

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ БЛОКА
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕШЕТ ЦЕНТРОБЕЖНО-РЕШЕТНОГО СЕПАРАТОРАTHE CALCULATION OF THE MAIN PARAMETERS AND OPERATING MODES
OF CYLINDRICAL SIEVE BLOCK OF A CENTRIFUGAL SIEVE SEPARATOR

Ключевые слова: зерновой материал, длинные примеси, мелкие примеси, центробежно-решетный сепаратор, цилиндрическое подсевное решето, цилиндрическое зерновое решето, колосовое решето, цилиндрическая щетка.

Центробежные сепараторы для очистки зерна находят применение в современных технологических линиях. Отечественный и зарубежный опыт применения центробежных сепараторов с горизонтальной и вертикальной осями вращения подтверждает перспективность их использования. Наиболее перспективным направлением является разработка центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения с цилиндрическими подсевным и зерновым решетами. Производительность таких сепараторов значительно выше, чем у плоскорешетных сепараторов. Отличительной особенностью этих машин является отсутствие вибрации, что в значительной мере обеспечивает их надежность в работе. Приведенные расчеты основных параметров решетного блока центробежно-решетного сепаратора позволяют оценить конструктивно-кинематические и энергетические характеристики. Расчеты показывают, что имеются еще пути

совершенствования разработанного способа сепарирования и самой конструкции сепаратора.

Keywords: grain material, long impurities, small impurities, centrifugal sieve separator, cylindrical seeding sieve, cylindrical grain sieve, ear sieve, cylindrical brush.

Centrifugal separators for grain cleaning are used in modern production lines. Domestic and foreign experience in the use of centrifugal separators with horizontal and vertical axes of rotation confirms the prospects of their use. The most promising direction is the development of centrifugal sieve separators with a vertical axis of rotation with cylindrical cleaning and grain sieves. The efficiency of such separators is significantly higher than that of flat-mesh separators. A distinctive feature of these machines is the absence of vibration which largely ensures their reliability in operation. The calculations of the main parameters of the sieve block of the centrifugal-sieve separator enable to evaluate the structural, kinematic and energy characteristics. The calculations show that there are still ways to improve the developed separation method and the separator design itself.

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 ДПО АИПКРС АПК, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: serrg333@mail.ru.

Щербаков Сергей Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: serch1995.ru@mail.ru.

Микитюк Максим Евгеньевич, аспирант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Rb25neo@mail.ru.

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

Lekanov Sergey Valeryevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai Institute of Professional Development of Managers and Specialists of Agricultural Industry Complex, Barnaul, Russian Federation, e-mail: serrg333@mail.ru.

Shcherbakov Sergey Sergeevich, post-graduate student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: serch1995.ru@mail.ru.

Mikityuk Maksim Yevgenyevich, post-graduate student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Rb25neo@mail.ru.

Введение

Центробежно-решетный сепаратор с подсевным и зерновым решетами может работать в режиме первичной очистки, а в сочетании с воздушным потоком и в режиме предварительной очистки. Отличительной особенностью сепаратора является высокая производитель-

ность и эффективность очистки зерна на этих режимах с использованием цилиндрических решет: подсевного – с прямоугольными (круглыми) отверстиями, зернового – с круглыми отверстиями.

Использование центробежных решет, обладающих большой удельной производи-

стью по сравнению с плоскими, наиболее перспективно, они хорошо компонуются с воздушными системами с кольцевыми каналами [4].

Процесс сепарации зерна по длине цилиндрическими решетками с круглыми отверстиями при ориентации зерен в активном слое – наиболее перспективный способ очистки зерна. Использование вибрации в рабочем процессе сепарации зерна усложняет конструкцию машины [1].

Используя поле центробежных сил, а также возможность самоориентации зерен в активном слое, открываются большие перспективы в вопросе интенсификации процесса сепарации зерна по длине цилиндрическими решетками [5, 6].

