



УДК 631.361.022



DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-34-39

Молотильно-сепарирующее устройство для первичного семеноводства кукурузы

Александр Геннадиевич Пастухов,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой, e-mail: pastukhov_ag@mail.ru;

Дмитрий Николаевич Бахарев,
кандидат технических наук,
доцент кафедры

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, п. Майский, Белгородская область, Российская Федерация

Реферат. Развитие отечественного первичного семеноводства кукурузы требует разработки новых обмолачивающих устройств, способных минимизировать макро- и микроповреждения семенного зерна. (*Цель исследования*) Обосновать конструктивно-технологические параметры аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства для сортовой и гибридной кукурузы с приспособлением, обеспечивающим ориентирование початков в пространстве перед обмолом и частичное нарушение их зерновой структуры посредством трения при вихревом перемещении воздушным потоком. (*Материалы и методы*) Использовали методы системного анализа, обеспечения принципа поточности в механизированных линиях, построения алгоритмов работы автоматизированных систем и конструирования сельскохозяйственных машин. (*Результаты и обсуждения*) Для минимизации повреждений зерна кукурузы рекомендовали последовательность операций технологического процесса обмолота аксиально-роторным молотильно-сепарирующим устройством, в которое початки подаются в строго сориентированном пространственном положении с частично нарушенной зерновой структурой. Усовершенствовали ориентирующе-дозировочное приспособление, представленное в виде вихревого ориентирующего дозатора, оснащенного автоматической системой управления уровнем загрузки. Установили конструктивные параметры вихревого ориентирующего дозатора на основе экспериментального определения механико-технологических параметров початков кукурузы. Предложили методику, оборудование и приспособления для определения угла естественного откоса початков кукурузы. Рассчитали размерные параметры окна-воронки для вывода початков и диаметра вихревой трубы дозатора. (*Выводы*) Разработали конструкцию молотильно-сепарирующего устройства с приспособлением для ориентирования початков в пространстве перед обмолом и частичным нарушением их зерновой структуры посредством трения при вихревом перемещении воздушным потоком. Определили, оптимальные параметры окна-воронки в дне вихревого ориентирующего дозатора: длина – 0,378 метра, ширина – 0,122 метра, диаметр вихревой трубы – не менее 0,624 метра.

Ключевые слова: семеноводство кукурузы, обмолот кукурузы, вихревой поток, молотильно-сепарирующее устройство, вихревой ориентирующий дозатор, повреждение зерна.

■ **Для цитирования:** Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н. Молотильно-сепарирующее устройство для первичного семеноводства кукурузы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №1. С. 34-39. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-34-39.

Maize Threshing and Separating Device for Primary Seed Production

Alexander G. Pastukhov,
Dr.Sc.(Eng.), professor, head of the department,
e-mail: pastukhov_ag@mail.ru;

Dmitry N. Bakharev,
Ph.D.(Eng.)

Belgorod State Agricultural University named after V.Ya. Gorin, Maisky Village, Belgorod region, Russian Federation

Abstract. The development of domestic primary maize seed production requires the development of new threshing devices capable to minimize seed grains macro- and microdamage. (*Research purpose*) To justify the design and technological parameters of the axial-rotary threshing and separating device for varietal and hybrid maize with a device that ensures the cobs orientation in space before threshing and partial violation of their grain structure by friction during swirling by air flow. (*Materials and methods*) The authors used system analysis methods, ensuring the principle of flow in mechanized lines, building algorithms for the automated systems operation and designing agricultural machines. (*Results and discussion*) To minimize corn grain damage, the authors



recommended the sequence of technological process operations of threshing with an axial-rotary threshing-separating device, into which the cobs were fed in a strictly oriented spatial position with a partially broken grain structure. They improved the orienting-dispensing loading device, presented in the form of a vortex orienting dispenser equipped with an automatic loading level control system. The authors established the design parameters of the vortex orienting batcher based on the experimental determination of the corn cobs mechanical and technological parameters. They proposed methods, equipment and devices for determining the angle of corn cobs repose. The authors calculated the dimensional parameters of the funnel window for the corn cob output and the metering vortex tube diameter. (Conclusions) The authors developed the design of a threshing-separating device with a device for orienting corn cobs in space before threshing and partial violation of their grain structure by friction during swirling by an air stream. They determined the funnel window optimal parameters at the bottom of the vortex orienting batcher: length – 0.378 meters, width – 0.122 meters, vortex tube diameter – at least 0.624 meters.

