

V.I. Belyaev, D.N. Pirozhkov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – No. 11 (181). – S. 144-149.

7. Belyaev, V.I. Otsenka tyagovykh energozatrat posevnogo kompleksa «Kuzbass» pri razlichnykh rabochikh skorostyakh dvizheniya /

V.I. Belyaev, D.A. Yakovlev // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (7-8 fevralya 2019 g.). – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2019. – Kn. 2. – S. 13-15.



УДК 631.362

Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов, С.С. Щербаков
N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, S.S. Shcherbakov

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНО-РЕШЕТНОГО СЕПАРАТОРА

KINEMATIC AND ENERGY CHARACTERISTICS OF A CENTRIFUGAL-SIEVE SEPARATOR

Ключевые слова: цилиндрическое решето, мощность, зерновая смесь, кинетическая энергия, вредные сопротивления, ворохоочиститель, зерновой блок, подсевной блок.

Способ сепарации, основанный на непрерывном скольжении зернового материала и при обеспечении полной загрузки решета, позволяет получить высокую удельную производительность, дает возможность настройки на оптимальный режим сепарации и активно управлять процессом. Для разделения зернового материала по длине возможно применение цилиндрических решет с круглыми отверстиями, что создает реальную возможность разработки высокопроизводительного центробежно-решетного сепаратора. Проведенные исследования в настоящей работе показывают, что в технологической схеме сепаратора

есть неиспользованные возможности для его совершенствования.

Keywords: cylindrical sieve, power, grain mixture, kinetic energy, harmful resistance, heap cleaner, grain block, cleaning screen.

The separation method based on the continuous sliding of the grain material provided full sieve load allows obtaining high specific output; it makes it possible to adjust to the optimal separation mode and actively control the process. To separate the grain material according to the length, it is possible to use cylindrical sieves with round holes and creates a real opportunity to develop a high-performance centrifugal-sieve separator. The studies show that the separator technological scheme has unused opportunities for its improvement.

Стрикунов Николай Иванович, к.т.н., доцент, каф. сельскохозяйственной техники и технологий, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-60. 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.

Щербаков Сергей Сергеевич, аспирант, каф. сельскохозяйственной техники и технологий, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: agau@asau.ru.

Strikunov Nikolay Ivanovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agricultural Machinery and Technologies, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-60. 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.

Shcherbakov Sergey Sergeevich, post-graduate student, Chair of Agricultural Machinery and Technologies, Altai State Agricultural University. E-mail: agau@asau.ru.

Введение

Использование традиционных рабочих органов для очистки зерна (плоскорешетные сепараторы с вертикальными пневмоканалами, триерами и др.) не решает проблемы существенного повышения производительности зерноочистительных машин. Поэтому надо изыскивать и применять новые принципы сепарирования, позволяющие за один пропуск через машину выделять большее количество примесей, а сами машины имели бы высокую производительность. Этим условиям удовлетворяют центробежно-решетные сепараторы, работающие в режиме овсюгоотборника или куколеотборника, а в сочетании с воздушным кольцевым каналом – в режиме ворохоочистителя [1-3]. Разработанные машины отличаются малыми габаритами и сравнительно большой производительностью. Отечественный и зарубежный опыт подтверждает перспективность использования центробежных сепараторов [4-7].

Цель работы – обосновать кинематические и мощностные параметры центробежно-решетного сепаратора.

Задачи исследований:

1) определить прочностные параметры цилиндрического решета при передаче крутящего момента;

2) установить параметры скольжения зерновой смеси по рабочей поверхности цилиндрического решета;

3) исследовать мощностные характеристики работы сепаратора.

Основная часть

В центробежно-решетном сепараторе вибрация отсутствует. Привод решета (или блока – подсевное и зерновое решета) осуществляется посредством цилиндрической обечайки, которая жестко связана с приводом от редуктора, имеющим два соосных выхода: один выход на пластинчатый барабан, а другой – на цилиндрическое решето (рис. 1).

