

Распределение воздушного потока в высевальном аппарате избыточного давления

Антон Юрьевич Попов,

кандидат технических наук, доцент кафедры,

e-mail: popov_a_ju@mail.ru

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Реферат. Для повышения качества работы пневматического высевального аппарата необходимо исследовать его аэродинамику. *(Цель исследования)* Определить распределение потока воздуха в верхней части семенной камеры высевального аппарата с учетом выступов высевального диска, от чего зависит качество дозирования семян. *(Материалы и методы)* В качестве объекта исследования выбрали высевальный аппарат, работающий на избыточном давлении. Показали, что постоянная герметизация семенной камеры в нем обеспечивается выступами высевального диска, которые выполнены со срезанными кромками со стороны дозирующего элемента высевального диска в двух плоскостях. Применили компьютерное имитационное моделирование высевального аппарата. Для проведения численного эксперимента определили начальные и граничные условия, учли вращение высевального диска. Расчет модели осуществляли при изменении объемного расхода воздуха в диапазоне 15-35 литров в секунду. *(Результаты и обсуждение)* Построили изолинии распределения скоростей воздушного потока при различном расходе воздуха. Определили значения скоростей воздушного потока по направлениям X , Y и Z в семенной камере высевального аппарата. Выявили, что наибольшее и наименьшее значения этого показателя достигается при 35 и 25 литрах в секунду соответственно. Показали, что при расходе воздуха в диапазоне 15-25 литров в секунду распределение воздушного потока в верхней части семенной камеры будет оптимальным для транспортирования семян дозирующим элементом. При этом составляющие скорости потока воздуха в направлении Z , изменяются в диапазоне от 5,4 до 16,5 метров в секунду, а в направлениях X и Y не превышают 8 метров в секунду. *(Выводы)* На основе имитационного моделирования построили и проанализировали графики изменения составляющих скорости воздушного потока в трех направлениях распространения воздушного потока. Определили характер распределения потока воздуха на участке сброса лишних семян при конструктивном исполнении выступов со срезанными углами. Предложили рациональный диапазон объемного расхода воздуха, составляющий 15-25 литров в секунду.

Ключевые слова: пневматический высевальный аппарат, аэродинамика дозирующих систем, скорость воздушного потока, выступ высевального диска, семенная камера, компьютерное имитационное моделирование, распределение воздушного потока.

■ Для цитирования: Попов А.Ю. Распределение воздушного потока в высевальном аппарате избыточного давления // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №1. С. 40-45. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-40-45.

The Air Flow Distribution in the Overpressure Sowing Apparatus

Anton Yu. Popov,

Ph.D.(Eng), Associate professor,

e-mail: popov_a_ju@mail.ru

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. To improve the quality of the pneumatic sowing apparatus, it is necessary to study its aerodynamics. *(Research purpose)* Determination of air flow distribution in the upper part of the seed chamber of the sowing apparatus, taking into account the protrusions of the sowing disk, on which the quality of seeds dosing depends. *(Materials and methods)* The author chose a sowing apparatus operating at overpressure as an object of research. The author showed that the seed chamber constant sealing in it is provided by the protrusions of the sowing disk, which are made with cut edges on the side of the sowing disk metering element in two planes. The author applied computer simulation of the sowing apparatus. To conduct a numerical experiment, the initial and boundary conditions were determined, and the rotation of the seed disk was taken into account. The calculation of the



model was carried out by changing the volumetric air flow in the range of 15-35 liters per second. (*Results and discussion*) The author constructed isolines of the air velocity distribution at various air flow rates. He determined the values of the air flow in the directions X, Y and Z in the sowing apparatus seed chamber. It was revealed that the largest and the smallest values of this indicator are achieved at 35 and 25 liters per second respectively. It was shown that at an air flow rate in the range of 15-25 liters per second, the distribution of the air flow in the upper part of the seed chamber would be optimal for transporting the seeds with a metering element. The air flow velocity components in Z direction vary in the range from 5.4 to 16.5 meters per second, and in the X and Y directions do not exceed 8 meters per second. (*Conclusions*) Based on simulation modeling, the author constructed and analyzed graphs of air flow velocity components changes in the three directions of air flow propagation. He determined the nature of the distribution of air flow in the excess seeds discharge area in the design of protrusions with cut corners. He proposed a rational range of air volumetric flow rate of 15-25 liters per second.

