

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПНЕВМО-ЦЕНТРОБЕЖНО-ВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРАTHE SUBSTANTIATION OF THE MAIN PARAMETERS
OF THE PNEUMO-CENTRIFUGAL-SWIRLING SEPARATOR

Ключевые слова: воздушный поток, легкая фракция, тяжелая фракция, радиус сепарации, сопловая насадка, скорость воздушного потока.

По данным многочисленных исследований воздушных сепарирующих систем установлено, что машины с замкнутым циклом воздуха имеют ряд преимуществ перед машинами с разомкнутым циклом – они не создают воздухообмена в помещении и потребляют меньше энергии. Процесс разделения зерновых смесей по аэродинамическим свойствам осуществляется, как правило, в специальных пневмосепарирующих устройствах, где в качестве рабочего тела используется воздух. В настоящее время в конструкциях пневмосепараторов имеется значительное разнообразие в форме поперечного сечения каналов. Все большее распространение в сельском хозяйстве получают кольцевые пневмосепарирующие каналы с замкнутым и разомкнутым циклами воздуха. В статье проведено обоснование параметров

пневмо-центробежно-вихревого сепаратора с кольцевым пневмоканалом.

Keywords: air flow, light fraction, heavy fraction, separation radius, nozzle header, air flow velocity.

According to numerous studies of air separation systems, it has been found that the machines with a closed air cycle have several advantages over the machines with open cycle - they do not create air exchange in the room and consume less energy. The process of separating grain mixtures by aerodynamic properties is carried out, as a rule, in special pneumatic separation devices where air is used as a working medium. Currently, in the designs of pneumatic separators there is a significant variety in the form of a cross section of the channels. Ring pneumatic separating channels with closed and open air cycles become more widespread in agriculture. This paper substantiates the parameters of a pneumo-centrifugal-swirling separator with a ring pneumatic channel.

Стрикунов Николай Иванович, к.т.н., доцент, каф. сельскохозяйственной техники и технологий, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: agau@asau.ru.

Леканов Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент, зав. каф. растениеводства, переработки и механизации, Алтайский институт повышения квалификации руководителей и специалистов агропромышленного комплекса, г. Барнаул. Тел.: (3852) 52-79-57. E-mail: serrg333@mail.ru.

Strikunov Nikolay Ivanovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agricultural Machinery and Technologies, Altai State Agricultural University. E-mail: agau@asau.ru.

Lekanov Sergey Valeryevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai Institute of Professional Development of Managers and Specialists of Agricultural Industry Complex, Barnaul. Ph.: (3852) 52-79-57. E-mail: serrg333@mail.ru.

Введение

Разделение компонентов зернового материала по парусности возможно двумя способами. Первый – по принципу «взвешивания» частиц в восходящем воздушном потоке, при котором частицы легкой фракции подхватываются воздушным потоком и выносятся в приемник отходов, а частицы тяжелой фракции идут вниз навстречу воз-

душному потоку и поступают в приемник тяжелой фракции, то есть в приемник очищенного зерна. Технологические возможности этого способа сепарации практически исчерпаны вследствие невозможности существенно увеличить скорость воздушного потока в рабочей зоне, поэтому этот способ нельзя назвать перспективным [1-4].

Второй – по принципу отклонения траекторий, при котором частицы в зависимости от их парусности описывают в зоне сепарации различные по форме траектории полета и могут быть уловлены в приемники тяжелой, промежуточной и легкой фракций [4].

Чтобы исключить возможность взаимодействия частиц в зоне сепарации, подача (ввод) исходного зернового материала в зону сепарации должна осуществляться тонким (элементарным) слоем толщиной в одно зерно с одинаковыми по величине и направлению (по отношению к скорости воздуха) скоростями [5].

Для обеспечения достаточно высокой производительности сепаратора (25-50 т/ч) скорость ввода зерна в зону сепарации должна быть достаточно высокой, соответственно, будет высокой и скорость воздушного потока [5].

Из указанных способов сепарирования второй является наиболее перспективным, поэтому разрабатываемый сепаратор основывается на этом принципе сепарирования [6-10].

Цель работы – разработать воздушный сепаратор с кольцевым пневмосепарирующим каналом.

