равенство:

$$P_C = P_1 + N_1, \quad (1)$$

где:

P_C – центробежная сила;

P_1 и N_1 – соответственно, составляющие веса семени и реакции сбрасывателя, направленные к оси вращения.

Условием отрыва семени от сбрасывателя является $N_1 = 0$. Таким образом, в момент

отрыва семени будет справедливо равенство $P_C = P_1$, или $m\omega^2\rho = mg\cos\varphi$, откуда:

$$\cos\varphi = \frac{\omega^2\rho}{g}. \quad (2)$$

Формула (2) дает связь между полярными координатами семени в момент отрыва его от сбрасывателя.

Если пренебречь скольжением семени по поверхности сбрасывателя (считая скорость семени малой по сравнению с окружной скоростью точки поверхности сбрасывателя, с которой семя находится в контакте, или равной нулю) и сопротивлением воздуха, то в момент отрыва семя имеет скорость, перпендикулярную своему радиус-вектору. Как тело в поле тяготения, имеющее скорость, семя после отрыва от сбрасывателя будет двигаться по параболе. Рассчитаем траекторию его движения (рис. 4).

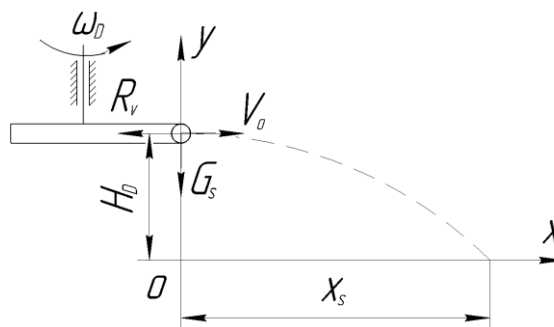


Рисунок 4. Схема к расчету траектории движения семени

Figure 4. Scheme for calculating the trajectory of the seed

На семя в момент схода с диска будут действовать сила тяжести и сопротивления воздуха. Сила сопротивления воздуха определится с использованием формулы Ньютона:

$$R_V = kF_M V_S^2 \frac{\gamma_V}{g}, \quad (3)$$

где:

k – коэффициент сопротивления, определяемый свойствами поверхности семени;

γ_V – удельный вес воздуха, кг/м³;

F_M – Миделево сечение, м²;

V_S – скорость семени относительно воздуха, м/с.

Составим дифференциальное уравнение полета семени в направлении оси X , которая совпадает с направлением начальной скорости V_0 :

$$\begin{cases} m_S \ddot{x} = -R_V (\dot{x})^2 \\ m_S \ddot{y} = -m_S g - R_V (\dot{y})^2 \end{cases} \quad (4)$$

С учетом выражения (3) по первому выражению уравнения (4) получим:

$$\ddot{x} = -\frac{k F_M \gamma V}{m_S g} (\dot{x})^2 = -k_P (\dot{x})^2, \quad (5)$$

где:

k_P – коэффициент парусности семени.

Уравнение (5) решаем с использованием метода понижения порядка:

$$\dot{x} = V_x, \quad \ddot{x} = \frac{dV_x}{dt}. \quad (6)$$

С учетом выражений (6) из зависимости (5) после некоторых преобразований получим:

$$\frac{dV_x}{V_x} = -k_P dx. \quad (7)$$

Интегрируя уравнение (7), получим:

$$\ln V_x = \ln e^{-k_P x} + \ln C_1. \quad (8)$$

Потенцируя выражение (8), имеем:

$$V_x = C_1 e^{-k_P x}. \quad (9)$$

Значение C_1 устанавливается, учитывая начальные условия: при $x = 0$ $V_x = V_0$, т. е.: $C_1 = V_0$. В этом случае

$$V_x = V_0 e^{-k_P x}. \quad (10)$$

С целью установления дальности полета семени выражение (10) интегрируем по времени (предварительно разделяем переменные):