Keywords: pneumatic sowing apparatus, aerodynamics of dosing systems, air flow velocity, seed plate protrusion, seed chamber, computer simulation, air flow distribution.

For citation: Popov A.Yu. Raspredelenie vozdušnogo potoka v vysevyayushchem apparate izbytochnogo davleniya [The air flow distribution in the overpressure sowing apparatus]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. T. 14. N1. 40-45 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-40-45.

Для посева пропашных культур широко применяют сеялки с пневматическими высевальными аппаратами. На качество дозирования семян пневматическими аппаратами влияют многие факторы [1, 2]. При этом существенную роль играют аэродинамические параметры. Так, от величины вакуума или давления зависят захват и удержание семян дозирующим элементом высевающего диска, а сброс лишних семян может осуществляться воздушным потоком пневматического сбрасывателя [2, 3].

Одно из перспективных и малоизученных направлений исследования пневматических высевальных аппаратов – определение характера распределения воздушных потоков внутри высевающего аппарата, в частности с принудительной герметизацией семенной камеры. Воздушный поток, циркулирующий внутри камеры аппарата, оказывает основополагающее влияние на захват, транспортирование семени ячейкой дозирующего элемента высевающего диска и в особенности на сбрасывание «лишних» семян в верхней части семенной камеры.

Однако в большинстве научных исследований аэродинамические показатели находятся в косвенной взаимосвязи с технологическими параметрами дозирующей системы и сводятся к теоретическому анализу дозирования с последующей разработкой математических моделей [2-4].

Важно изучить аэродинамические процессы в пневматическом высевальном аппарате и определить влияние его конструктивных элементов на показатели качества дозирования.

Цель исследования – определить распределение потока воздуха в верхней части семенной камеры высевающего аппарата с учетом выступов высевающего диска, от чего зависит качество дозирования семян.

Материалы и методы. Объектом исследования стал высевальной аппарат, работающий на избыточ-

ном давлении (Пат. № 185950). По сравнению с вакуумными системами дозирования данный тип аппаратов обеспечивает высокие показатели дозирования семян на больших скоростях посева [5]. Высевальной аппарат включает корпус (рис. 1а). Внутри корпуса консольно размещен вал с вертикальным высевающим диском. На диске между отверстиями дозирующих элементов находятся выступы, которые выполняются со срезанными кромками в двух плоскостях высевающего диска – фронтальной и поперечно-горизонтальной (рис. 1б). Длина плоской радиальной стенки выступа меньше диаметра семени.

Семенная камера сообщается с бункером посредством горловины. Для свободного перемещения выступов в корпусе аппарата дополнительно изготавливают транспортный и входной каналы. Избыточное давление внутри семенной камеры обеспечено соплом. Воздушный поток в нем служит также для сброса лишних семян. Для герметизации корпус с высевающим диском закрывают крышкой с прокладкой.