Задачи исследования:

- 1) обосновать параметры устройства для ввода зерна в пневмоканал;
- 2) определить конструктивные размеры кольцевого пневмосепарирующего канала.

Основная часть

Скорость ввода зерна с разбрасывателя (в радиальном направлении) V_r можно определить из уравнения расхода зерна, то есть из требуемой производительности [11]:

$$q^I = \pi D_T \cdot m_{сл} \cdot V_r, \quad (1)$$

где D_T – рабочий диаметр тарелки (разбрасывателя), м;

V_r – меридиональная скорость схода зерна с тарелки (то есть скорость вдоль образующей тарелки) м/с;

$m_{сл}$ – масса элементарного слоя зерна на 1 м^2 , кг/м².

Из формулы (1) определим V_r :

$$V_r = \frac{Q}{3,6 \cdot \pi \cdot D_T \cdot m_{сл}}, \quad (2)$$

где $Q = 3,6q^I$ – производительность сепаратора, т/ч.

Представим расчетную схему.

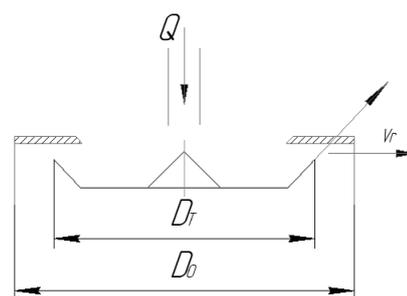


Рис. 1. Схема вбрасывания зерна в воздушный поток:
 D_0 – диаметр отражателя зерна

По формуле (2) определим скорость V_r , приняв $D_T = 0,4 \text{ м}$, $m_{сл} = 2 \text{ кг/м}^2$.

Потребные величины V_r представлены в таблице.

Таблица

Зависимость скорости схода зерна с тарелки от производительности сепаратора

Q, т/ч	20	25	30	50	100
V_r , м/с	2,21	2,76	3,31	5,52	11,04

Для сепаратора с производительностью 25 т/ч можно принять $V_r = 2,76 \text{ м/с}$.

После схода зерна с тарелки оно попадает в зону сепарации воздушным потоком. Определим радиус сепарации.

Радиус сепарации определяется по формуле Н.Т. Гармаша (относится к случаю радиального сходящего воздушного потока с постоянной скоростью V_n):

$$\rho_c = \rho_0 + \frac{\cos\varphi_1}{k_n} \ln \frac{V_0 \cdot \cos\psi_1}{V_n} - \frac{V_1 \cdot \cos\varphi_1}{V_{01} \cdot k_n}, \quad (3)$$

или $\rho_c = \rho_0 + \Delta\rho_c$,

где V_1, V_{01} – скорости движения вбрасываемого материала, м/с;

k_n – коэффициент парусности, 1/м;

m, c – характерная точка сепарации.

$$V_{01} = \sqrt{V_1^2 + V_n^2 + 2V_1V_n\cos\varphi_1};$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{V_1\cos\varphi_1 - V_n}{V_{01}},$$

где $V_1\cos\varphi_1 = V_p$ – радиальная составляющая воздушного потока, м/с.

Формула (3) может быть преобразована, тогда получим величину необходимой зоны сепарации:

$$\Delta\rho = \frac{(1+\lambda)\ln(1+\frac{1}{\lambda})-1}{k_n\sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi_1}+\lambda^2+2\lambda}}, \quad (4)$$

где $\lambda = \frac{V_n}{V_p}$;

φ_1 – угол вбрасывания зерна, град.

Как видно из формулы (4), величина зоны сепарации $\Delta\rho$ зависит от соотношения $\lambda = \frac{V_n}{V_p}$, обратно пропорциональна коэффициенту парусности k_n и зависит от угла вбрасывания φ_1 . Анализ выражения (4) показывает, что для частиц легкой и промежуточной фракций, для которых коэффициент парусности $k_n > 0,30$ принимает размер зоны

сепарации ($\Delta\rho = 0,15-0,3$ м), достигается при $\lambda = 1,5 \dots 2,5$. Если угол вбрасывания $\varphi < 75^\circ$, то существенного влияния на размер зоны сепарации он не оказывает. В расчетах будем принимать $\lambda = 2$ и $\varphi_1 = 60^\circ$.

