

ОСОБЕННОСТЬ РАБОТЫ СЕПАРАТОРА С ГИБКИМ ЦИЛИНДРОМ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ

Чурюмов В.Ю., канд. техн. наук

Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская, 13, г. Ухта, Республика Коми, 169300, Российская Федерация, e-mail: chur50@mail.ru

В целях повышения производства зерна необходимо эффективнее использовать машины для послеуборочной обработки зерна. Но у них есть недостаток – неудовлетворительная работа сепарирующих органов, не соответствующая современным требованиям. В ходе исследования сепаратора с гибким цилиндром выявили, что эффективность его работы и прохождение частиц через отверстия зависят от относительной скорости слоя зерна и длины отверстий. Установлены значения относительных скоростей слоя для цилиндров, имеющих отверстия различной длины, при которых возможно наибольшее выделение частиц. Показали, что при окружной скорости цилиндра 5,17 м в секунду для отверстий длиной 16 мм относительная скорость слоя не должна превышать 1,04 м в секунду; 56 мм – 2,07 м в секунду; 96 мм – 3,43 м в секунду. Отметим, что выделение мелких частиц отверстиями цилиндров (пропускная способность) соответствует теоретическим предпосылкам. Определили угловые координаты в зоне подачи материала, где относительные скорости слоя были высокими – 2,2-4,0 м в секунду. Пропускная способность отверстий в начале зоны была равна нулю, затем с уменьшением скорости медленно возрастала. Отверстия большей длины в этой зоне (96 мм) выделяли примерно в 2 раза больше частиц, чем короткие (16 мм). В зоне основного выделения относительная скорость слоя уменьшалась с 1,8 до 0,8 м в секунду. Пропускная способность во всех отверстиях увеличивалась. Отверстия большей длины имели, соответственно, лучшую пропускную способность. Определили, что наибольшее выделение частиц через отверстия соответствует относительной скорости слоя 0,7-0,9 м в секунду. Полнота выделения, равная 0,8 и выше, достигнута в цилиндрах с отверстиями длиной 96 мм за 2 цикла обработки, а при длине 16 мм – за 3 цикла. Удельная производительность – 1,05 и 0,7 кг в секунду в расчете на 1 кв. м соответственно. Установили, что при работе сепаратора с гибким цилиндром и отверстиями длиной 56 мм достигнута чистота зерна 99,0-99,2 процента. При этом удельная производительность сепаратора с гибким цилиндром примерно в 2,00-2,25 раза выше, чем в варианте с плоским решетом.

Ключевые слова: сепаратор, гибкий цилиндр, сила инерции, решето, чистота зерна, полнота выделения примесей, эффективность.

■ **Для цитирования:** Чурюмов В.Ю. Особенность работы сепаратора с гибким цилиндром для разделения зерновой смеси // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. №1. С. 42-46.

FEATURE OF OPERATION OF SEPARATOR WITH FLEXIBLE CYLINDER FOR GRAIN UNMIXING

V.Yu. Churyumov, Cand. Sci. (Eng.)

Ukhta state technical university, Pervomayskaya St., 13, Ukhta, Komi Republic, 169300, Russian Federation, e-mail: chur50@mail.ru

For increase in grain production it is necessary to use effectively machines for postharvest grain handling. But their shortcoming is the unsatisfactory work of the separating tools which is not conforming to modern requirements. The research of separator with the flexible cylinder revealed that its efficiency and particles passing through throughs depend on the relative speed of a grain layer and mesh lengths. Values of relative speeds of a layer for the cylinders having throughs of various length in case of which the greatest separation of particles is possible are established. At a cylinder circumferential speed of 5.17 m per second for throughs 16 mm long the relative speed of a layer should not exceed 1.04 m per second; of 56 mm – 2.07 m per second; of 96 mm – 3.43 m per second. Fine particles separation through cylinders throughs (processing capacity) corresponds to theoretical prerequisites. The author determined angular coordinates in a material feed zone where relative speeds of a layer were high – 2.2-4.0 m per second. Processing capacity of throughs at the beginning of a zone was equal to zero, then with reduction of speed slowly increased. Throughs of bigger length in this zone (96 mm) separated approximately twice more particles, than short one(16 mm). In a zone of the main separation the relative speed of