Лишние семена, расположенные у отверстия высевающего диска, сдуваются потоком воздуха, который создается соплом избыточного давления. Значение скорости воздушного потока, протекающего вдоль плоскости высевающего диска, должно превышать скорость витания семени. Из гидрогазодинамики известно, что на характер распределения воздушного потока оказывает влияние форма находящегося в нем физического тела. Следовательно, можно предположить, что выступы также оказывают влияние на распределение воздушного потока [6-8]. Из-за сложности аэродинамических процессов, протекающих в замкнутом пространстве, распределение потока воздуха носит неоднозначный характер и сильно зависит от конструктивных особенностей семенной камеры и режимов работы, таких как расход воздуха, поступающего в семенную камеру, частота вращения

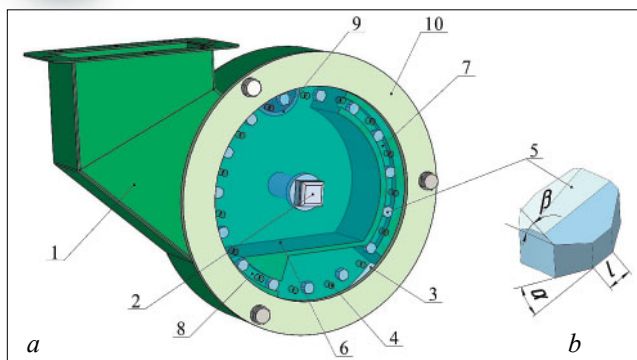


Рис. 1. Общий вид высевящего аппарата избыточного давления (а) и выступа (b):

1 – корпус; 2 – вал; 3 – высевящий диск; 4 – отверстие дозирующего элемента; 5 – выступ; 6 – семенная камера; 7 – транспортный канал; 8 – входной канал; 9 – сопло; 10 – крышка; α и β – углы между смежными стенками выступа во фронтальной и поперечно-горизонтальной плоскостях высевящего диска соответственно; l – длина плоской радиальной стенки выступа

Fig. 1. General view of the overpressure sowing apparatus (a) and the ledge (b): 1 – body; 2 – shaft; 3 – sowing disk; 4 – aperture of the dosing element; 5 – ledge; 6 – seed chamber; 7 – transport channel; 8 – input channel; 9 – nozzle; 10 – cover; α and β – the angles between the adjacent walls of the ledge in the frontal and transverse-horizontal planes of the sowing disc, respectively, l – the length of the flat radial wall of the ledges

высевяющего диска и т.д.

В качестве метода исследования применили компьютерное имитационное моделирование на базе CAD (computer aided design) модели высевящего аппарата избыточного давления. С помощью программного модуля Solidworks Flow Simulation провели моделирование и анализ распределения скоростей воздушного потока в верхней части семенной камеры при различных значениях расхода воздуха.

Установили начальные условия: воздух выбран в качестве текучей среды, температура окружающей среды 20°C. Остальные параметры приняты по умолчанию [9].

Определили граничные условия: воздушный поток входит через сопло сбрасывателя лишних семян, а выходит через отверстия дозирующих элементов; объемный расход воздуха на входе в сопло – 15, 25 и 35 л/с. Принятые значения изменения объемного расхода воздуха были выбраны исходя из предшествующих эмпирических исследований и определяются в соответствии с размером семян пропашной культуры и нормой ее высева [4]. Статическое давление на поверхности высевяющего диска со стороны семенной камеры и объемный расход воздуха на выходе через отверстия дозирующих элементов приняты в качестве критериев сходимости расчета модели. Давление окружающей среды составляет 101325 Па.

Для учета в имитационной модели равномерного

вращения вала с установленным на него вертикальным высевяющим диском с помощью инструментария программной среды Solidworks Flow Simulation они были назначены вращающейся областью [9-12]. Частота вращения высевяющего диска составила 50 об/мин, что соответствует средним нормам высева семян большинства пропашных культур [4].

Результаты и обсуждение. На основании расчета построили изолинии распределения скоростей воздушного потока во фронтальной проекции высевяющего диска со смещением на 3 мм от плоскости диска при различных расходах воздуха (рис. 2).