Из рисунка 1 следует, что по внешнему контуру крутящий момент передается через решето. Поэтому конструктивно-кинематические параметры цилиндрического решета и пластинчатого барабана должны иметь значения, ранее обоснованные [8].

Для этого принимаем диаметр цилиндрического решета $D=600$ мм, наружный диаметр барабана $D_B=580$ мм, линейную скорость решета $V_P=\omega_P R=3,0-3,5$ м/с, что соответствует частоте вращения решета $\omega_P=10,0-11,6$ с⁻¹, а отношение угловых скоростей барабана и решета принимаем равным $\frac{\omega_B}{\omega_P}=0,5$.

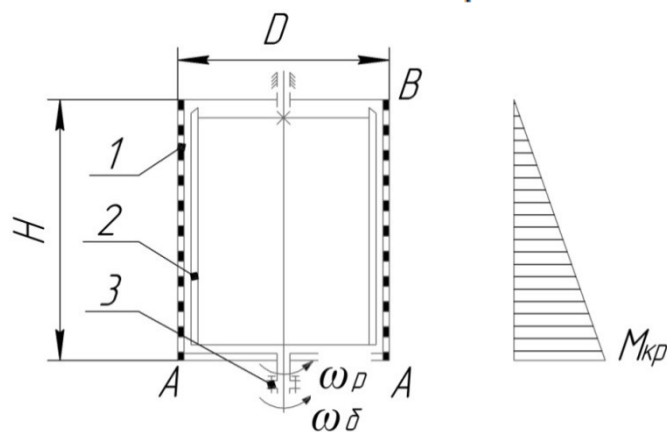


Рис. 1. Схема к определению прочностных параметров решета:
1 – цилиндрическое решето; 2 – пластинчатый барабан; 3 – привод сепаратора

Из рисунка 1 видно, что момент передается решетом по всей его площади, следовательно, оно нагружено крутящим моментом. Крутящий момент, передаваемый решетом, распределяется неравномерно по высоте цилиндра H , как показано на рисунке 1. Из эпюры видно, что максимальный момент приложен в зоне А, где решето крепится к цилиндрической обечайке. Поэтому опасным сечением следует считать сечение А-А, по которому и будем проводить проверочный расчет решета.

Условие прочности при кручении [9]:

$$\tau_k = \frac{M_{кр}}{W_0} \leq [\tau_k]. \quad (1)$$

Для определения W_0 необходимо рассмотреть расположение отверстий на решетке и определить, какую часть длины окружности занимают отверстия, а также перемычки. Отверстия на поверхности цилиндрического решета расположены таким образом, что две стороны шестиугольника перпендикулярны направлению линейной скорости решета. Этому положению можно дать объяснение. Когда две стороны шестиугольника перпендикулярны скорости движения смеси по решетку, производительность решета на 10% больше, чем в том случае, когда шестиугольник, образованный отверстиями, повернут на 90° .

В рассматриваемом случае угол между осевой скоростью и $\Delta V_{сл}^p$ (рис. 3) будет меньше 90° ($\alpha^I = 90^\circ - 12^\circ = 78^\circ$), но эта разность окажется меньше, чем если бы шестиугольник был повернут на 90° .

На рисунке 2 показано расположение отверстий на решетке.

По длине окружности цилиндра будет укладываться несколько участков t^I , сумма которых примерно равна $2\pi R$. Это не совсем точно, так как в действительности их может

уложиться не целое число раз. Это допущение $\sum t^I = 2\pi R$ не приведет к большой ошибке, а расчеты упростит.