a layer decreased from 1.8 to 0.8 m per second. Processing capacity in all meshes increased. throughs of bigger length had, respectively, the best processing capacity. The greatest allocation of particles through throughs corresponds to the relative speed of a layer of 0.7-0.9 m per second. The completeness of separation equal 0.8 and above, is reached in cylinders with throughs 96 mm long for 2 operation cycles, and with a length of 16 mm – for 3 cycles. Specific throughput was equal 1.05 and 0.7 kg per second per 1 sq. m respectively. Due to operation of a separator with the flexible cylinder and throughs of 56 mm long grain separation grade reached 99.0-99.2 percent. At the same time specific throughput of a separator with the flexible cylinder is about 2.00-2.25 times higher, than in option with a flat screen.

Keywords: Separator; Flexible cylinder; Inertia force; Screen; Grain separation grade; Processing capacity.

For citation: Churyumov V.Yu. Feature of operation of separator with flexible cylinder for grain unmixing. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2017; 1: 42-46. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-1-42-46. (In Russian)

В свете импортозамещения поставлена важная государственная задача – обеспечение страны сельскохозяйственной продукцией отечественного производства, прежде всего зерном. Это требует эффективной работы машин, предназначенных для его послеуборочной обработки [1-5].

К недостаткам таких машин относится неудовлетворительная работа сепарирующих органов. Необходимо повысить эффективность процесса сепарирования. Например, для его интенсификации можно использовать силы инерции. Однако инерционные сепараторы также имеют недостатки, поскольку силы инерции могут быть и ограничивающими факторами.

При кинематическом режиме работы сепаратора частицы под действием сил инерции прижимаются к внутренней поверхности тела вращения, приобретая скорость, равную скорости этой поверхности, прекращают свое относительное движение и останавливают процесс сепарирования. Кроме того, действие сил инерции способствует забиванию отверстий частицами большего диаметра. Различные методы очистки отверстий пока неэффективны [6-8].

Устранить указанные недостатки можно путем изменения геометрии поверхности вращающегося тела. Так, перемена знака радиуса кривизны на отдельном участке изменяет направление действия силы инерции на этом участке в обратную сторону. Это предполагает использование не только выпуклых поверхностей, но и хотя бы одного участка с обратной кривизной, созданного нажимным валом. Поверхность должна быть гибкой, выполнена в форме тела вращения и вложена в решетчатый барабан [9-13].

Цель исследования – определение влияния относительной скорости сепарируемого слоя на процесс выделения отверстиями гибкого цилиндра мелкой фракции зерновой смеси, а также длины отверстий, при которой достигается эффективная работа сепаратора.

Материалы и методы. Исследования проводили на экспериментальной установке сепаратора зерна с гибким цилиндром (рис. 1). Исходным мате-

риалом служила озимая пшеница Харьковская-29 влажностью 15-16%; содержание мелких частиц, прошедших через лабораторное сито размером 2 мм, составляло 2-10%. Предварительно исследовали элементы гибких цилиндрических решет ди-