Основная часть

Проведем расчет основных параметров блока цилиндрических решет – подсевного и зернового.

Подсевное решето.

Исходные данные:

- рабочая высота решета – 0,5 м;
- диаметр решета – 0,6 м;
- общая толщина зернового слоя – 0,04 м;
- диаметр пластинчатого барабана – 0,52 м;
- толщина активного слоя с учетом того, что скорость скольжения зерна по решету была бы меньше критической, $h_a = 12$ мм;
- направление пластин барабана – радиальное;
- количество пластин $n = 45$ шт.

Вследствие относительного скольжения частиц в зерновом слое между пластинами барабана и в активном слое пористость сыпучего тела будет максимальной [2]. Для эффективно-го выделения мелких примесей из зернового материала высоту подсевного решета достаточно иметь 0,5 м, а диаметр отверстий решета $d_p = 3,6$ мм, с прямоугольными отверстиями – 2,0 мм.

Зерновое решето:

- рабочая высота решета – 0,65 м;
- диаметр решета – 0,6 м;

- диаметр отверстий решета $d_p = 5,25$ мм (первичная очистка), $d_p = 6,5$ мм (предварительная очистка);

- угол подъема винтовой спирали $\alpha = 10^\circ$, имеющая по высоте цилиндра два захода, а в нижней части – четыре захода;

- направление пластин барабана $\beta = 45^\circ$.

Для решетного блока принимаем окружную скорость цилиндрических решет $V_p = 3,25$ м/с, что соответствует $\omega = 10,8$ с⁻¹ и показателю кинематического режима $K_p = 3,59$, а соотношение угловых скоростей вращения барабана и решета, соответственно, $\frac{\omega_\delta}{\omega_p} = 0,5$.

В предлагаемой методике использованы формулы для расчета параметров, полученные Б.Т. Тарасовым [7].

Определяем скорость V_r скольжения зерна по рабочей поверхности цилиндрического решета и осевую составляющую этой скорости по формуле:

$$V_r = (\omega_p - \omega_\delta)R \frac{k_c \Phi}{\cos \alpha}, \quad (1)$$

где R – радиус цилиндра;

k_c – коэффициент, зависящий от толщины активного слоя, физико-механических свойств зерновой смеси и других факторов;

Φ – коэффициент скорости, определяемый аналитически.

При $k_c = 0,25$, $\Phi = 0,715$ и $\alpha = 10^\circ$ получим $V_r = 0,296$ м/с и $V_z = 0,0515$ м/с.

Определяем величину критической скорости $(V_r)_{кр}$ скольжения зерна по рабочей поверхности цилиндрического зернового решета по формуле:

$$(V_r)_{кр} = \left(d_p - \frac{\Delta}{2}\right) \sqrt{\frac{g}{\Delta} \frac{\sqrt{K_r}}{1 + \left(d_p - \frac{\Delta}{2}\right) \sqrt{\frac{1}{R\Delta} \cos \alpha}}}, \quad (2)$$

где Δ – ширина зерновки;

При $d_p = 5,25 \cdot 10^{-3}$ м, $\Delta = 0,0036$ м получим $(V_r)_{кр} = 0,311$ м/с.

Таким образом, $V_r < (V_r)_{кр}$. Необходимые условия для просеивания зерна пшеницы выполняются.

Определяем значение осевой скорости скольжения зерна по колосовому решету в конце цилиндра:

$$V_z^1 = \sqrt{V_{oz}^2 + 2gH_k(1 - fK_k)}, \quad (4)$$

где H_k – высота цилиндра колосового решета;

K_k – кинематический показатель режима работы колосового решета.

При $H_k = 0,61$, коэффициенте трения $f = 0,325$ и начальной скорости $V_{oz} = 0,1 \dots 0,3$ м/с получим $V_z^1 = 2,933 \dots 2,984$ м/с, что значительно превышает критическую скорость скольжения зерна по решету с круглыми отверстиями диаметром 10 мм. Поэтому гасители скорости должны быть установлены не только в начале колосового решета, но и в промежуточных точках по его высоте.