Данное расстояние смещения плоскости было вы-

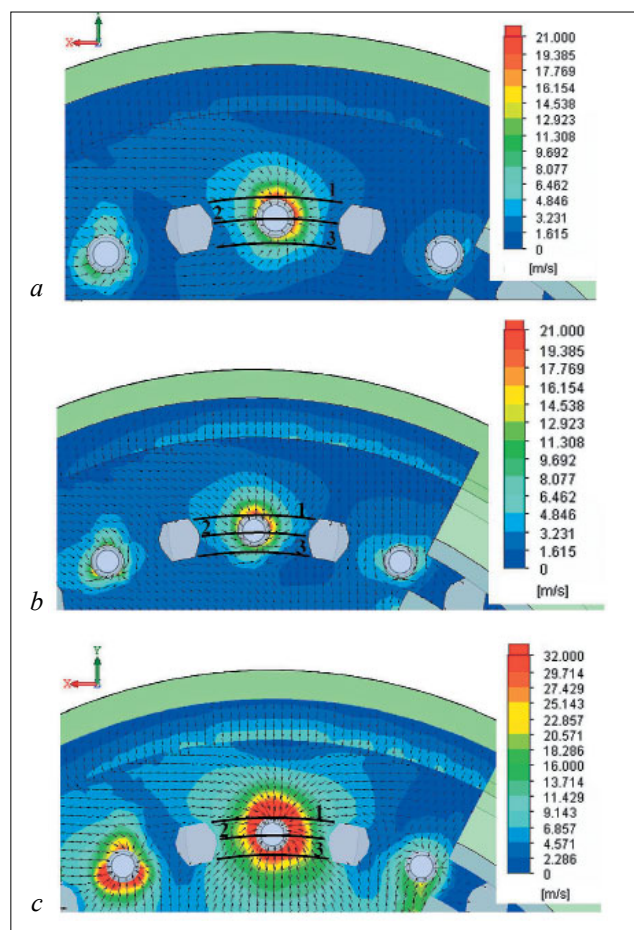


Рис. 2. Изменение величины и направления скорости воздушного потока в верхней части семенной камеры между выступами при расходе воздуха: а – 15 л/с; б – 25 л/с; в – 35 л/с

1 – дуга по большому радиусу цилиндрической поверхности стенок выступов; 2 – дуга по окружности центров дозирующих элементов; 3 – дуга по меньшему радиусу цилиндрической поверхности стенок выступов

Fig. 2. Change in the value and direction of the air flow velocity in the upper part of the seed chamber between the ledges with air flow a – 15 l/s; b – 25 l/s; c – 35 l/s

1 – the arc along the greater radius of the cylindrical surface the walls of the ledges, 2 – the arc along the circumference of the dozings elements centers, 3 – the arc along the smaller radius of the cylindrical surface of the walls ledges

брано из расчета половины размера условного диаметра семени. На *рисунке* показаны также линии, которые визуализируют направление абсолютных скоростей воздуха.

В процессе транспортирования лишние семена располагаются между выступами высевающего диска у дозирующего элемента. Границы данной области (*рис. 2а*) обозначены дугами, концентричными оси вращения высевающего диска большего и меньшего радиуса цилиндрической поверхности стенок выступов. Определение значений скоростей воздушного потока в данной области по направлениям X , Y и Z пространства позволит ответить на вопрос о степени влияния выступов на сброс лишних семян. Так, для гарантированного захвата и удержания семени дозирующим элементом высевающего диска значение составляющей скорости воздуха вдоль оси отверстия по оси Z в зоне удержания основного семени должно быть больше скорости витания семян, а значения составляющих скорости воздуха по оси X и Y – меньше. При этом в зоне размещения лишних семян – по дугам наибольшего и наименьшего радиуса стенок выступов – для их сброса составляющие скорости воздушного потока по осям X и Y должны быть равны или больше скорости витания семян. Например, для семян кукурузы скорость витания семян находится в пределах 6-12 м/с.

Для анализа и оценки степени влияния выступов на сброс лишних семян построены графики изменения составляющих скорости воздушного потока V_x , V_y , V_z по дугам окружностей между выступами при значениях расхода воздуха 15, 25 и 35 л/с (*рис. 3*).