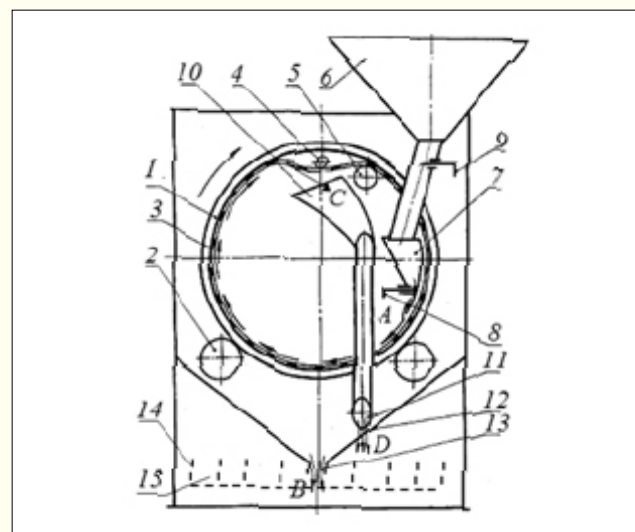


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
 1 – решетчатый барабан; 2 – опорные катки; 3 – гибкий цилиндр; 4 – нажимной валик; 5 – поддерживающий ролик; 6 – бункер; 7 – загрузочное устройство; 8 – заслонка подачи материала; 9 – шибер; 10 – приемный желоб; 12 – скатная доска; 11 и 13 – отверстия для вывода крупной и мелкой фракций; 14 – поддон; 15 – ячейки

Fig. 1. Scheme of experimental plant:
 1 – cylindrical screen; 2 – basic rollers; 3 – flexible cylinder; 4 – press roller; 5 – the supporting roller; 6 – bunker; 7 – loading device; 8 – material feed gate; 9 – shifter; 10 – receiving trough; 12 – slide board; 11 and 13 – troughs for extraction of coarse and fine fractions; 14 – bottom plate; 15 – meshes

аметром 600 мм, шириной 100 мм, изготовленные из винипласта (коэффициенты трения по зерну: в покое $f_{п}=0,35$; в движении $f_{д}=0,31$) и вложенные в решетчатый барабан.

Элементы решет имели отверстия прямоугольной формы размерами: 2×16 (по ГОСТ 214-77); 2×56; 2×96 мм, примерно одинакового живого сечения:

0,40; 0,39; 0,36 соответственно. Отверстия располагались длинной стороной вдоль направляющих цилиндров.

При открытом шибере зерновая смесь из бункера поступала в загрузочное устройство. Регулируемой заслонкой устанавливали ее подачу в гибкий цилиндр. Зерновую смесь по стрелке *A* поступала на поверхность вращающегося цилиндра, перемещаясь в направлении вращения. Для сбора фракций, прошедших сквозь отверстия цилиндра, были демонтированы скатные доски и установлен поддон с ячейками, в которые по карманам (на рисунке карманов нет, а поддон с ячейками показан пунктирными линиями) поступали частицы мелкой фракции. Крупная фракция на участке обратной кривизны цилиндра по стрелке *C* через приемный желоб перемещалась по стрелке *D*. В зоне выделения мелких частиц по наружной поверхности цилиндра были размещены карманы с отражательными щитками (рис. 2), с промежутком $\pi/6$ радиан (30°).

По ним прошедшие через отверстия цилиндра мелкие частицы смеси направлялись в ячейки поддона. Окружную скорость гибкого цилиндра измеряли тахометром ГЧ-10, а скорость слоя сепарируемых частиц – измерительным валиком, специаль-

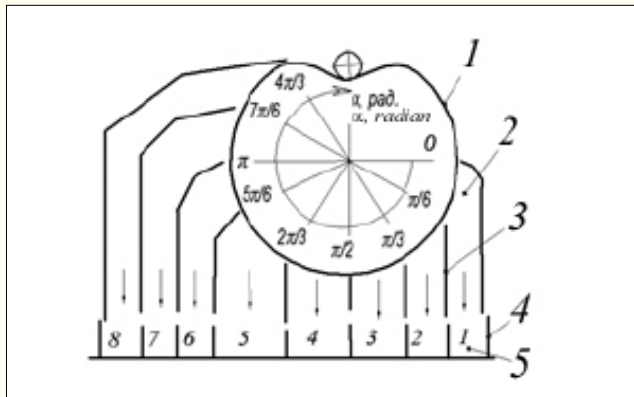


Рис. 2. Схема сбора частиц мелкой фракции смеси, выделяющихся из отверстий цилиндра:

1 – гибкий цилиндр; 2 – карманы; 3 – щитки; 4 – поддон; 5 – ячейки

Fig. 2. Scheme of collection of small fraction particles of mix separated out from cylinder throughs:

1 – flexible cylinder; 2 – feed hoppers; 3 – boards; 4 – bottom plate; 5 – meshes

но изготовленным к тахометру.