Keywords: corn seed production, maize threshing, vortex flow, threshing-separating device, vortex orienting batcher, grain damage.

For citation: Pastukhov A.G., Bakharev D.N. Molotil'no-separiruyushchee ustroystvo dlya pervichnogo semenovodstva kukuruzy [Maize threshing and separating device for primary seed production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 34-39 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-34-35.

Минимизация макро- и микроповреждений зерна сортовой и гибридной кукурузы в процессе обмолота может быть достигнута путем применения аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства (АРМСУ), в которое початки подаются в строго сориентированном пространственном положении [1-4]. Причем важно, чтобы их структура была частично нарушена: ослаблена связь зерен со стержнем в нескольких местах по длине початка или отделены несколько зерен. Этого можно достичь путем использования сил трения при вихревом перемещении початков посредством воздушного потока в приспособлении для загрузки АРМСУ [5]. Вихревое перемещение целесообразно совместить с процессом ориентирования початков в пространстве перед их подачей на обмолот. В таком варианте возможно существенно повысить эффективность обмолота початков и минимизировать повреждения зерна.

Цель исследования – обосновать конструктивно-технологические параметры АРМСУ для сортовой и гибридной кукурузы с приспособлением, обеспечивающим ориентирование початков в пространстве перед обмолотом и частичное нарушение их зерновой структуры посредством трения при вихревом перемещении воздушным потоком.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Использовали методы системного анализа, обеспечения принципа поточности в механизированных линиях, построения алгоритмов работы автоматизированных систем, конструирования сельскохозяйственных машин.

На внутреннем рынке России высокой конкурентоспособностью могут обладать семена кукурузы отечественной селекции, обладающие большим потенциалом урожайности, что возможно только при условии производства, уборки и послеуборочной обработки высокоэффективными машинами российского производства. В настоящее время в нашей стране есть все предпосылки для решения данной ответственной и

важной задачи [6]. Ее решение следует начинать с совершенствования технологии производства, уборки и послеуборочной обработки урожая. В технологической цепочке наиболее трудоемким и ответственным этапом является обмолот, поскольку здесь осуществляются наиболее экстремальные силовые воздействия, приводящие к повреждению целостности зерна и нарушению его биологической структуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Для минимизации повреждений зерна сортовой и гибридной кукурузы предложили определенную последовательность операций технологического процесса обмолота (рис. 1).

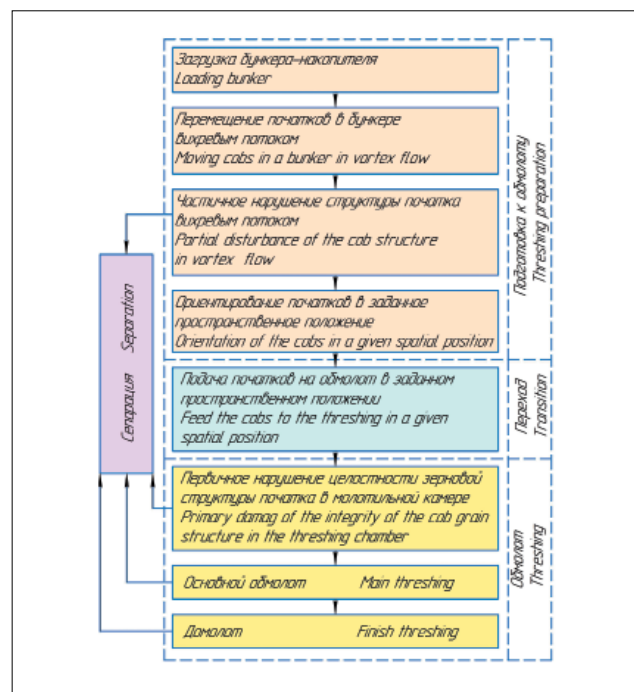


Рис. 1. Последовательность операций в технологическом процессе обмолота початков сортовой и гибридной кукурузы
Fig. 1. Sequence of operations in the implementation of threshing cobs of varietal and hybrid corn technological process