Определяем производительность сепаратора (по проходу) по формуле:

$$Q = 3,6K_{cn}\pi D\Delta V_z \gamma \frac{1 - C_0(1 - \xi)}{C_0(1 - \xi)} \left[1 - e^{-\frac{C_0(1 - \xi)H}{l_0 \sin \alpha}} \right] \text{ Т/ч}, \quad (5)$$

где $K_{cn} = 0,957$ – коэффициент, учитывающий перекрытие рабочей площади решета винтовой спиралью;

D – диаметр цилиндрического решета;

V_z – осевая скорость движения слоя зерна;

C_0 – содержание длинных примесей в исходном материале;

Δ – вес элементарного слоя, $\Delta = 2 \text{ кг/м}^2$;

γ – объемная масса проходной фракции;

ξ – коэффициент, учитывающий расслоение зерновой смеси, $\xi = 0,75$;

H – высота цилиндрического решета.

l_0 – средний путь скольжения зерна по решету от момента вступления его в контакт с решетом, до момента просеивания;

α – угол подъема винтовой спирали.

Определим величину l_0 по формуле:

$$l_0 = \frac{\pi d^2}{4\mu_0(d - d_0)}, \quad (6)$$

где d_0 – эффективный диаметр зерна, $d_0 = 4,4$ мм;

μ_0 – относительная живая площадь, $\mu_0 = 0,458 \text{ м}^2$.

При высоте рабочей части цилиндра $H=0,65$ м, $V_z = 0,0515$ м, $\xi = 0,75$, $\alpha = 10^\circ$, $l_0 = 0,07$ м получим $Q = 34,4$ Т/ч.

Используя полученную формулу, при различных значениях ξ , можно построить теоретические зависимости Q_F от исходной засоренности зернового материала.

Энергетические параметры работы сепаратора.

Мощность, необходимая для привода сепаратора при установившемся режиме:

$$N = N_{тр} + N_{кин} + N_{в.у.}, \quad (7)$$

где $N_{тр}$ – мощность, расходуемая на трение зерна о зерно в активном слое, о рабочую поверхность и в подшипниках, а также трение очистительных щеток о поверхность решета;

$N_{кин}$ – мощность, расходуемая на сообщение кинетической энергии;

$N_{в.у.}$ – мощность, расходуемая на выгрузное устройство.

Найдем каждую составляющую энергетических затрат.

Определяем мощность, расходуемую на трение зерна в активном слое и в подшипниках, по формуле:

$$N_{тр} = f m_1 F_p z \frac{(\omega_p R)^2}{R} \left(1 - \eta_k \frac{\omega_\xi}{\omega_p} \right) \frac{\cos \beta}{\eta_{д-р}}, \quad (8)$$

где f – коэффициент трения зерна о зерно;

m_1 – масса элементарного слоя, отнесенная к единице площади;

z – безразмерный параметр, равный отношению радиальной силы P давления зерновой смеси на частицу к центробежной силе инерции частицы (при вращении ее с угловой скоростью решета);

β – угол между направлением силы трения зерна о первый элементарный слой и горизонтальной плоскостью;

$\eta_{д-р}$ – КПД передачи от двигателя решету;

η_k – КПД замкнутого контура, по которому циркулирует мощность.

При $f = 0,7$, $m_1 = 2 \text{ кг/м}^2$, $F_p = 1,2 \text{ м}^2$,
 $\eta_k = \eta_{д-р} = 0,8$, $z = 3$, $\omega_p R = 3,25 \text{ м/с}$,
 $\frac{\omega_{\xi}}{\omega_p} = 0,5$ и $\cos\beta = 0,97$ получим
 $N_{тр} = 0,419 \text{ кВт}$.

