

2. Permiakov V.N. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva oчитки zerna / V.N. Permiakov, I.R. Ganeev, S.G. Mudarisov; Bashkirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. – Ufa: Bashkirskii GAU, 2021. – 104 s.

3. Galkin V.D. Tekhnologii, mashiny i agregaty posleuborochnoi obrabotki zerna i podgotovki semian / V.D. Galkin, A.D. Galkin. – Perm: IPTs «Prokrostie», 2021. – 234 s.

4. Strikunov N.I. Tekhnicheskoe sostoianie mekhtokov i perspektivy ikh sovershenstvovaniia / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov // Agrovestnik Altaia. – 2009. – No. 6 (60). – S. 16.

5. Tekhnologii i tekhnika dlia posleuborochnoi obrabotki zerna i semian: monografiia / N.M. Ivanov, N.I. Strikunov, S.V. Lekanov; SFNTsA RAN. – Novosibirsk: SFNTsA RAN, 2021. – 277 s.

6. Strikunov, N.I. Razvitie innovatsionnykh tekhnologii posleuborochnoi obrabotki zerna i semian i priniatie reshenii na stadiiakh ikh proektirovaniia / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov // Agrarnaia nauka – selskomu khoziaistvu: sbornik materialov:

v 2 kn. / XIX Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia, Barnaul, 8-9 fevralia 2024 g. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2024. – Kn. 1. – S. 130-132.

7. Lekanov S.V. Zerno-semiaochistitelnyi sushilnyi kompleks / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov, V.E. Lugachev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – No. 3 (233). – S. 111-116.

8. Lekanov S.V. Razrabotka i vnedrenie v proizvodstvo novykh tekhnicheskikh reshenii dlia tekhnologii posleuborochnoi obrabotki zerna / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov, I.N. Strikunov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 3 (221). – S. 98-104.

9. Strikunov N.I. Perspektivnyi semiaochistitelno-sushilnyi kompleks na baze zernoochistitelnogo agregata ZAV-25 / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov // Agrovestnik Altaia. – 2009. – No. 7 (61). – S. 18.

10. Strikunov, N.I. K voprosu okonchatelnoi oчитки semian / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov // Agrovestnik Altaia. – 2009. – No. 8 (62). – S. 20.



УДК 631.362

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-245-3-86-92

Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов, А.А. Бауер, А.В. Терре

N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, A.A. Bauer, A.V. Terre

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНО-ВОЗДУШНОГО СЕПАРАТОРА С КОЛЬЦЕВЫМ КАНАЛОМ ДЛЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

SUBSTANTIATION OF MAIN PARAMETERS OF A CENTRIFUGAL AIR SEPARATOR WITH ANNULAR CHANNEL FOR GRAIN MATERIAL

Ключевые слова: зерновой материал, воздушное сепарирование, кольцевой канал, центробежно-воздушный сепаратор, лёгкие примеси, эффективность очитки зерна, расход воздуха, скорость вращения, радиус сепарации.

В системе послеуборочной обработки зерна исходный зерновой материал, поступающий от комбайнов, подвергается немедленной обработке машинами предварительной очитки. Этот технологический процесс и машины, его осуществляющие, стали неотъемлемой частью технологических линий послеуборочной обработки зерна. В индустриально развитых странах (Германия, Дания, США и др.) производство машин для очитки зерна налажено в частных фирмах, которые в большинстве случаев являются монополистами на рынке. Выпускаемая ими техника именно для предварительной очитки зерна отличается высокой

надежностью, производительностью и функциональностью (например, Verticlean VCC-600). Основным недостатком отечественных ворохоочистителей семейства МПО является их неспособность выделять мелкие примеси, что существенно снижает параметры сохранности зерна. Предварительная очитка должна обеспечивать подготовку зернового материала для пропуска через сушильные установки или к временному хранению при активном вентилировании. Разработка эффективных воздушных систем, работающих в сочетании с решетными блоками центробежных сепараторов, является актуальной задачей. Работа пневмосепарирующих систем (каналов) зерноочистительных машин происходит по принципу взвешивания (вертикальные, кольцевые, замкнутые) или рассеивания фракций, применяемых в воздушных сепараторах «Алмаз» и ПСМ. Одним из главных аэродинамических свойств, общим для всех каналов, является парус-