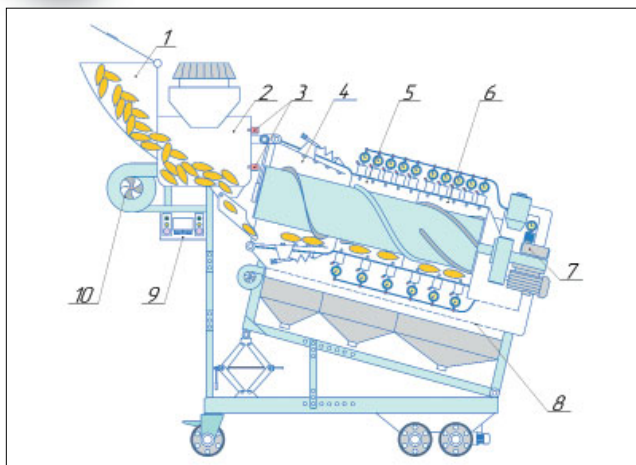


Рис. 2. Молотильно-сепарирующее устройство, обеспечивающее минимизацию макро- и микроповреждений зерна кукурузы при обмолоте: 1 – бункер-накопитель; 2 – вихревой ориентирующий дозатор; 3 – датчики уровня; 4 – камера первичного нарушения целостности зерновой структуры початков; 5 – камера обмолота; 6 – камера домолота; 7 – компрессор; 8 – решето; 9 – пульт управления; 10 – вентилятор

Fig. 2. Threshing and separating device providing minimization of macro-and micro-damages of corn grain during threshing: 1 – bunker; 2 – vortex orienting dispenser; 3 – level sensors; 4 – chamber of the primary damage of the cob grain structure integrity; 5 – threshing chamber; 6 – the finish threshing chamber; 7 – compressor; 8 – sieve; 9 – control panel; 10 – fan

Початки загружаются в бункер-накопитель АРМСУ, откуда самотеком через окно в верхней боковой части попадают в вихревой ориентирующий дозатор (рис. 2). Он представляет собой циклон, где тангенциальная подача воздушного потока приводит к вихревому перемещению массы початков (Пат. № 171115). Трение початков друг о друга частично нарушает их зерновую структуру. Кроме того, в ходе перемещения массы по бункеру происходит ориентирование початков параллельно оси ротора посредством окон-воронки в дне вихревой трубы. Заполнение дозатора регулируется с помощью микроволновых датчиков уровня. Далее початки по лотку параллельно оси ротора

подаются в камеру первичного нарушения целостности зерновой структуры, где посредством подпружиненных секторов деки и навивки ротора начинается обмолот. Затем в камере обмолота при работе самонастраивающейся пневмоадаптивной деки зерно отделяется от стержней початков в щадящем режиме. Режимы силового воздействия в следующей камере домолота корректируются автоматически. Пневмоадаптивная дека управляется контроллером посредством компрессора и системы клапанов, сбрасывающих давление. Оператор задает условия обмолота на панели пульта управления [7].

Для обеспечения принципа поточности пропускная способность окна-воронки в приспособлении для загрузки АРМСУ должна быть выше, чем у выгрузного окна бункера-накопителя. Это возможно только в условиях движения массы, при которых через окно-воронку проходит непрерывный поток початков, обеспеченный благодаря постоянному изменению способа укладки массы в вихревой трубе. Если способ укладки массы не будет постоянно изменяться и бункер наполнился до верхнего датчика, то подается сигнал на дискретный выход частотного регулятора оборотов вентилятора, и напор увеличивается относительно номинального значения. При этом укладка массы перестроится, окно-воронка возобновит работу, уровень загрузки снизится, а вентилятор автоматически вернется в номинальный режим работы. Если уровень в бункере будет ниже минимального, то сработает нижний датчик, и вентилятор отключится.

Конструктивные параметры вихревого ориентирующего дозатора определяются максимально возможными размерами початков (табл. 1) [8-10].