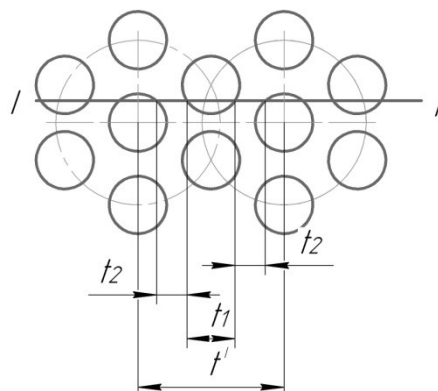


Рис. 2. Фрагмент размещения отверстий на решетке

Согласно рисунку 2 опасным сечением следует считать сечение I-I, где доля сплошных участков меньше, чем в других сечениях.

Определим, какую часть длины окружности L занимают сплошные участки по всей длине окружности в долях единицы.

$$L = 2\pi R = nt^I, \quad (2)$$

где n – число участков, укладываемых на длину окружности решета.

Общую длину сплошных участков можно определить:

$$L_{спл} = n \cdot 2t_2. \quad (3)$$

В действительности t_2 будет несколько больше, но это допущение упрощает расчеты:

$$\delta = \frac{L_{спл}}{L} = \frac{n \cdot 2t_2}{nt^I} = \frac{2t_2}{t^I}, \quad (4)$$

где $t^I = 2t_2 \sin 60^\circ = 12,8$ мм;

$t_2 = t - d_p = 2,15$ мм;

d_p – диаметр отверстий зернового решета $d_p = 5,25$ мм.

Получим $\delta = 0,33$.

$$W_0 = 0,2d_p^3(1 - e^4)\delta. \quad (5)$$

Расчеты показывают, что действующие напряжения небольшие, значит, решето

обеспечит надежную работу при передаче крутящего момента.

Мощность N , необходимая для работы сепаратора в установившемся режиме, представляет сумму мощностей:

$$N = N_{тр} + N_{кин} + N_{сопр}, \quad (6)$$

где $N_{тр}$ – мощность, расходуемая на трение зерна о зерно в активном слое, о рабочую поверхность решета;

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

$N_{сопр}$ – мощность, расходуемая на преодоление вредных сопротивлений: трение решета о наружную цилиндрическую щетку, трение в подшипнике скольжения, сопротивление воздуха.

Определим все составляющие энергетических затрат на работу сепаратора.

При вращении цилиндрического решета происходит проскальзывание слоев зерновой смеси, находящихся между решетом и пластинами барабана в результате разности их угловых скоростей. Рассмотрим кинематическую характеристику движения зерновой смеси (рис. 3).

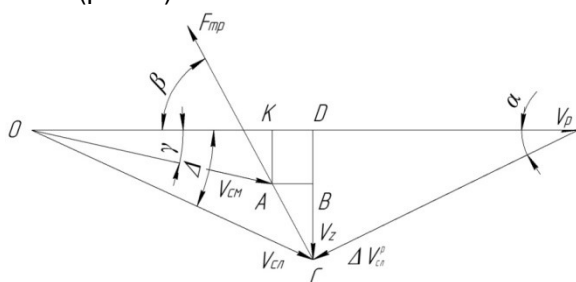


Рис. 3. Параметры скольжения зерновой смеси:

V_p – линейная скорость решета;

$V_{см}$ – скорость слоев смеси;

V_z – осевая составляющая скорости движения слоя; $\Delta V_{см}^p$ – относительная

скорость слоя; α – угол наклона спирали;

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

Слой смеси помимо радиального скольжения одновременно движется вниз, относительно контактирующего слоя, следовательно, сила трения ($F_{тр}$) будет направлена в противоположную сторону относительного скольжения под углом β к горизонту. Для определения $F_{тр}$ необходимо найти полную площадь решета S :

$$S = 2\pi RH, \quad (7)$$

где H – высота цилиндра.

Разложим силу трения на две составляющие $F_{тр}^{гор} = F_{тр} \cdot \cos\beta$ и $F_{тр}^{верт} = F_{тр} \cdot \sin\beta$.

Расчеты показывают, что значение угла β невелико и составляет примерно $\beta = 18^\circ$.