$$\frac{1}{k_P} e^{k_P x} = V_0 t + C_2. \quad (11)$$

Постоянная интегрирования C_2 определится, учитывая начальные условия: при $t = 0$; $x = 0$ $C_2 = 1/k_P$. С учетом этого выражение (11) после некоторых преобразований примет вид:

$$e^{k_P x} = k_P V_0 t + 1. \quad (12)$$

После логарифмирования обеих частей выражения (12) получим:

$$k_P x = \ln(k_P V_0 t + 1). \quad (13)$$

Таким образом, уравнение для расчета дальности полета семени в функции времени таково:

$$x_S = \frac{1}{k_P} \ln(k_P V_0 t + 1). \quad (14)$$

Уравнение траектории движения семени запишется в виде:

$$y = H_D + \frac{1}{2k_P} \ln(g + k_P V_0^2) - \frac{1}{2k_P} \times \times \ln \left\{ g \left[1 + tg^2 \left(\arctg \sqrt{\frac{1}{g} e^{2k_P \left\{ H_D + \frac{1}{2k_P} \ln(g + k_P V_0^2) \right\}}} - 1 - \frac{\sqrt{k_P g}}{k_P V_0} (e^{x k_P} - 1) \right) \right] \right\}, \quad (15)$$

где:

H_D – высота расположения высеваше- го диска над поверхностью земли, м.

С использованием полученных теорети- ческих зависимостей установлены рацио- нальные параметры устройства для высева семян разбросным способом: окружная скорость высеваше- го диска 13,1 м/с; скорость передвижения устройства 2,9 м/с; высота расположения высеваше- го диска 0,332 м. При этих значениях норма высева находится в пределах агротехнических требований и составляет 4 млн шт/га.

Выводы. Предложенная конструкция устройства позволяет автоматически подби- рать угол наклона дискового рабочего органа в соответствии с крутизной обрабатываемого склона, в результате чего исключается необ- ходимость его заезда на горный склон при выполнении технологического процесса по подсеву трав и внесению удобрений. В ре-

зультате обеспечивается устойчивая работа устройства без риска его опрокидывания. Предлагаемое устройство может быть использовано также и для внесения удобрений на склоновых землях в районах, подверженных тропинчатой эрозии. Установлены его

рациональные параметры, обеспечивающие норму высева, соответствующую агротехническим требованиям: окружная скорость высевающего диска 13,1 м/с; скорость передвижения устройства 2,9 м/с; высота расположения высевающего диска 0,332 м.

Список литературы

1. Морозов Н. М. Направления развития инновационной техники для приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2012. № 1(5). С. 80–88.
2. Резник Е. И. Оценка различных технологий измельчения грубых кормов // Кормопроизводство. 1983. № 10. С. 19–20.
3. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B., Borisova N.A. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards // *Indian Journal of Ecology*. 2017. Т. 44. № 2. С. 239–243.
4. Frolov V.Y., Sysoev D.P. The evaluation of efficiency of using technologies for preparation and distribution of fodder at small farms // *Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. № 7(1). P. 1264–1271.
5. Frolov V.Y., Sysoev D.P., Tumanova M.I., Sarbatova N.J. Experimental Aspects of Crushing of The Stalk Forage with a Disc Cone Shaped Working Organ with Combined Segments // *Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. № 9(3). Pp. 958–967.
6. Frolov V.Y., Klasner G.G., Sysoev D.P. Substantiation of design and standard parameters of chopper of soaked grain of leguminous plants (as an example of the soya grain) // *Periodico tche quimica*. 2019. № 31. P. 258–267.
7. Грицай Д. И., Ангилеев Г. О. Приготовление измельченной кукурузной смеси в крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйствах // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 7. С. 12–13.
8. Мишхожев В. Х., Шекихачев Ю. А., Каскулов М. Х. О техническом и технологическом решении задачи повышения эффективности горного кормопроизводства в Кабардино-Балкарской Республике // *АгроЭкоИнфо*. 2018. № 1(31). С. 25.
9. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Hazhmetov L.M., Fiapshev A.G., Shekikhacheva L.Z., Napov Y.S., Hazhmetova Z.L., Gabachiyev D.T. Scientific justification of power efficiency of technological process of crushing of oranges // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1399. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055002.
10. Жигунов Р. Х., Шекихачев Ю. А., Мишхожев В. Х., Мишхожев Кан. В., Мишхожев Каз. В. Разработка и исследование устройства для высева семян разбросным способом // *АгроЭкоИнфо*. 2019. № 1(35). С. 30.