Полагаем, что при выходе из сепаратора зерновой материал имеет скорость, равную окружной скорости решета $V_p = \omega_p R \text{ (м/с)}$, получим:

$$N_{кин} = m^I \frac{V_p^2}{2}, \quad (9)$$

где m^I – секундная масса зернового материала, поступившего в сепаратор.

Мощность $N_{в.у.}$, затрачиваемая на выгрузку зерна и отходов:

$$N_{в.у.} = \sum M_{тр} \cdot \omega_p, \quad (10)$$

Суммарная мощность составит менее 1,0 кВт.

Заключение

В настоящее время подавляющее большинство технологических операций очистки зерна

осуществляется с использованием плоскорешетных сепараторов. Значительная часть этих машин имеет несогласованные значения по производительности, повышенному расходу энергии и другим технико-экономическим показателям. Перспективным направлением процесса послеуборочной очистки зерна является использование в достаточной мере поля центробежных сил (центробежно-решетное сепарирование), а в сочетании с воздушным потоком возможности разработанного способа решетного сепарирования расширяются.

Проведенные расчеты основных конструктивно-кинематических параметров позволили обосновать новый способ сепарирования с использованием блока центробежных решет. Для интенсификации работы подсевного и зернового цилиндрических решет необходимо идти по пути усовершенствования конструкции этих решет и применения центробежно-воздушного сепарирования.

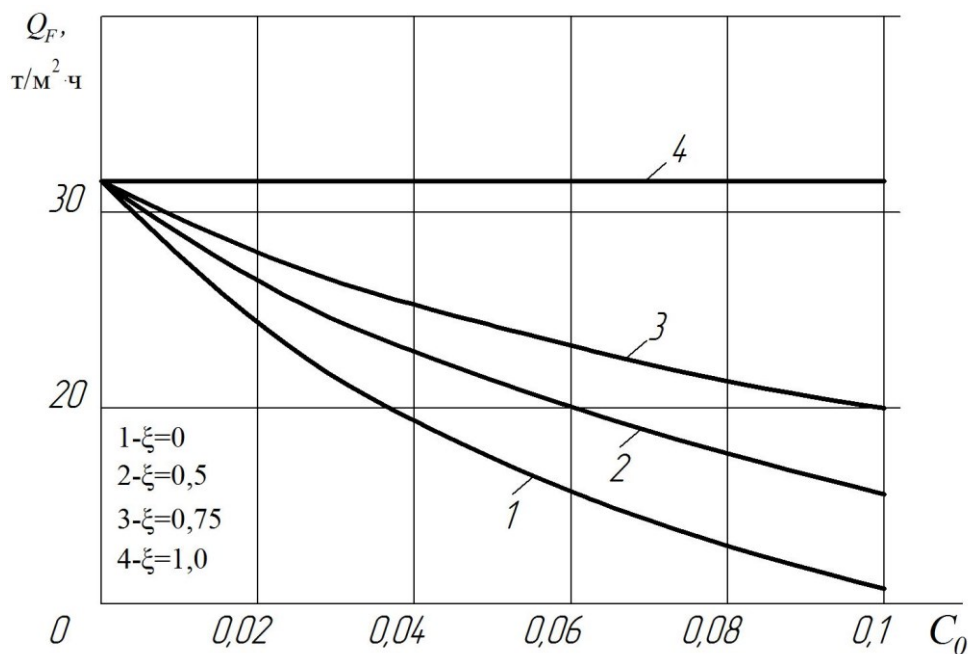


Рис. Изменение производительности сепаратора в зависимости от относительного объемного содержания сходовой фракции в исходном материале и коэффициента расслоения смеси