При определении горизонтальной составляющей силы трения $F_{тр}^{гор}$ примем $\beta = 0$. Это несколько увеличит значение $F_{тр}^{гор}$, но это увеличение пойдет на повышение запаса мощности привода. Найдем силу трения:

$$F_{тр}^{гор} = fzqK_p S, \quad (8)$$

где f – коэффициент трения;

z – безразмерный показатель, равный отношению радиальной силы давления зерновой смеси на частицу к центробежной силе инерции частицы (при вращении ее с угловой скоростью решета), $z=4$;

K_p – показатель кинематического режима решета;

$S=1,24 \text{ м}^2$ – полная площадь решета.

Момент трения:

$$M_{тр} = F_{тр} R, \quad (9)$$

где R – радиус цилиндрического решета.

При соотношении угловых скоростей решета и пластинчатого барабана $\frac{\omega_B}{\omega_p} = 0,5$ разница частот вращения составит $n = n_p - n_B$.

Тогда

$$N_{тр} = \frac{n \cdot M_{тр}}{975}. \quad (10)$$

Мощность, расходуемую на сообщение кинетической энергии обрабатываемому зерну, определим по формуле:

$$N_{\text{кин}} = \frac{QV_p^2}{3,6 \cdot q \cdot 2 \cdot 10^2}, \quad (11)$$

где Q – производительность сепаратора, т/ч;

V_p – линейная скорость решета, м/ч.

Мощность, затрачиваемую на преодоление вредных сопротивлений, можно учесть увеличением полной мощности на 20-30%.

Расчеты показывают, что наибольшая доля энергии затрачивается на транспортирование зерна по рабочей поверхности решета и преодоление сил трения зерна о зерно в активном слое.

Проведенными экспериментальными исследованиями ставилась задача – определить фактические затраты мощности на работу центробежно-решетного сепаратора.

Приводим графические зависимости изменения мощности в зависимости от линейной скорости решета V_p (рис. 4).

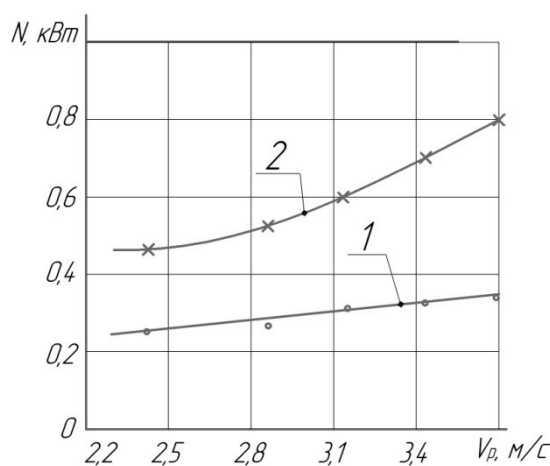


Рис. 4. Изменение энергетических затрат в зависимости от скорости решета:
1 – мощность холостого хода при изменении V_p ; 2 – энергозатраты на работу сепаратора при диаметре отверстий решета $d_p=5,25$ мм

С увеличением V_p мощность холостого хода $N_{\text{хх}}$ повышается по линейной зависимости. В исследуемом диапазоне по скорости решета ($V_p=2,450-3,708$ м/с) это изменение невелико. При работе сепаратора в режиме овсюгоотборника ($d_p=5,25$ мм) с увеличением V_p мощность возрастает.

При работе сепаратора в режиме ворохоочистителя, имеющего подсевной и зерновой блоки цилиндрических решет, затраты мощности возрастут за счет применения скребковой транспортирующей системы вывода отходов и очищенного зерна. Это увеличение можно считать небольшим. Основной прирост энергетических затрат даст первая составляющая формулы (6).

Следует отметить, что энергозатраты на обработку одной тонны зерна при известных параметрах сепаратора могут быть несколько снижены, если его изготавливать в промышленных условиях.