На выбранных уровнях варьирования расхода воздуха выступы высевающего диска оказывают определенное влияние на распределение скоростей воздушного потока, а значит, и на потенциальный сброс лишних семян (*рис. 2, 3*).

Наибольшее варьирование скорости воздушного потока по абсолютной величине – от 0,30 до 74,2 м/с – наблюдается при расходе воздуха 35 л/с; наименьшее – от 0,30 до 16,9 м/с – при расходе воздуха 25 л/с. Отсутствие данных на участке 0,06-0,13 м на *рисунке 2* объясняется семенем, захваченным дозирующим элементом и расположенным в зоне измерения (*рис. 3*).

При расходе воздуха 15 л/с на участке 0,06-0,13 м, где располагается захваченное семя, составляющая скорости потока воздуха V_z варьируется в диапазоне от 7,0 до 16,5 м/с (*рис. 3а*). При этом скорость воздушного потока по направлению оси X и Y не более 8 м/с. Аналогичная ситуация наблюдается при расходе воздуха 25 л/с (*рис. 3б*). Скорость воздушного потока по оси Z на удержание семени у отверстия изменяется в диапазоне 5,4-13,0 м/с, а составляющие скорости воздуха по оси X и Y не превышают 5,2 м/с. Данных значений скоростей V_x и V_y хватит для сброса лишних семян, но при этом они не повлияют на основное семя,

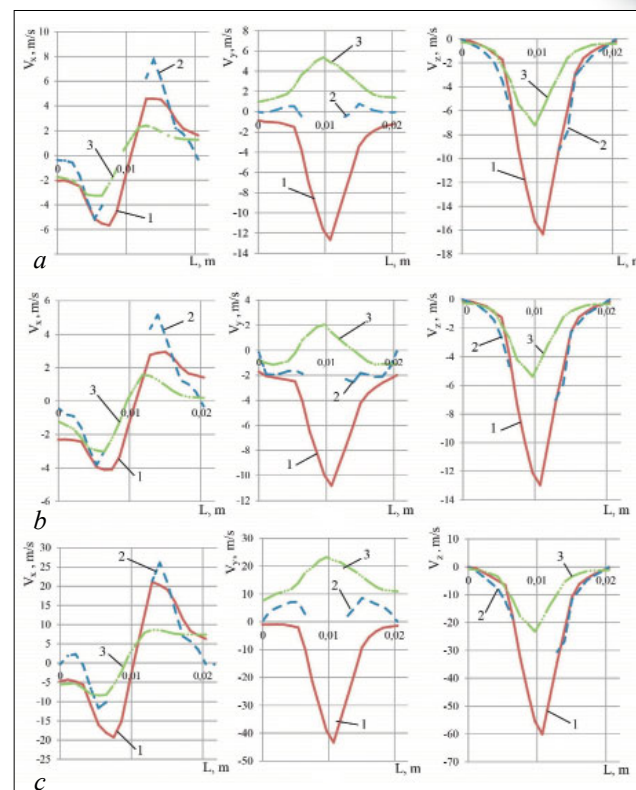


Рис. 3. Изменение составляющих скорости воздушного потока V_x , V_y , V_z в верхней части семенной камеры по дугам между выступами при величине расхода воздуха: а – 15 л/с; б – 25 л/с; с – 35 л/с

1 – по дуге большего радиуса цилиндрической поверхности стенок выступов; 2 – по дуге, концентричной окружности центров дозирующих элементов; 3 – по дуге меньшего радиуса цилиндрической поверхности стенок выступов

Fig. 3. Change of components of air flow velocity V_x , V_y , V_z in the upper part of the seed chamber along arcs between the ledges at an air flow rate: а – 15 l/s; б – 25 l/s; с – 35 l/s

1 – graph along the arc of the greater radius of the cylindrical surface of the walls ledges; 2 – graph on the arc, concentric circle of the dosing elements centers; 3 – graph along the arc of the smaller radius of the cylindrical surface of the walls ledges

так как скорость воздушного потока V_z сравнима со скоростью витания семени и достаточна для его удержания у отверстия дозирующего элемента. Поэтому при величине расхода воздуха 15-25 л/с распределение воздушного потока в верхней части семенной камеры высевающего аппарата будет благоприятным для транспортирования семян дозирующим элементом.