ность. Из всех указанных воздушных каналов всё большее распространение находят кольцевые каналы. Такие сепараторы могут работать как отдельная машина или в сочетании с блоком центробежных решет в режимах предварительной и первичной очистки. Достоинство центробежно-воздушного сепаратора заключается в его универсальности при очистке различных культур, в эффективности выделения примесей, в простоте конструкции и эксплуатации. В работе представлена конструктивно-технологическая схема сепаратора и обоснованы его параметры.

Keywords: *grain material, air separation, annual channel, centrifugal air separator, light impurities, grain cleaning efficiency, air consumption, suspension velocity, separation radius.*

In the post-harvest grain handling system, the initial grain material coming from combines is immediately processed by pre-cleaning machines. This technological process and the machines that perform it have become an integral part of the technological lines for post-harvest grain handling. In industrially developed countries (Germany, Denmark, the USA, etc.), the production of grain cleaning machines are manufactured by private companies which in most cases are monopolists in the market.

The equipment they produce for grain pre-cleaning is highly reliable, productive and functional (for example, Verticlean VCC-600). The main disadvantage of domestic heap separators of the MPO family is their inability to separate small impurities which significantly reduce grain storage indices. Pre-cleaning should ensure the preparation of grain material for passing through drying units or for temporary storage with active ventilation. Therefore, the development of efficient air systems operating in combination with screen blocks of centrifugal separators is an urgent task. The operation of pneumatic separating systems (channels) of grain cleaning machines occurs according to suspension principle (vertical, annular and closed systems) or dispersion of fractions used in air separators Almaz and PSM. One of the main aerodynamic properties common to all channels is their sailing capacity. Of all the specified air channels, annular channels become increasingly widespread. Such separators may operate as a separate machine or in combination with a block of centrifugal screens in the modes of preliminary and primary cleaning. The advantage of a centrifugal air separator is its versatility in cleaning various crops, the efficiency of impurity separation, the simplicity of design and operation. This paper discusses a design and technological scheme of the separator and substantiates its parameters.

Стрикунов Николай Иванович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: strikunov555@mail.ru.

Леканов Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: serrg333@mail.ru.

Бауер Андрей Андреевич, магистрант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: andrey4102000@mail.ru.

Терре Антон Владимирович, магистрант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: anton.terre@yandex.ru.

Strikunov Nikolay Ivanovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: strikunov555@mail.ru.

Lekanov Sergey Valerevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: serrg333@mail.ru.

Bauer Andrey Andreevich, master's degree student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: andrey4102000@mail.ru.

Terre Anton Vladimirovich, master's degree student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: anton.terre@yandex.ru.

Введение

Отечественные и зарубежные машины предварительной очистки не совсем удовлетворяют требованиям ни по эффективности очистки, ни по производительности [1, 2]. В качестве примера можно привести ворохоочиститель МПО-50, который на очистке зерна не обеспечивает выделение мелких примесей, что приводит к снижению эффективности работы подсевных решёт машин первичной очистки, а также при временном хранении зерна. В современных воздушных сепараторах и воздушно-решётных машинах применяют различные по устройству пневмосепарирующие каналы, в том числе и кольцевые. Преимущества кольцевых пневмосепарирующих каналов заключаются в

том, что в таких каналах наиболее эффективно организованы процесс ввода зернового материала в зону сепарации и направленное встречное движение воздуха [3-5].