Базовым размером вихревого ориентирующего дозатора считается ширина прямоугольного окна-воронки H , которую можно определить по выражению К.В. Алферова:

$$H = \frac{1+m}{2m} \cdot k \cdot (B+80) \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где $m = A/B$ – отношение максимальной длины початка A , к его максимальному диаметру B ;

Таблица 1

Table 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ CHARACTERISTICS OF CORN COBS						
Сорт/гибрид Variety / hybrid	Тип зерна Grain type	Длина початка, см The cob length, cm	Количество рядов зерен, шт. The rows number of grains, pcs	Диаметр початка / The cob diameters		
				минимальный, мм min, mm	максимальный, мм max, mm	средний, мм average, mm
НС-4015	зубовидное dent corn	30-35	до 16	39	63	51,0
НС-101	кремнистое flint corn	до 25	12-14	31	56	43,5
Венилия Veniliya	сахарное sweet corn	18-20	16-18	30	52	41,0
Гостинец Gostinets	лопающееся pop corn	20-22	18-20	30	50	40,0



Таблица 2		Table 2			
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ					
THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE ANGLE OF REPOSE OF CORN COBS					
Тип зерна в початке Grain type on the cob	Средняя высота насыпного конуса h , м Bulk cones average height h , mm	Диаметр основания насыпного конуса, м The cone base bulk diameter D , mm	Относительная погрешность опытов, % Relative experimental error, %	Коэффициент внутреннего трения, f Coefficient of internal friction, f	Угол естественного откоса φ , град. Angle of repose φ , grad.
Зубовидное Dent corn	0,172	0,870	3,93	0,604	31,1
Кремнистое Flint corn	0,179	0,860	4,12	0,639	32,6

k – опытный коэффициент, $k = 2,4-2,6$;
 φ – угол естественного откоса, град. (табл. 2).
 Угол естественного откоса φ равен [1, 11, 12]:

$$\varphi = \arctg f, \tag{2}$$

где f – коэффициент внутреннего трения:

$$f = \frac{2 \cdot h}{(D-d)}, \tag{3}$$

h – высота насыпного конуса, м;
 D – диаметр основания насыпного конуса, м;
 d – диаметр отверстия воронки, м.

Для определения угла естественного откоса початков кукурузы разработали методику и экспериментальную установку, состоящую из платформы, конусного бункера объемом 0,05 м³, у которого диаметр отверстия воронки составляет 0,3 м, подъемного механизма, а также штангенрейсмаса с уровнем (рис. 3).

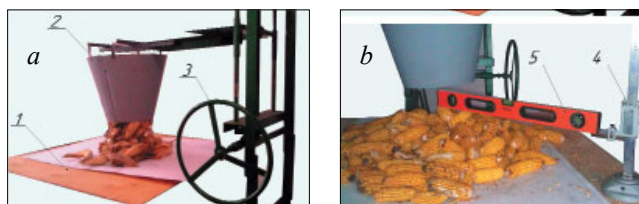


Рис. 3. Экспериментальная установка для определения угла естественного откоса початков кукурузы: а – формирование насыпного конуса; б – измерение высоты насыпного конуса; 1 – платформа; 2 – конусный бункер; 3 – подъемник; 4 – штангенрейсмас; 5 – штангенрейсмас с уровнем

Fig. 3. Experimental equipment for determining the angle of corn cobs repose: a – formation of the bulk cone; b – measurement of the bulk cone height; 1 – platform; 2 – cone bunker; 3 – lift; 4 – stangenreysmas; 5 – stangenreysmas with level

Методика определения угла естественного откоса следующая. Бункер устанавливают на платформу, на которой нанесены 12 шкал, выходящих из общей точки отсчета, с шагом 30°. Шкалы позволяют установить бункер так, чтобы проекция его оси симметрии совпадала с точкой отсчета на платформе. Далее бункер заполняют початками, после чего механизм подъема поднимает его вверх. Початки высыплются на платформу и образуют насыпной конус. Его

высоту измеряют при помощи уровня, установленного на штангенрейсмасе, а диаметр основания определяют по шкалам на платформе. Далее по выражениям (2) и (3) рассчитывают угол естественного откоса (табл. 2).

Длину окна-воронки можно определить из выражения, предложенного В.А. Олевским для расчетов отверстий при истечении кусковых материалов:

$$L = 6 B. \tag{4}$$

Длину и ширину окна-воронки целесообразно определять для початков зубовидной кукурузы, поскольку они обладают максимальными размерами. На основании выражений (1) и (4) с учетом полученных экспериментальных данных искомая длина окна-воронки составит 0,378 м, а ширина – 0,122 м. При таких параметрах истечение початков из вихревой трубы будет непрерывным. Исходя из размеров окна-воронки конструктивный диаметр вихревой трубы составит 1,65L, или 0,625 м (рис. 4).