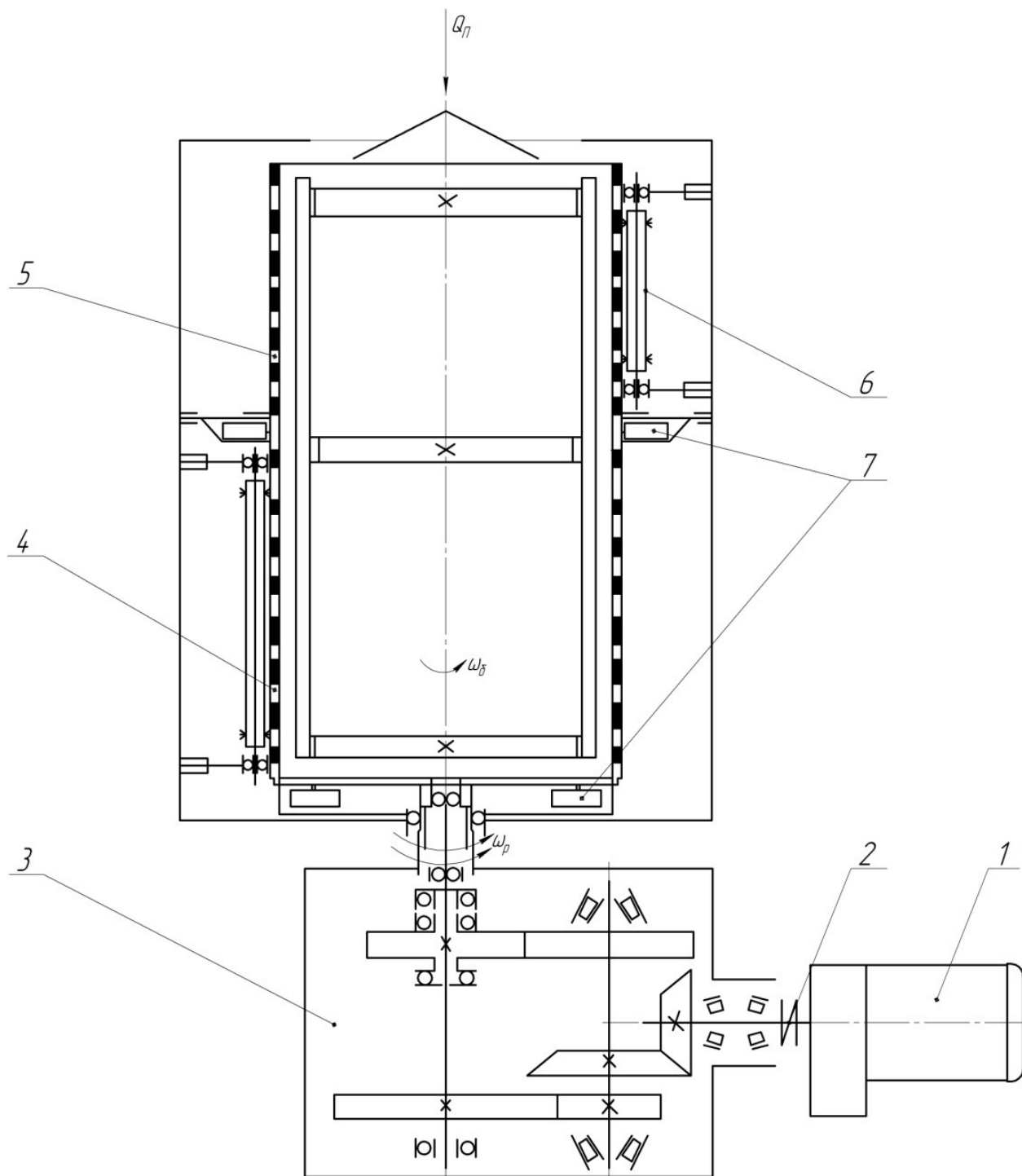


Рис. 2. Кинематическая схема привода блока цилиндрических решет:
 1 – мотор-редуктор; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – зерновой блок; 5 – подсевной блок;
 6 – цилиндрическая щетка; 7 – скребки

Библиографический список

1. А.с 506439 А1 СССР, В07В1/44. Вибро-центробежный зерновой сепаратор / Е. С. Гончаров. – № 1927690/28-13; заявл. 04.06.73: опубл. 15.03.76, Бюл. № 10. – 4 с. – Текст: непосредственный.