Впервые такой канал на выделении лёгких примесей был применён в сепараторе Verticlean VCC-600 (производство Дания). Полностью реализовать процесс взаимодействия зернового материала и воздушного потока в этом сепараторе не удалось. Решение этого вопроса возможно в предлагаемом центробежно-воздушном сепараторе, где была решена задача объединения двух этих качеств, что позволит извлечь больше лёгких примесей из поступившего зернового материала.

Задачи исследования:

- разработать технологическую схему центробежно-воздушного сепаратора с кольцевым пневмосепарирующим каналом;
- обосновать основные конструктивно-режимные параметры сепаратора.

Основная часть

На основе проведенных исследований разработан центробежно-воздушный сепаратор с кольцевым пневмосепарирующим каналом (рис. 1).

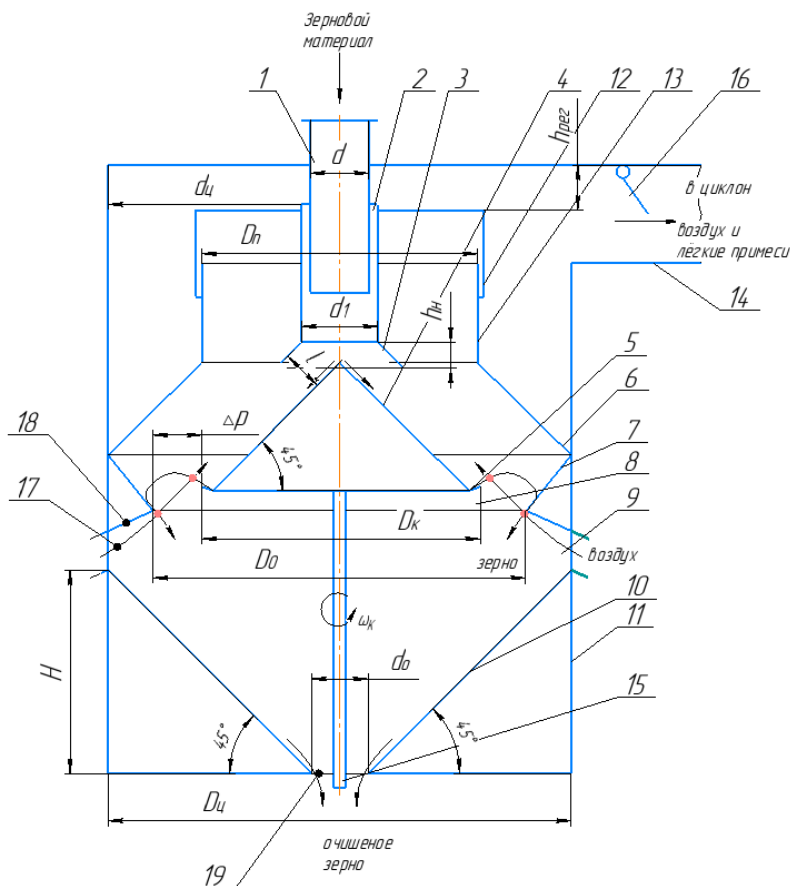


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема сепаратора

Описание работы сепаратора

Сепаратор имеет корпус 11 с всасывающими окнами 9, внутри которого встроена загрузочная горловина 1, через которую и поступает исходный зерновой материал. Соосно с горловиной размещён подвижный цилиндр 2, оканчивающийся в нижней его части конусом 3 с углом раскрытия меньшим, чем конус питателя. Таким образом, на поверхность питателя подается равномерно зерновой материал с определенной скоростью.

Исходный зерновой материал, движущийся равномерным слоем по поверхности конуса питателя 4 в нижней его части, поступает на диск 5 с отогнутыми краями. При этом зерновой материал приобретает угловую скорость, равную угловой скорости диска 5. Частота вращения питателя равна 55-60 об/мин.

В зону сепарации, в кольцевой пневмосепарирующий канал 8, зерновой материал поступает после схода с диска питателя, где дважды пронизывается встречным воздушным потоком. По патрубку 14 легкие примеси направляются в осадочную камеру (на рисунке 1 не показано).