Относительную скорость сепарируемых частиц слоя определяли как разницу скоростей цилиндра и слоя. Измеряли время проведения опыта и массу частиц, поступивших в ячейки за время опыта. По этим данным вычисляли пропускную способность отверстий (q , г/с) в зоне выделений, то есть количество выделившейся массы мелкой фракции в единицу времени. Окружная скорость гибкого цилиндра

за время проведения опытов составляла $V_{\text{ц}} = 5,17$ м/с, а подача зерновой смеси (в секунду на один квадратный метр площади F) была $q_F = 2,1$ кг/(с·м²). Эти режимы соответствовали эффективной работе. Повторность опытов – трехкратная. Результаты обрабатывали по общепринятым методикам.

Результаты и обсуждение. Графики зависимости скорости $v=f(\alpha)$ и пропускной способности $q=f(\alpha)$ от угловой координаты α представлены на рисунке 3. Из графиков 4, 5 и 6 видно, что в зоне подачи ($0-\pi/6$) пропускные способности отверстий исследуемых цилиндров вначале равнялись нулю, затем с уменьшением относительной скорости слоя с 4,0 до 2,2 м/с медленно возрастали. Прохождение частиц через отверстия малой длины маловероятно ввиду того, что существует предельная относительная скорость [5]. Отверстия большей длины ($l=96$ мм) в зоне подачи выделяют примерно в 2 раза больше, чем отверстия малой длины ($l=16$ мм), соответственно, $q=3,78$ и 1,78 г/с. В зонах выделения мелких частиц цилиндрами с угловыми координатами ($\pi/6$)-($5\pi/6$) относительная скорость слоя частиц уменьшается с 1,8 до 0,8 м/с, пропускная способность всех отверстий увеличивается, отверстия большей длины имеют, соответственно, лучшую пропускную способность. Наибольшее количество частиц проходит сквозь отверстия цилиндра при относительной скорости слоя 0,9-0,7 м/с.

Уменьшение относительной скорости слоя до 0,5 м/с и ниже ослабляет действие кориолисовых сил инерции и давления на частицы, находящиеся в отверстиях, что замедляет скорость их прохождения и пропускную способность отверстий [5-13]. Минимальная длина отверстия l решета, через которое частицы проходят без задевания кромок, зависит от скоростей цилиндра $V_{\text{ц}}$ и частицы V_r :

$$l \geq \frac{V_{\text{ц}} \cdot R(R_1 \cdot \sin \psi_r + b)}{V_r} - R \cdot \psi_r, \quad (1)$$

где R , R_1 – внутренний и наружный радиусы цилиндра, соответственно равные 300 и 301 мм;

ψ_r – угол, соответствующий полету частицы, находящейся в отверстии при ее прохождении, $\psi_r = \arccos(R_1 - h_s)/R_1$, $h_s = (R_1 - R) + \rho$ – высота хорды, ρ – полутолщина частицы, равная 2 мм;

b – полудлина частицы, равная 4 мм;

$V_{\text{ц}} = 5,17$ м/с.