Радиус сопловой насадки можно определить из выражения

$$\rho_n = \rho_0 + \Delta\rho_{c2}, \quad (5)$$

где $\Delta\rho_{c2}$ – радиус сопловой насадки для удаляемости примесей, м.

Принимаем $\Delta\rho_{c2} = 0,2$ м, тогда при $\rho_0 = 0,24$ м получим согласно формуле (5) $\rho_n = 0,24 + 0,2 = 0,44$ м.

Однако при таком ρ_n верхняя кромка сопловой насадки будет лежать в плоскости вбрасывания. Есть реальное опасение, что вбрасываемые зерна будут ударяться о кромку. Для исключения этого необходимо, чтобы скорость воздушного потока в канале была не менее максимальной скорости витания зерен (для пшеницы $V_s^{max} = 11,5$ м/с).

Увеличим радиус сопловой насадки ρ_n на 10 мм, получим $\rho_n = 0,45$ м, сдвинув кромку вдоль линии СВ (рис. 4).

$$\Delta h = \frac{b_x}{\cos\alpha} - \Delta b t g\alpha,$$

где b_x – ширина канала, м.

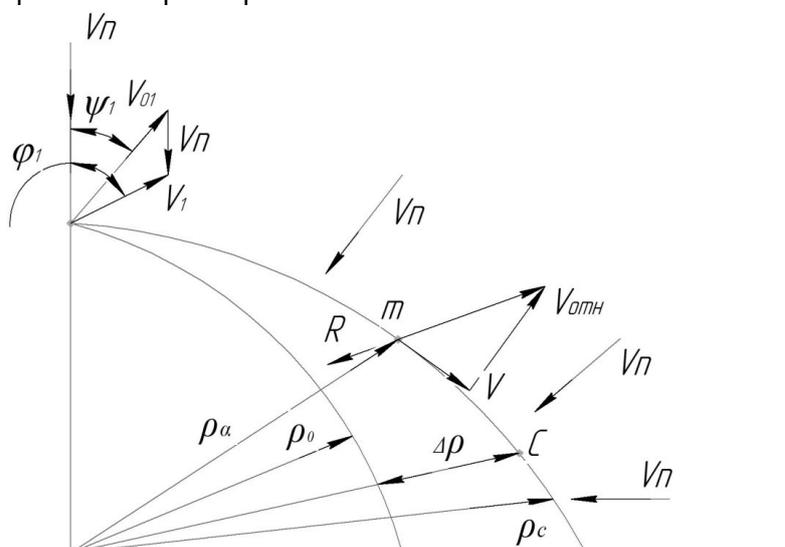


Рис. 2. Схема к определению радиуса сепарации

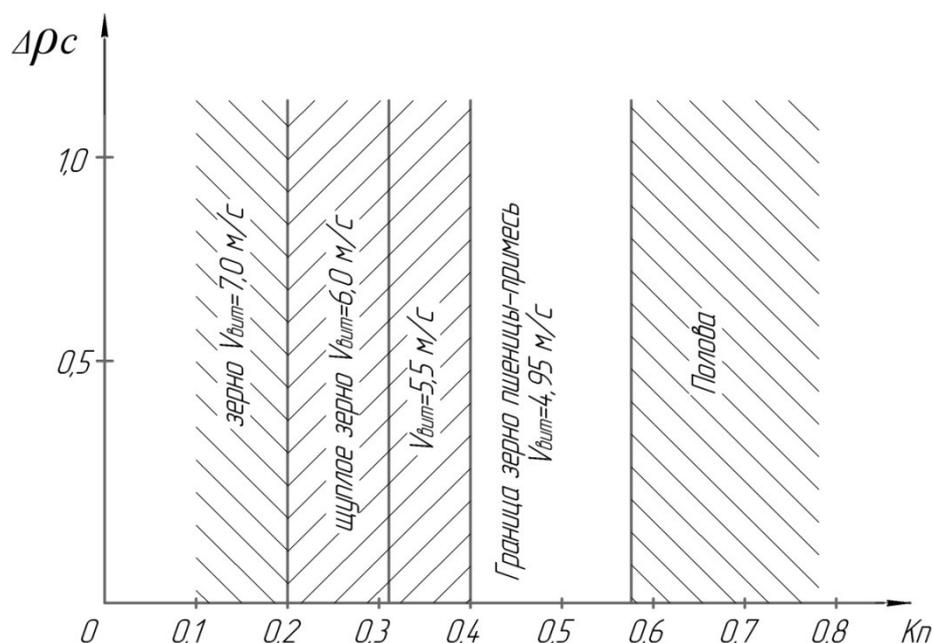


Рис. 3. Изменение величины зоны сепарации $\Delta\rho_c$ в зависимости от коэффициента парусности k_n при различных значениях λ и направления вбрасывания φ_1