Эффективная работа сепаратора при выделении легких примесей достигается за счет правильной регулировки скорости воздушного потока в кольцевом канале 8, конического отражателя 7 и встроенных направителей 17. Эти конструктивные и режимные параметры, а также работа загрузочно-питающего устройства стали основой эффективного сепарирования [6].

Вспомогательный конус 10 принимает отсепарированный материал и через выпускное отверстие 19 в нижней его части выводит из сепаратора. Четкость сепарирования обеспечи-

вается заслонкой 16, которая размещена в патрубке 14, а тонкая регулировка выполняется регулировочным стаканом 12 относительно цилиндра 13.

Определим основные параметры сепаратора по предлагаемой методике расчета.

1. Средняя скорость движения зернового материала при поступлении на конус питателя (рис. 2).

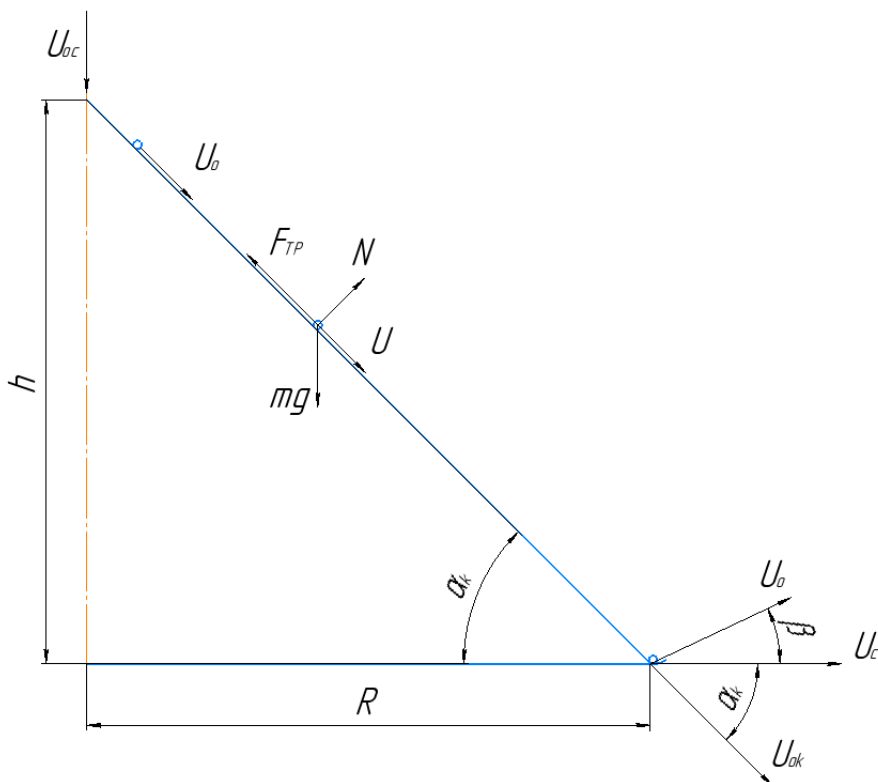


Рис. 2. Расчетная схема к определению параметров питателя

Принимаем диаметр загрузочной горловины $d = 0,2$ м.

Из уравнения расхода зернового материала

$$q_з = U_{ос} \cdot \rho \cdot F_Г,$$

где $q_з$ – расход зерна, кг/с;

$U_{ос}$ – осевая скорость зерна, м/с;

$F_Г = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – площадь поперечного сечения горловины, м².

Определим осевую скорость, считая, что производительность сепаратора в режиме ворохоочистителя составляет $Q = 50$ т/ч.

$$\text{Тогда } q_з = \frac{Q}{3.6} = \frac{50}{3.6} = 13,89 \text{ кг/с.}$$

$$U_{ос} = \frac{q_з}{\rho \cdot F_Г},$$

где $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ – объемная масса зернового материала.