Преобразовав формулу (1) с учетом того, что относительная скорость равна разности скоростей цилиндра $V_{\text{ц}}$ и слоя $V_{\text{с}}$, то есть $V_{\text{о}} = V_{\text{ц}} - V_{\text{с}}$, находим предельную относительную скорость слоя $V_{\text{о}}$, при которой частицы проходят отверстия цилиндра, не задевая кромок:

$$V_{\text{с}} \leq V_{\text{ц}} - \frac{V_{\text{о}}(R_1 \cdot \sin \psi_r + b)}{l + R \cdot \psi_r}. \quad (2)$$



С учетом указанных выше параметров при длине отверстия 16 мм относительная предельная скорость слоя составляет $V_o \leq 1,04$ м/с;

при 56 мм – $V_o \leq 2,73$ м/с;

при 96 мм – $V_o \leq 3,43$ м/с.

Относительная скорость слоя для различных длин отверстий представлена графиками 3-6.

Испытания конструкции сепаратора зерна с гибким цилиндром проводили на стенде ГСКБ ПО «Воронежзерномаш». Гибкие цилиндры диаметром 600 мм и длиной 1000 мм изготовлены из винилпласта и АБС-пластика с отверстиями размеров: 2×16; 2×56 и 2×96 мм. Принципиальная схема рабо-

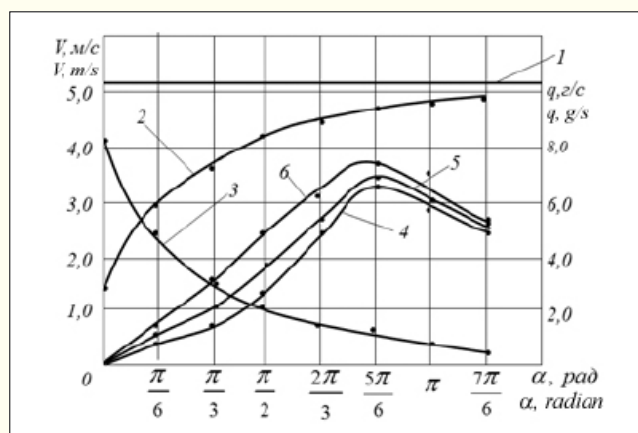


Рис. 3. Зависимость скорости и пропускной способности от угловой координаты α :

1 – окружная скорость цилиндра $V_{ц}$; 2 – скорость слоя V_c ; 3 – относительная скорость слоя V_o ; 4 – отверстия 2×16 мм; 5 – отверстия 2×56 мм; 6 – отверстия 2×96 мм

Fig. 3. Dependence of speed and throughput on angular coordinate α : 1 – district speed of the cylinder $V_{ц}$; 2 – layer speed V_c ; 3 – layer relative speed V_o ; 4 – throughs 2×16 mm; 5 – throughs 2×56 mm; 6 – throughs 2×96 mm

ты сепаратора была незначительно изменена и доработана с учетом изобретений.

Так, на валу шнека в питателе цилиндрического сепаратора установлено фасонное кольцо [6-7], разделяющее корпус питателя на загрузочную и разгрузочную части, что позволило одним шнеком, находящимся в корпусе, проводить загрузку материала в сепаратор и выгрузку из него уже обработанного зерна. Перемещением кольца по валу шнека можно изменять фронт подачи и количество циклов обработки материала сепаратором от 2 до 3.

При очистке озимой пшеницы Северодонская-4 влажностью 15% содержание частиц, способных

пройти через прямоугольные отверстия лабораторного сита размером 2,0 мм, составило 2,6%, а ее засоренность трудноотделимыми примесями размером 1,7-2,0 мм была 1,5%.

При удельной производительности сепаратора $q_F=1,2$ кг/(с·м²), с учетом цикличности обработки и окружной скорости цилиндра 5 м/с и более, на цилиндре с длиной отверстий 56 мм за 3 цикла обработки достигнута чистота зерна 99,2% при полноте выделения 0,75. Испытания плоского решета на этом же материале показали, что чистота зерна, равная 99,0% при полноте выделения 0,61, достигнута при удельной производительности 0,5 кг/(с·м²). При одинаковой удельной производительности плоского решета и гибкого сепаратора полнота выделения трудноотделимых частиц толщиной более 1,2 мм на сепараторе зерна с гибким цилиндром на 15% выше, чем у плоского.