References

1. Morozov N.M. Direction of the development of innovative techniques for the preparation and distribution of feed on farms cattle. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2012;1(5):80–88. (In Russ.)
2. Reznik E.I. Evaluation of various technologies for grinding roughage. *Kormoproizvodstvo*. 1983;(10):19–20. (In Russ.)
3. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B., Borisova N.A. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards. *Indian Journal of Ecology*. 2017;44(2):239–243.
4. Frolov V.Y., Sysoev D.P. The evaluation of efficiency of using technologies for preparation and distribution of fodder at small farms. *Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016;7 (1):1264–1271.
5. Frolov V.Y., Sysoev D.P., Tumanova M.I., Sarbatova N.J. Experimental Aspects of Crushing of The Stalk Forage with a Disc Cone Shaped Working Organ with Combined Segments. *Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018;9 (3):958–967.
6. Frolov V.Y., Klasner G.G., Sysoev D.P. Substantiation of design and standard parameters of chopper of soaked grain of leguminous plants (as an example of the soya grain). *Periodico tche quimica*. 2019;31:258–267.
7. Gritsay D.I., Angileev G.O. Preparazione della miscela di mais tritato nelle fattorie contadine (fattorie) e sussidiarie personali. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2007;(7):12–13. (In Russ.)

8. Mishkhozhev V.Kh., Shekikhachev Yu.A., Kaskulov M.Kh. On the technical and technological solution of the problem of increasing the efficiency of mountain fodder production in the Kabardino-Balkarian Republic. *AgroEcoInfo*. 2018;1(31):25 (In Russ.)

9. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M., Fiapshev A.G., Shekikhacheva L.Z., Napov Y.S., Hazhmetova Z.L., Gabachiyev D.T. Scientific justification of power efficiency of technological process of crushing of forages. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1399(5):055002. DOI: 10.1088/1742-6596-1399-5-055002.

10. Zhigunov R.Kh., Shekikhachev Yu.A., Mishkhozhev V.Kh., Mishkhozhev Kan.V., Mishkhozhev Kaz.B. Development and research of a device for sowing seeds by a broadcast method. *AgroEcoInfo*. 2019;1(35):30. (In Russ.)

Сведения об авторах

Апажев Аслан Каральбиевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus ID: 57195587959, Researcher ID: H-4436-2016

Шогенов Юрий Хасанович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий сектором механизации, электрификации и автоматизации Отдела сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российская академия наук» (РАН)), SPIN-код: 7335-0970, Author ID: 483282, Scopus ID: 57221207970, Researcher ID: AAR-1140-2020

Шекихачев Юрий Ахметханович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 4107-1360, Author ID: 480039, Scopus ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Information about the authors

Aslan K. Apazhev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus ID: 57195587959, Researcher ID: H-4436-2016.

Yuri Kh. Shogenov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Sector of Mechanization, Electrification and Automation of the Department of Agricultural Sciences, Russian Academy of Sciences (RAS), SPIN-code: 7335-0970, Author ID: 483282, Scopus ID: 57221207970, Researcher ID: AAR-1140-2020

Yuri A. Shekikhachev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 4107-1360, Author ID: 480039, Scopus ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.04.2023;
одобрена после рецензирования 02.05.2023;
принята к публикации 10.05.2023.

The article was submitted 14.04.2023;
approved after reviewing 02.05.2023;
accepted for publication 10.05.2023.