Иначе дело обстоит при расходе воздуха 35 л/с (*рис. 3с*). Скорость воздушного потока по направлению оси X находится в пределах 25,1 м/с, по направлению Y – 42 м/с, по оси Z достигает 60 м/с. Это значительно повышает вероятность сброса не только лишних семян, но и основного семени, удерживаемого у отверстия дозирующего элемента, и может стать причиной нулевых подач, о чем свидетельствуют пре-

дыдущие экспериментальные исследования данного высевашего аппарата [4].

Поэтому расход воздуха при данном конструктивном исполнении выступов высевашего диска со срезаемыми углами рекомендуется устанавливать в пределах 15-25 л/с.

Выводы. На базе твердотельной CAD-модели пневматического высевашего аппарата избыточного давления провели имитационное моделирование распределения скоростей воздушного потока в верхней части семенной камеры при различных значениях объемного расхода воздуха. Для проведения численного эксперимента была задействована программная среда *Solidworks Flow Simulation*, командные средства которого позволили учесть вращение высевашего диска.

Определили распределение потока воздуха в верхней части семенной камеры высевашего аппарата на участке сброса лишнего семени с учетом выступов,

выполненных со срезаемыми углами. Построили графики изменения составляющих скорости воздушного потока в трех направлениях его распространения. Выяснили, что рациональное значение расхода воздуха для данного типа высеваших аппаратов находится в пределах 15-25 л/с. При этом составляющая скорости потока воздуха V_z изменяется в диапазоне от 5,4 до 16,5 м/с, а V_x и V_y – не превышают 8 м/с. Данные значения составляющих скоростей воздушного потока оптимальны для удержания основного семени у отверстия дозирующего элемента и одновременного сброса лишнего семени.

Построенная модель аэродинамики послужит основой для проведения дальнейших исследований и модернизации высеваших аппаратов избыточного давления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубрилина Е.М., Маркво И.А., Журавлев А.С., Новиков В.И., Нерода Е.В. Метод обобщенной оценки при выборе факторов и уровней их варьирования в многофакторном исследовании высеваших аппаратов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 65-70.
2. Кем А.А., Миклашевич В.Л. Пневматический высеваший аппарат точного посева для мелкосеменных культур // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2016. №2. С. 234-238.
3. Фирсов А.С., Голубев В.В. Результаты исследования параметров и режимов работы дискового пневматического высевашего аппарата для льна // *Агротехника и энергообеспечение*. 2016. №3. С. 43-45.
4. Попов А.Ю., Терновой Д.А. Исследование влияния пневматического сбрасывателя семян на показатели качества дозирования высевашего аппарата избыточного давления // *Вестник аграрной науки Дона*. 2013. №1. С. 16-24.
5. Попов А.Ю. Элементы герметизации высевашего аппарата избыточного давления // *Тракторы и сельхозмашины*. 2014. №6. С. 32-35.
6. Пятаев М.В. Результаты теоретического исследования процесса распределения посевного материала вертикальным распределителем при работе агрегата на склонах // *АПК России*. 2017. Т. 24. №2. С. 431-436.
7. Hilton J.E., Cleary P.W. The influence of particle shape on flow modes in pneumatic conveying. *Chemical Engineering Science*. 2011. Vol. 66(3). 231-240.
8. Yatskul A., Lemiere J-P., Cointault F. Influence of the divider head functioning conditions and geometry on the seed's distribution accuracy of the air-seeder. *Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 161. 120-134.
9. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.: БХВ-Петербург. 2005. 800 с.
10. Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №3. С. 45-52.
11. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №3(32). С. 94-100.
12. Ахалай Б.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Технология комбинированного способа посева и высевашие аппараты для его осуществления // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №4(33). С. 61-65.