Полнота выделения 0,80-0,85 при одинаковых режимах работы может быть достигнута при использовании цилиндров гибкого сепаратора с отверстиями длиной 96 мм за 2 цикла обработки, а с отверстиями длиной 16 мм – за 3 цикла. Удельная производительность составила 1,05 и 0,70 кг/(с·м²) соответственно. Наличие участка обратной кривизны цилиндра при минимально возможной величине прогиба, равной 55 мм, способствовало хорошей очистке отверстий. Во всех отверстиях цилиндра обнаружено не более 2,5% застрявших частиц. Это обеспечило стабильную работу сепаратора без его остановок на регенерацию.

Выводы

1. Производительность сепаратора зерна с гибким цилиндром зависит от относительной скорости слоя сепарируемых частиц и корректируется длиной отверстий.

2. Предельная относительная скорость составляет: для отверстий длиной 16 мм – $V_o \leq 1,04$ м/с; 56 мм – $V_o \leq 2,73$ м/с; 96 мм – $V_o \leq 3,43$ м/с.

3. Полнота выделения 0,8 и выше может быть достигнута при использовании цилиндров с отверстиями длиной 96 мм за 2 цикла обработки и за 3 цикла при длине отверстий 16 мм; удельная производительность равна 1,05 и 0,70 кг/(с·м²) соответственно.

4. Удельная производительность для достижения чистоты очистки 99,0-99,2% у сепаратора зерна с гибким цилиндром примерно в 2,00-2,25 раза выше, чем у сепаратора с плоским решетом.

5. Результат исследования позволил обеспечить стабильную работу сепаратора с гибким цилиндром без его остановок на регенерацию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хамуев В.Г., Корн А.М. Разработать систему приоритетных технологий и технических средств очистки и сортирования для селекционно-семеноводческих ра-

бот // Отчет о НИР. М.: ФАНО. 2015, 126 с.

2. Сорокин Н.Т., Хамуев В.Г., Бабченко В.Д. Создание сельскохозяйственных машин на инновационной ос-

нове // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, 17-18 сентября 2013 г. М.: ВИМ, 2013. С. 131-133.

3. Хамуев В.Г. Обоснование параметров глубокого пневмосепарирующего канала для очистки семян от трудноотделимых примесей // Дисс. ... канд. техн.наук. М.: ВИМ, 2008.

4. Павлов С.А., Пехальский И.А., Дринча В.М. Состояние и задачи научно-технического обеспечения машинной подготовки семян // Сборник научных трудов. М.: ВИМ, 2000. Т. 132. С. 73-79.

5. Дринча В.М., Пехальский И.А. Как очистить зерно // Земледелие. 1997. N4. С. 32-33.

6. Чурюмов В.Ю. Определение относительной скорости движения слоя сыпучего материала внутри цилиндра в эластичном сепараторе // Инженерный вестник Дона. 2015. N1. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2856> (Дата обращения 24.12.2016).

7. Кузьмин М.В., Чурюмов В.Ю. Влияние длины отвер-

тия гибкого цилиндрического решета на эффективность очистки // Проектирование рабочих органов почвообрабатывающих, уборочных сельскохозяйственных машин и агрегатов для кормопроизводства: Межвузовский сборник Ростовского на Дону института сельскохозяйственного машиностроения. Ростов н/Д, 1984. С. 103-108.

8. Пат. N2112606 РФ. Способ очистки отверстий цилиндрических решет и устройство для его реализации / Анискин В.И., Дринча В.М., Пехальский И.А., Кожевникова С.В. // Бюл. 1998. N16.

9. А.С. N447181 СССР. Решето / Кузьмин М.В. // Бюл. 1974.

10. А.С. N1159664 СССР. Питатель цилиндрического сепаратора / Кузьмин М.В., Чурюмов В.Ю. // Бюл. 1985.