2. Гячев, А. В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / А. В. Гячев. – Москва: Машиностроение, 1968. – 184 с. – Текст: непосредственный.

3. Евграфов, В. А. Вероятностная оценка структуры дисперсной среды / В. А. Евграфов. – Текст: непосредственный // Инженерно-физический журнал. – 1964. – № 10. – С. 121-127.

4. Патент 2675607 В07В7/083. Центробежно-воздушный сепаратор / Леканов С. В., Стрикунов Н. И., Черкашин С. А. (РФ). – № 2017146182; заявл. 26.12.2017; опубл. 20.12.2018. – Текст: непосредственный.

5. Стрикунов, Н. И. Очистка зерна центробежно-решетным сепаратором с предварительной подготовкой на делительном решете автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01 / Стрикунов Н. И. – Новосибирск, 1989. 18 с. – Текст: непосредственный.

6. Стрикунов, Н. И. К вопросу разделения зерна по длине на цилиндрическом решете с внутренним пластинчатым барабаном / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов, Д. В. Степанец. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 11. – С. 482-485.

7. Тарасов, Б. Т. Исследование процесса сепарации зерна по длине вертикальными цилиндрическими решетками при ориентации зерен в активном слое: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тарасов Б. Т. – Барнаул, 1970. – 164 с. – Текст: непосредственный.

References

1. A.s 506439 A1 SSSR, V07V1/44. Vibrotsentrobezhnyy zernovoy separator / E.S. Goncharov, 1927690/28-13; заявл. 04.06.73; opubl. 15.03.76, Byul. No. 10. – 4 s.

2. Gyachev, A.V. Dvizhenie sypuchikh materialov v trubakh i bunkerakh / A.V. Gyachev. – Moskva: Mashinostroenie, 1968. – 184 s.

3. Evgrafov, V.A. Veroyatnostnaya otsenka struktury dispersnoy sredy / V.A. Evgrafov // Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. – 1964. – No. 10. – S. 121-127.

4. Pat. 2675607 V07V7/083. Tsentrobezhno-vozdushnyy separator / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov, S.A. Cherkashin (RF)-2017146182; заявл. 26.12.2017; opubl. 20.12.2018.

5. Strikunov, N.I. Ochistka zerna tsentrobezhno-reshetnym separatorom s predvaritelnoy podgotovkoy na delitelnom reshete: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Novosibirsk, 1989. – 18 s.

6. Strikunov, N.I. K voprosu razdeleniya zerna po dlina na tsilindricheskom reshete s vnutrennim plastinchatym barabanom / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, D.V. Stepanets // Molodoy uchenyy. – 2016. – No. 11. – S. 482-485.

7. Tarasov, B.T. Issledovanie protsessa separatsii zerna po dlina vertikalnymi tsilindricheskimi reshetami pri orientatsii zeren v aktivnom sloe: diss. ... kand. tekhn. nauk. – Barnaul, 1970. – 164 s.



УДК 631.362

М.Е. Микитюк, Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов, С.С. Щербаков
M.Ye. Mikityuk, N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, S.S. Shcherbakov

ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА ПО КОНИЧЕСКОЙ ОБЕЧАЙКЕ СО СТУПЕНЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

THE PARAMETERS OF GRAIN MOVEMENT ALONG A CONICAL SHELL WITH A STEPPED SURFACE

Ключевые слова: коническая обечайка, расслоение, мелкие примеси, длинные примеси, крупные примеси, делительное решето, питатель, центробежные силы.

Keywords: conical shell, delamination, fine impurities, long impurities, large impurities, dividing sieve, feeder, centrifugal forces.