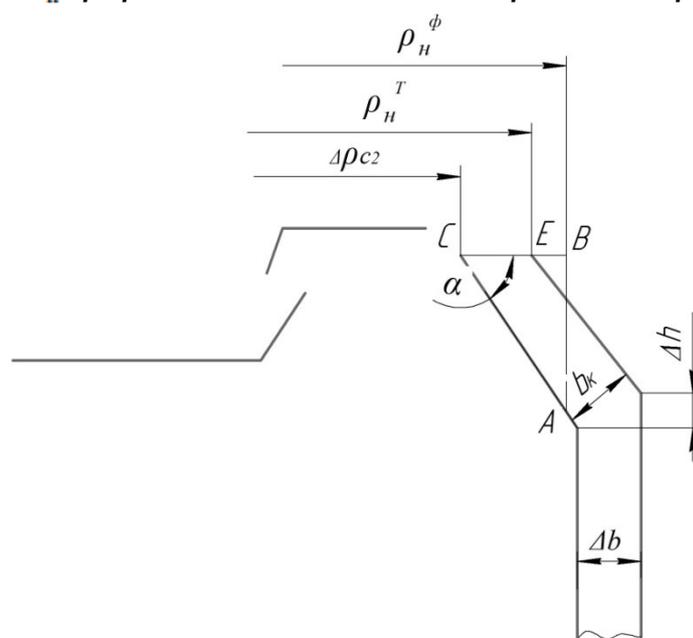


Рис. 4. Схема воздушной части пневмо-центробежно-вихревого сепаратора к определению размеров воздушного канала

Ширину канала определим из соотношения

$$b_k = CE \cdot \sin\alpha,$$

но так как мы приняли, что $CE = \Delta\rho_{c2}$, то получим

$$b_k = \Delta\rho_{c2} \cdot \sin\alpha. \quad (6)$$

По данным исследований Н.И. Косилова, угол между вбрасыванием зерна и скоростью воздушного потока должен быть не ме-

нее 18° . При меньшем угле вбрасывания в струе образуется уплотненное зерно.

Принимаем угол $\alpha = 24^\circ$, а $\Delta\rho_{c2} = 0,2$ м и получим $b_k = 0,08$ м.

Принимаем конструктивный диаметр тарелки $D_T = 2\rho_T = 400$ мм, ширину кольца отражателя-выравнивателя – 40 мм. Остальные размеры сепаратора выбираем из конструктивных соображений.

Определим расход воздуха через сопловую насадку по формуле:

$$Q_{\text{н}} = F_{\text{н}} \cdot V_{\text{п}} = 2\pi\rho_{\text{н}}b_{\text{к}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7)$$

где $V_{\text{п}}$ – скорость потока воздуха, м/с;

$$V_{\text{п}} = \lambda V_{\text{р}} = 2 \cdot 4,76 = 9,52 \text{ м/с},$$

где $F_{\text{н}}$ – площадь сопловой насадки м^2 .

Подставив значение величин в формулу (7), получим $Q=1,06 \text{ м}^3/\text{с}$.

Заключение

Качественное разделение зернового материала воздушным потоком зависит от выполнения следующих условий:

- подача зернового материала должна быть тонкослойной;
- относительная скорость зерновых частиц при встрече с воздушным потоком должна быть высокой;
- все компоненты зерновой смеси перед входом в зону сепарации должны иметь одинаковую скорость;
- путь воздействия воздушного потока на частицы зерновой смеси должен быть по возможности большим.

Этим условиям соответствует разработанный пневмо-центробежно-вихревой сепаратор.

Наиболее эффективной сепарации можно достигнуть при создании равномерного воздушного потока по всему сечению кольцевого пневмосепарирующего канала.