REFERENCES

1. Zubrilina E.M., Markvo I.A., Zhuravlev A.S., Novikov V.I., Neroda E.V. Metod obobshchennoy otsenki pri vybere faktorov i urovney ikh var'irovaniya v mnogofaktornom issledovanii vysewayushchikh apparatov [The method of generalized assessment when choosing factors and their variation levels in a multivariate study of sowing devices]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. T. 13. №4. 65-70 (In Russian).
2. Kem A.A., Miklashevich V.L. Pnevmaticheskiy vysewayuyshchiy apparat tochnogo vyseva dlya melkosemennyykh kul'tur [Pneumatic sowing apparatus for precise sowing of small seed crops]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. №2. 234-238 (In Russian).
3. Firsov A.S., Golubev V.V. Rezul'taty issledovaniya parametrov i rezhimov raboty diskovogo pnevmaticheskogo vysewayushchego apparata dlya l'na [The results of a study of parameters and operating modes of a disk pneumatic sowing apparatus



for flax]. *Agrotehnika i energoobespechenie*. 2016. N3. 43-45 (In Russian).

4. Popov A.Yu., Ternovoy D.A. Issledovanie vliyaniya pnevmaticheskogo sbrasyvatel'ya semyan na pokazateli kachestva dozirovaniya vysevyayushchego apparata izbytochnogo davleniya [Investigation of the effect of a pneumatic seed ejector on dosing quality indicators of an over-sowing meter]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2013. N1. 16-24 (In Russian).

5. Popov A.Yu. Elementy germetizatsii vysevyayushchego apparata izbytochnogo davleniya [Sealing elements for overpressure metering apparatus]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014. N6. 32-35 (In Russian).

6. Pyataev M.V. Rezul'taty teoreticheskogo issledovaniya protsessa raspredeleniya posevnogo materiala vertikal'nym raspredelitelem pri rabote agregata na sklonakh [The theoretical study results of the seed distribution process by a vertical distributor during operation of the unit on slopes]. *APK Rossii*. 2017. T. 24. N2. 431-436 (In Russian).

7. Hilton J.E., Cleary P.W. The influence of particle shape on flow modes in pneumatic conveying. *Chemical Engineering Science*. 2011. Vol. 66(3). 231-240 (In English).

8. Yatskul A., Lemiere J-P., Cointault F. Influence of the di-

vider head functioning conditions and geometry on the seed's distribution accuracy of the air-seeder. *Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 161. 120-134 (In English).

9. Alyamovskiy A.A., Sobachkin A.A., Odintsov E.V., Khartionovich A.I., Ponomarev N.B. Solid Works. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoy praktike. [Computer modeling in engineering practice]. Saint-Petersburg: BKHV-Peterburg. 2005. 800 (In Russian).

10. Nesmiyan A.Yu., Tsench Yu.S. Tendentsii i perspektivy razvitiya otechestvennoy tekhniki dlya poseva zernovykh kul'tur [Trends and prospects of development of domestic equipment for sowing grain crops]. *Sel'skhoz'yaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N3. 45-52 (In Russian).

11. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Sel'skhoz'yaystvennaya tekhnika: resheniya i perspektivy [Agricultural machinery: solutions and prospects]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 94-100 (In Russian).

12. Ahalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Kvas S.A. Tekhnologiya kombinirovannogo sposoba poseva i vysevyayushchie apparaty dlya ego osushchestvleniya [Technology of the combined method of sowing and seeding machines for its implementation]. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 61-65 (In Russian).

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 11.11.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 11.11.2019

Статья принята к публикации 15.01.2020
The paper was accepted
for publication on 15.01.2020