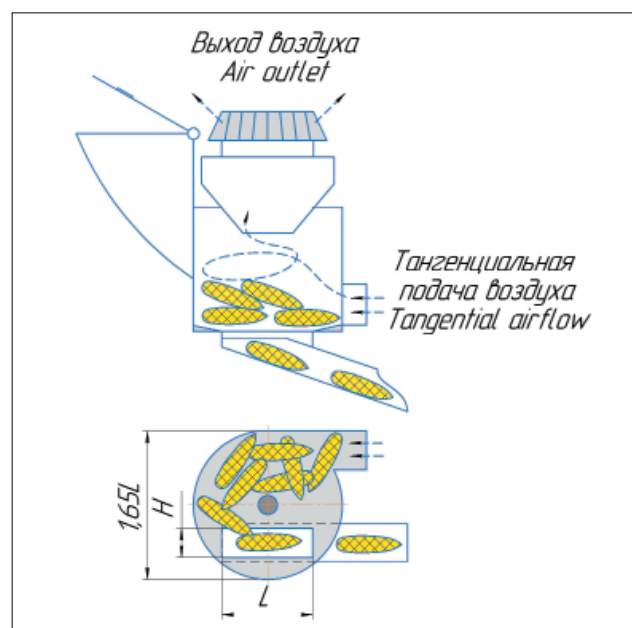


Рис. 4. Схема вихревого ориентирующего дозатора: а – вид сбоку; б – вид сверху

Fig. 4. Scheme of the vortex orienting batcher: a – side view; b – top view

Выводы

1. Чтобы повысить эффективность технологического процесса обмолота початков гибридной и сортовой кукурузы, необходимо обеспечить подачу початков в АРМСУ в строго сориентированном пространственном положении, с частично нарушенной зерновой структурой, что возможно посредством применения вихревого ориентирующего дозатора.

2. Эффективная работа вихревого ориентирующего дозатора достигается при условии рациональных размеров окна-воронки посредством автоматически регулируемой скорости движения початков под дей-

ствием воздушного потока, обеспечивающей непрерывное изменение способа укладки массы в вихревой трубе.

3. Непрерывное ориентирование в пространстве, частичное нарушение зерновой структуры и заданная подача початков на обмолот достигаются при длине и ширине окна-воронки в дне вихревого ориентирующего дозатора 0,378 и 0,122 м соответственно. При этом диаметр вихревой трубы должен быть не менее 0,624 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г. Бионические основы конструирования молотильно-сепарирующих систем для початков кукурузы: монография. п. Майский: Белгородский ГАУ. 2018. 168 с.
2. Алдошин Н.В., Бердышев В.Е., Малла Бахаа. Обоснование режимов работы аксиально-роторных зерноуборочных комбайнов на уборке смешанных посевов // *Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*. 2019. Вып. 3(91). С. 17-22.
3. Bakharev D., Pastukhov A., Volvak S., Sharaya O. The substantiation of deck parameters of the rotary threshing device. Proceedings of International Conference «Engineering for Rural Development». May 22-24, 2019. Jelgava. Latvia. 481-486.
4. Mašek J., Novak P., Jasinskas A. Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of International Conference «Engineering for Rural Development». May 24-26, 2017. Jelgava. Latvia. 1180-1185.
5. Сафонова В.А. (ред.) Специальные вопросы возобновляемой энергетики: монография. Севастополь: Институт природно-технических систем РАН, 2017. 338 с.
6. Курасов В.С., Куцеев В.В., Самурганов Е.Е. Механизация работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы: монография. Краснодар: КубГАУ. 2013. 151 с.
7. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Черников Р.В. Пневматическая система дифференцированного обмолота кукурузы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N4. С. 42-47.
8. Петунина И.А. Очистка и обмолот початков кукурузы. Монография. Краснодар: КубГАУ. 2007. 525 с.
9. Капустин С.И., Ковтун Н.В., Капустин А.С., Бахарев Д.Н. Сортовая технология кукурузы: монография. Луганск: ЛНАУ. 2013. 196 с.
10. Давыдова С.А., Вахания В.И., Курасов В.С. Анализ состояния и перспективные направления развития селекции и семеноводства кукурузы: науч. анализ. обзор. М.: Росинформагротех. 2019. 92 с.
11. Старовойтов С.И., Старовойтова Н.П., Чекин Г.В., Чемисов Н.Н. Углы внешнего и внутреннего трения суглинистой почвы // *Труды ГОСНИТИ*. 2013. Т. 113. С. 68-74.
12. Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N2. С. 4-8.