Подставив известное значение в формулу (1), получим

$$U_{ос} = 0,632 \text{ м/с.}$$

2. Скорость движения зерна по поверхности в вершине конуса

$$U_о = U_{ос} \cdot \cos 45^\circ = 0,447 \text{ м/с.}$$

3. Скорость зерна у основания конуса

$$U_{ок} = \sqrt{2 \cdot g \cdot R \cdot (\text{tg} \alpha_k - \text{tg} \varphi) + U_о^2},$$

где R – радиус конуса питателя;

α_k – угол у основания конуса;

φ – угол трения, принимаем $\varphi = 20^\circ$;

$$U_{ок} = 1,82 \text{ м/с.}$$

4. Определим скорость схода зерна с конуса

$$U_{сх} = U_{ок} \cdot \cos(\alpha_k + \beta),$$

где $\beta = 5^\circ$ – угол между диском в основании конуса и отогнутой его частью.

$$U_{сх} = 1,17 \text{ м/с.}$$

5. Задаемся скоростью воздуха в рабочей зоне сепарации $U_в = 10$ м/с, исходя из требования, чтобы зерно не попало в воздуховод:

$$\lambda_0 = \frac{U_в}{U_д},$$

где $U_д = U_{сх} \cdot \cos(\beta) = 1,166 \text{ м/с.}$

Отсюда $\lambda_0 = 8,58$.

6. Определим радиус сепарации при скорости витания зерна $U = 8,0$ м/с.

$$\Delta\rho_c = \frac{\left[(1 + \lambda_0 \cdot \cos \varepsilon) \ln \left(1 + \frac{1}{\lambda_0 \cdot \cos \varepsilon} \right) \right] - 1}{K_{\pi} \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} + \lambda_0^2 + 2\lambda_0 \frac{\cos(\varphi_1 - \varepsilon)}{\cos \varphi_1}}},$$

где φ_1 – угол вбрасывания зерна, $\varphi_1 = 40^\circ$;
 ε – угол воздушного закручивания при встречном движении, $\varepsilon = 0$;
 K_{π} – коэффициент парусности,
 $K_{\pi} = 0,155$ 1/м.

Подставив известные значения величин, получим $\Delta\rho_c = 0,038$ м. Таким образом, на радиусе сепарации $\Delta\rho_c = 38$ мм зерновой материал обрабатывается, и из него удаляются полова и легкие примеси.

7. Конструктивно $\Delta\rho_k$ принимаем равными 0,15 м. Определим диаметр внешнего цилиндра канала D_o :

$$Q = \pi D_{cp} \cdot q_B,$$

где q_B – удельная нагрузка на 1 м периметра воздушного канала;

$q_B = 23,9$ кг/с (по прототипу сепаратора Verticlean VCC-600);

D_{cp} – средний диаметр конуса, $D_{cp} = \frac{Q}{\pi \cdot q_B}$.

$$D_{cp} = 0,69 \text{ м.}$$

Тогда

$$D_k = D_{cp} - \Delta\rho_k = 0,69 - 0,15 = 0,54 \text{ м.}$$

$$D_o = D_k + 2\Delta\rho = 0,54 + 0,3 = 0,84 \text{ м.}$$

8. Определим расход воздуха в всасывающие окна. Выбираем вентилятор № 6, расход воздуха $V_B = 9000 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 2,5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ [7].

$$V_B = U_B S_k = \text{const};$$

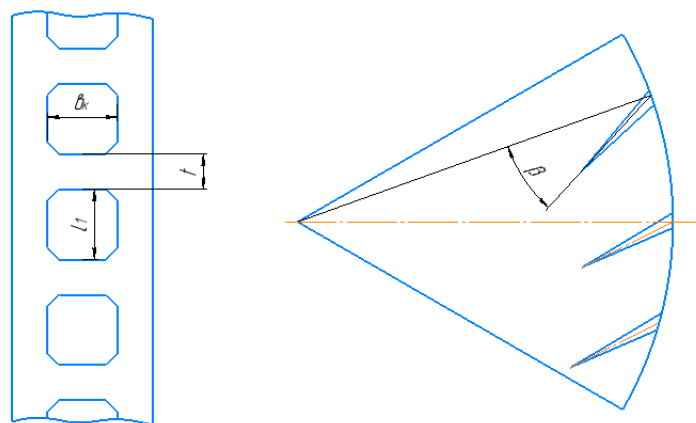


Рис. 3. Схема к обоснованию параметров всасывающих окон с направляющими

10. Регулируемый зазор $h_{\text{рег}}$ определим из неравенства:

$$\pi D_B h_{\text{рег}} \geq F_B.$$

где $S_k = \pi D_{cp} b_k \cdot \xi$,
 где ξ – коэффициент живого сечения, принимаем $\xi = 0,7$;

S_k – площадь кольцевого канала, м^2 ;

$$U_B = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$S_k = \frac{V_B}{U_B} = \frac{2,5}{12} = 0,20 \text{ м}^2.$$

Вычисляем размеры всасывающих окон (рис. 3)

$$b_k = \frac{S_k}{\pi D_{cp} \cdot \xi}.$$

Для уменьшения размера b_k требуется увеличить коэффициент живого сечения ξ за счет уменьшения перемычки t между всасывающими окнами. Принимаем $\xi = 0,88$, тогда $b_k = 0,15$ м.

Приняв $l_1 = 0,16$ м и $t = 0,015$ м, получаем по периметру корпуса 15 отверстий.

9. Диаметр цилиндра воздуховода определяем из условия, чтобы при движении смеси воздуха с примесями по цилиндру не выносились щуплое (лёгкое) зерно. Для семян пшеницы U_B равно не более 5 м/с. При известных значениях V_B и U_B , с учетом подвижной части $d_1, D_B = 0,83$ м.

Поэтому максимально возможное перемещение цилиндрического стакана составит: $h_{\text{рег}} = 0,19$ м.

11. Установку направляющего конуса подвижной части загрузочной горловины на рас-

стоянии l от вершины питателя определим из условия, чтобы площадь питающей трубы $\frac{\pi d_1^2}{4}$ была равна площади конуса выходящего сечения $\frac{\pi d_1^2 l}{2}$, откуда $l = \frac{d_1}{2}$, $l = 0,11$ м.

Величина h_H определится как $h_H = l \cdot \cos 45^\circ$.

12. Высоту цилиндра до всасывающих окон определяем конструктивно, при условии, что диаметр выпускного отверстия равен $d_B = 0,25$ м.

Отсюда $H = \frac{D_{ц} - d_B}{2} \cdot \cos 45^\circ$.

13. Принимаем частоту вращения питателя $n = 55-60$ об/мин. Это означает, что привод питателя при работе воздушного сепаратора в режиме ворохоочистителя в сочетании с подсевным решетом центробежно-решетного сепаратора может быть осуществлен от вала цилиндрического барабана, что существенно упрощает конструкцию.

Заключение

1. Предложен способ рационального ввода зерна в пневмосепарирующий канал, реализованный с применением загрузочно-питающего устройства и встречным движением воздушного потока за счет встроенных направителей в всасывающие окна.

2. Интенсифицировать процесс воздушного сепарирования можно за счёт применения конического питателя, способного увеличить скорость ввода зерна в пневмосепарирующий канал и встречного движения воздушного потока, дважды пересекающего зерновой поток, сходящий с питателя и конического отражателя.

3. При работе сепаратора в режиме ворохоочистителя целесообразно компоновать воздушную часть с подсевным решетным блоком центробежно-решетного сепаратора, а кинематические характеристики питателя позволяют осуществить его привод от вала барабана, а не от блока цилиндрических решет, имеющих отношение угловых скоростей $\frac{\omega_\delta}{\omega_\rho} = 0,57$.