Сепаратор может работать в режиме семенной очистки, как машина окончательной очистки семян, а с применением цилиндрических решет создается реальная возможность разработки высокопроизводительного и компактного ворохоочистителя центробежно-решетного.

Библиографический список

1. Леканов, С. В. Техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и се-

мян: рекомендации / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов. – Барнаул: Изд-во Алт. ИПК АПК, 2019. – 74 с. – Текст: непосредственный.

2. Леканов, С. В. Зерноочистительные машины: учебное пособие / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – 88 с. – Текст: непосредственный.

3. Стрикунов, Н. И. Классификация аспирационных систем центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 26. – С. 90-93.

4. Тищенко, Л. Н. Моделирование процессов зерновых сепараторов: монография / Л. Н. Тищенко, Д. И. Иванович Мазоренко, М. В. Пивень [и др.]; ХНТУСГ им. П. Василенко. – Харків: Міськдрук, 2010. – 359 с. – Текст: непосредственный.

5. Стрикунов, Н. И. Обоснование параметров кольцевого канала выхода очищенного зерна центробежного воздушного сепаратора / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов, С. А. Черкашин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (162). – С. 168-172.

6. Леканов, С. В. К вопросу классификации способов предварительной подготовки зернового материала / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, С. А. Черкашин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4 (114). – С. 142-148.

7. Косилов, Н. И. Технологические возможности модернизации и создания перспективных поточных линий для послеуборочной обработки зерна / Н. И. Косилов, В. В. Пивень. – Текст: непосредственный // Вестник Челябинского государственного аг-

роинженерного университета. – 2000. – Т. 31. – С. 28-31.

8. Слипченко, М. В. К производственным испытаниям ворохоочистителя СВС-15 с разработанным пневмосепарирующим устройством / М. В. Слипченко. – Текст: непосредственный // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: вісник ХНТУСХ ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2009. – Вип. 88. – С. 88-95.

9. Швидя, В. О. Підвищення ефективності пневмовідцентрового сепаратора та обґрунтування параметрів робочих органів: автореферат дисертації на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.05.11 «Машины та засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / Швидя Віктор Олександрович. – Глеваха, 2012. – 18 с. – Текст: непосредственный.

10. Патент России № 2675607 С1 МПК В07В 7/083 (2006.01). Центробежно-воздушный сепаратор / Леканов С. В., Стрикунов Н. И., Черкашин С. А. – № 2017146182; заявл. 26.12.2017; опубл. 20.12.2018, Бюл. № 35. – Текст: непосредственный.

11. Шилин, В. В. Повышение эффективности очистки зерна виброцентробежным сепаратором путем разработки пневмосистемы с вертикальным кольцевым аспирационным каналом: автореферат дисертації на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.20.01 / Шилин Владимир Владимирович; [ЗНИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого]. – Киров, 2004. – 23 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Lekanov, S.V. Tekhnika i tekhnologii dlya posleuborochnoy obrabotki zerna i semyan: rekomendatsii / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov. – Barnaul: Izd-vo Alt. IPK APK, 2019. – 74 s.

2. Lekanov, S.V. Zernoochistitelnye mashiny: uchebnoe posobie / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov, B.T. Tarasov. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2010. – 88 s.

3. Strikunov, N.I. Klassifikatsiya aspiratsionnykh sistem tsentrobezhno-reshetnykh separatorov s vertikalnoy osyu vrashcheniya / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov // Molodoy uchenyy. – 2016. – No. 26. – S. 90-93.

4. Tishchenko L.N. Modelirovanie protsessov zernovykh separatorov: monogr / L.N. Tishchenko i dr. – KhNTUSG im. P. Vasilenko. – Kharkov: Miskdruk, 2010. – 359 s.

5. Strikunov, N.I. Obosnovanie parametrov koltsevogo kanala vykhoda ochishchennogo zerna tsentrobezhnogo vozdušnogo separatora / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, S.A. Cherkashin // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4 (162). – S. 168-172.

6. Lekanov, S.V. K voprosu klassifikatsii sposobov predvaritelnoy podgotovki zernovogo materiala / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov, S.A. Cherkashin // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – 2014. – No. 4 (114). – S. 142-148.