REFERENCES

1. Bakharev D.N., Vol'vak S.F., Pastukhov A.G. Bionicheskie osnovy konstruirovaniya molotil'no-separiruyushchikh sistem dlya pochatkov kukuruzy: monografiya. [Bionic fundamentals of designing corn cobs threshing and separating systems: monograph]. p. Mayskiy: Belgorodskiy GAU. 2018. 168 (In Russian).
2. Aldoshin N.V., Berdyshev V.E., Malla Bakhaa. Obosnovanie rezhimov raboty aksial'no-rotornykh zernouborochnykh kombaynov na uborke smeshannykh posevov [Operating modes justification of axial-rotary combine harvesters for harvesting mixed crops]. *Vestnik federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina»*. 2019. Vol. 3(91). 17-22 (In Russian).
3. Bakharev D., Pastukhov A., Volvak S., Sharaya O. The substantiation of deck parameters of the rotary threshing device. Proceedings of International Conference «Engineering for Rural Development». May 22-24, 2019. Jelgava: Latvia. 481-486 (In English).
4. Mašek J., Novak P., Jasinskas A. Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of International Conference «Engineering for Rural Development». May 24-26, 2017. Jelgava: Latvia. 1180-1185 (In English).
5. Safonova V.A. (red.) Spetsial'nye voprosy vobnovlyayemoy energetiki: monografiya. [Special Issues in Renewable Energy: Monograph]. Sevastopol': Institut prirodno-tekhnicheskii-



kh sistem RAN, 2017. 338 (In Russian).

6. Kurasov V.S., Kutseev V.V., Samurganov E.E. Mekhanizatsiya rabot v selektsii, sortoispytanii i pervichnom semenovodstve kukuruzy: monografiya. [Mechanization of work in breeding, variety testing and primary maize seed production: monograph]. Krasnodar: KubGAU. 2013. 151 (In Russian).

7. Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Vol'vak S.F., Chernikov R.V. Pnevmaticheskaya sistema differentsirovannogo obmolota kukuruzy [Pneumatic system of corn differentiated threshing]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 42-47 (In Russian).

8. Petunina I.A. Ochistka i obmoloт pochatkov kukuruzy. Monografiya. [Cleaning and threshing of corn cobs. Monograph]. Krasnodar: KubGAU. 2007. 525 (In Russian).

9. Kapustin S.I., Kovtun N.V., Kapustin A.S., Bakharev D.N. Sortovaya tekhnologiya kukuruzy: monografiya. [Varietal corn technology: a monograph]. Lugansk: LNAU. 2013. 196 (In Russian).

sian).

10. Davydova S.A., Vakhaniya V.I., Kurasov V.S. Analiz sostoyaniya i perspektivnye napravleniya razvitiya selektsii i semenovodstva kukuruzy: nauch. analit. obzor. [Analysis of the state and promising directions of selection and seed production of corn development: scientific analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2019. 92 (In Russian).

11. Starovoytov S.I., Starovoytova N.P., Chekin G.V., Chemisov N.N. Ugly vneshnego i vnutrennego treniya suglinistoy pochvy [Angles of external and internal friction of loamy soil]. *Trudy GOSNITI*. 2013. Vol. 113. 68-74 (In Russian).

12. Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yanov V.S. Metodika analiza tekhnicheskogo urovnya zernoborochnykh kombaynov po funktsional'nym i konstruktivnym parametram [Methods of analysis of the technical level of combine harvesters on functional and structural parameters]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N2. 4-8 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 08.11.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 08.11.2019

Статья принята к публикации 13.01.2020
The paper was accepted
for publication on 13.01.2020