Библиографический список

1. Стрикунов, Н. И. Интенсификация послеуборочной обработки зерна на основе центробежно-решетного сепарирования / Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов, С. В. Леканов. – Текст: непосредственный // Современные проблемы и достижения аграрной науки в животноводстве

и растениеводстве. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003. – Ч. 1. – С. 148-150.

2. Ермольев, Ю. И. Интенсификация технологических операций в воздушно-решетных зерноочистительных машинах / Ю. И. Ермольев. – Ростов-на-Дону: Изд-кий центр ДГТУ. – 1998. – 494 с. – Текст: непосредственный.

3. Гришин, Д. О. Применение центробежно-воздушного сепаратора в послеуборочной обработке зерна и семян / Д. О. Гришин, С. В. Леканов. – Текст: непосредственный // Наука и молодежь. Т. 1. Инженерно-технические науки, часть 1: материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул: АлтГТУ, 2022. – С. 14-16.

4. Леканов, С. В. Моделирование процессов функционирования центробежно-воздушного потока для послеуборочной обработки зерна / С.В. Леканов, С.Ф. Сороченко. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-238-8-110-120. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 8 (238). – С. 110-120.

5. Патент России № 2753865-С1 МПК В 07В 1/26 Центробежно-решетный сепаратор / Стрикунов Н. И., Леканов С. В., Щербаков С. С., Микитюк М. Е. – Заявл. 29.12.2020, опубл. 24.08.2021, Бюл. № 24. – Текст: непосредственный.

6. Бауер, А. А. Разработка пневмосепаратора с кольцевым многоярусным аспирационным каналом / А. А. Бауер, Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов, Р. В. Родин. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-229-11-88-93. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 11 (229). – С. 88-93.

7. Турбин, Б. Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин. Теория и технологический расчет / Б. Г. Турбин. – Ленинград: Машиностроение, 1968. – 160 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Strikunov, N.I. Intensifikatsiia posleuborochnoi obrabotki zerna na osnove tsentrobezhno-reshetnogo separirovaniia / N.I. Strikunov, B.T. Tarasov, S.V. Lekanov // Sovremennye problemy i dostizheniia agrarnoi nauki v zhivotnovodstve i rasteniievodstve. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2003. – Ch. 1. – S. 148-150.

2. Ermolev, Iu.I. Intensifikatsiia tekhnologicheskikh operatsii v vozdušno-reshetnykh zernoochistitelnykh mashinakh / Iu.I. Ermolev. – Rostov-na-Donu: Izdatelskii tsentr DGTU, 1998. – 494 s.

3. Grishin, D.O. Primenenie tsentrobezhno-vozdušnogo separatora v posleuborochnoi obrabotke zerna i semian / D.O. Grishin, S.V. Lekanov // Nauka i molodezh. T. 1. Inzhenerno-tekhnicheskie nauki, ch. 1: materialy XIX Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii / Altaiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova. – Barnaul: AltGTU, 2022. – S. 14-16.

4. Lekanov, S.V. Modelirovanie protsessov funktsionirovaniia tsentrobezhno-vozdušnogo potoka dlia posleuborochnoi obrabotki zerna / S.V. Lekanov, S.F. Sorochenko // Vestnik Altai-

kogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – No. 8 (238). – S. 110-120.

5. Patent Rossii No. 2753865-S1 MPK B 07B 1/26 Tsentrobezhno-reshetnyi separator / Strikunov N.I., Lekanov S.V., Shcherbakov S.S., Mikitiuk M.E.. Zaiavl. 29.12.2020, opubl. 24.08.2021, Biul. No. 24.

6. Bauer, A.A. Razrabotka pnevmoseparatora s koltsevym mnogoarusnym aspiratsionnym kanalom / A.A. Bauer, N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, R.V. Rodin // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 11 (229). – S. 88-93.

7. Turbin, B.G. Ventilatory selskokhoziaistvennykh mashin. Teoriia i tekhnologicheskii raschet / B.G. Turbin. – Leningrad: Mashinostroenie, 1968. – 160 s.