7. Kosilov, N.I. Tekhnologicheskie vozmozhnosti modernizatsii i sozdaniya perspektivnykh potochnykh liniy dlya posleuborochnoy obrabotki zerna / N.I. Kosilov, V.V. Piven // Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta. – 2000. – Т. 31. – S. 28-31.

8. Slipchenko, M.V. K proizvodstvennym ispytaniyam vorokhoochistitelya SVS-15 s razrabotannym pnevmosepariruyushchim ustroystvom / M.V. Slipchenko // Suchasni napryamki tekhnologii ta mekhanizatsii protsesiv pererobnikh i kharchovikh virobnitstv: Visnik KhNTUSKh im. Petra Vasilenka. – Kharkiv: KhNTUSG im. P. Vasilenka, 2009. – Vip. 88. – S. 88-95.

9. Shvidya, V.O. Pidvishchennya effektivnosti pnevmovidtsentrovogo separatora ta obgruntuvannya parametriv robochikh organiv: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.11 «Mashini ta zasobi mekhanizatsii silskogospodarskogo virobnitstva» / Shvidya Viktor Oleksandrovich. – Glevakha, 2012. – 18 s.

10. Patent Rossii No. 2675607 S1 MPK B07B 7/083 (2006.01). Tsentrobezno-vozdushnyy separator / Lekanov S.V., Strikunov N.I., Cherkashin S.A. 2017146182;

zayavl. 26.12.2017; opubl. 20.12.2018, Byul. No. 35.

11. Shilin, V.V. Povyshenie effektivnosti ochistki zerna vibrotsentrobezhnym separatom putem razrabotki pnevmosistemy s vertikalnym koltsevym aspiratsionnym kanalom: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. k.t.n.: spets. 05.20.01 / Shilin Vladimir Vladimirovich; [ZNIISKh Severo-Vostoka im. N. V. Rudnitskogo]. – Kirov, 2004. – 23 s.



УДК 621.318

С.К. Шерьязов, Ю.А. Никишин, А.А. Митюнин
S.K. Sheryazov, Yu.A. Nikishin, A.A. Mityunin

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ НЕОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

THE RESEARCH OF THE DEGREE OF MAGNETIC FIELD INHOMOGENEITY IN AGRICULTURAL MAGNETIC SEPARATORS

Ключевые слова: сельскохозяйственная продукция, электромагнитный сепаратор, постоянный магнит, магнитное поле, магнитная индукция, степень неоднородности, металломагнитная частица.

Обеспечение сохранности качества сельскохозяйственной продукции на всех этапах ее производства является важной задачей. При этом извлечение металломагнитных частиц из продукта возможно железотделителями разных типов. Наиболее широкое применение находят электромагнитные сепараторы, которые устанавливаются в технологических линиях. Создание сепаратора с определенным параметром неоднородного магнитного поля является актуальной задачей. Для обеспечения требуемой степени очистки продуктов от металлических частиц создается магнитная сила, которая извлекает частицу из продукта и притягивает к полюсу магнитной системы. Сила притяжения в рабочей зоне сепаратора зависит от параметров и степени неоднородности магнитного поля. Более неоднородное магнитное поле создает магнитную силу, которая будет различной в рабочей зоне сепаратора, увеличиваясь по

направлению к полюсу магнитной системы, что обеспечивает быстрое притягивание металлических частиц. Теоретически сложно определить параметры магнитного поля, поэтому их лучше находить экспериментальным путём. Для этого теоретически исследована скорость изменения магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора в зависимости от степени неоднородности магнитного поля. В ходе исследования выявлено, что увеличение значения магнитной индукции не влияет на степень неоднородности магнитного поля. Установленная зависимость имеет практическое значение, с ее помощью в разработанной магнитной системе можно определить степень неоднородности. Для этого достаточно измерить магнитную индукцию на заданной расстоянии от полюса магнитной системы. Установленная зависимость подтверждена данными экспериментальных исследований. Результаты проведенных исследований показали, как можно предварительно оценить параметры магнитного поля, необходимые при разработке магнитной системы, в частности для электромагнитного сепаратора. Показана возможность оценки степени неоднородности магнитного поля, что важно для магнитных систем, использующих эти