11. А.С. N994060 СССР. Питатель для лабораторного стенда / Чурюмов В.Ю. // Бюл. 1983.

12. Пат. N2550639 РФ. Сепаратор сыпучих материалов / Хамуев В.Г., Бабченко В.Д., Филичев О.А. // Бюл. 2014.

13. Пат. N2566884 РФ. Сепаратор сыпучих материалов / Хамуев В.Г., Филичев О.А., Бабченко В.Д. // Бюл. 2014.

REFERENCES

1. Khamuev V.G., Korn A.M. Razrabotat' sistemu prioritetnykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv ochistki i sortirovaniya dlya selekcionno-semenovodcheskikh rabot [To develop system of priority technologies and technical means of cleaning and sorting for selection and seed-production works]. research report. Moscow: FANO. 2015: 126 (In Russian)

2. Sorokin N.T., Khamuev V.G., Babchenko V.D. Creation of agricultural machines on an innovative basis. System of technologies and machinery for innovative development of AIC in Russia: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 17-18 September 201. Moscow: VIM, 2013: 131-133. (In Russian)

3. Khamuev V.G. Obosnovanie parametrov glubokogo pnevmosepariruyushchego kanala dlya ochistki semyan ot trudnootdelimykh primesey [Justification of parameters of deep pneumoseparating channel for seeds cleaning from hardly separable impurity]. Diss. ... kand. tekhn.nauk. Moscow: VIM. 2008. (In Russian)

4. Pavlov S.A., Pekhal'skiy I.A., Drincha V.M. State and problems of scientific and technical support for machine preparation of seeds. Sbornik nauchnykh trudov. Moscow: VIM, 2000. Vol. 132: 73-79. (In Russian)

5. Drincha V.M., Pekhal'skiy I.A. Kak ochistit' zerno [How to clean grain]. *Zemledelie*. 1997; 4: 32-33. (In Russian)

6. Churyumov V.Yu. Determining the relative velocity of the particles of the layer of bulk material inside the cylinder in the elastic separator. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2015;1.

URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2856> (Accessed 24.12.2016). (In Russian)

7. Kuz'min M.V., Churyumov V.Yu. Influence of length of a mesh of a flexible cylindrical screen on cleaning efficiency. *Proektirovanie rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh, uborochnykh sel'skokhozyaystvennykh mashin i agregatov dlya kormoproizvodstva: Mezhdunarodnyy sbornik Rostovskogo na Donu instituta sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya*. Rostov n/D, 1984: 103-108. (In Russian)

8. Pat. N2112606 RF. Sposob ochistki otverstiy tsilindricheskikh reshet i ustroystvo dlya ego realizatsii [Way of cleaning of throughs in cylindrical screens and device for its realization]. Aniskin V.I., Drincha V.M., Pekhal'skiy I.A., Kozhevnikova S.V. Byul. 1998. N16. (In Russian)

9. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR N447181 SSSR. Resheto [Screen]. Kuz'min M.V. Byul. 1974. (In Russian)

10. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR N1159664 SSSR. Pitatel' tsilindricheskogo separatora [Feeder for cylindrical separator]. Kuz'min M.V., Churyumov V.Yu. Byul. 1985. (In Russian)

11. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR N994060 SSSR. Pitatel' dlya laboratornogo stenda [Feeder for laboratory stand]. Churyumov V.Yu. Byul. 1983. (In Russian)

12. Pat. N2550639 RF. Separator sypuchikh materialov [Separator for bulk materials]. Khamuev V.G., Babchenko V.D., Filichev O.A. Byul. 2014. (In Russian)

13. Pat. N2566884 RF. Separator sypuchikh materialov [Separator for bulk materials]. Khamuev V.G., Filichev O.A., Babchenko V.D. Byul. 2014. (In Russian)

Критерии авторства. Автор несет ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The author is responsible for information and plagiarism avoiding.

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