Заключение

Исследованиями показано, что осуществление процесса сепарации без колебательных движений решета повышает надежность работы сепаратора. Определенные конструктивно-кинематические параметры центробежно-решетного сепаратора, его прочностные характеристики полностью обеспечивают технологическую работоспособность машины.

Проведенные теоретические расчеты энергетических характеристик сепаратора подтверждены экспериментальными исследованиями.

Разработанное решетное устройство показывает на практическую возможность и целесообразность разделения зерновых смесей по длине на решетках с круглыми отверстиями.

Библиографический список

1. Тарасов, Б. Т. Факторы, определяющие производительность цилиндрического решетчатого сепаратора-овсюгоотборника / Б. Т. Тарасов. – Текст: непосредственный // Механизация сельскохозяйственного производства: труды Алтайского с.-х. ин-та. – Барнаул, 1974. – С. 148-162.
2. Тарасов, Б. Т. Обоснование технологической схемы центробежно-решетчатого сепаратора / Б. Т. Тарасов, Н. И. Стрикунов. – Текст: непосредственный // Совершенствование технологических процессов и машин при уборке зерновых культур в Западной Сибири: сборник научных трудов / Алт. с.-х. ин-т. – Барнаул, 1987. – С. 34-48.
3. 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.
4. А.с. 1355298 СССР В 07 В 1/06. Центробежно-решетчатый сепаратор / Н.И. Стрикунов, А.И. Климок, Б.Т. Тарасов. – № 4083233/29-03; заявл. 16.04.86; опубл. 30.11.87, Бюл. № 44.
5. Гончаров, Е. С. Механико-технологическое обоснование и разработка универсальных виброцентробежных зерновых сепараторов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Е. С. Гончаров; ВИМ. – Москва, 1986. – 34 с. – Текст: непосредственный.
6. Stepanenko, S.P. Research pneumatic gravity separation grain materials. International Scientific Journal. Mechanization in Agriculture, Conserving of the Resources. Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry - 4.0 Bulgarian Association of Mechanization in Agriculture. Issue 2. Bulgarian. - 2017. S. 54-56.
7. Паламарчук, І. П. Розвиток конструктивних схем вібровідцентрових схем технологічних машин для реалізації процесів механічної обробки сільськогосподарської сировини / І. П. Паламарчук, І. Г. Липовий, В. П. Янович. – Текст: непосредственный // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 2 (54). – С. 105-115.
8. Стрикунов, Н. И. Обоснование основных параметров пластинчатого барабана центробежно-решетчатого сепаратора / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов, С. А. Черкашин. – Текст: непосредственный // Вестник ВСГУТУ. – 2017. – № 2 (65). – С. 47-51.
9. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 2 томах / под редакцией А. В. Красниченко. – Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1961. – Т. 2. – 862 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Tarasov, B.T. Faktory, opredelyayushchie proizvoditelnost tsilindricheskogo reshetnogo separatora-ovsyugootbornika / B.T. Tarasov // Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva: Tr. Altayskogo s.-kh. in-t. – Barnaul, 1974. – S. 148-162.
2. Tarasov, B.T. Obosnovanie tekhnologicheskoy skhemy tsentrobezchno-reshetnogo separatora / B.T. Tarasov, N.I. Strikunov // Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov i mashin pri uborke zernovykh kultur v Zapadnoy Sibiri: sb. nauch. tr. / Alt. s.-kh. in-t. – Barnaul, 1987. – S. 34-48.
3. Strikunov, N.I. Obosnovanie parametrov koltsevogo kanala vykhoda ochishchennogo zerna tsentrobezchnogo vozdušnogo separatora / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, S.A. Cherkashin // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo

agramogo universiteta. – 2018. – No. 4 (162). – S. 168-172.

4. A.s. 1355298 SSSR V 07 V 1/06. Tsentrobezchno-reshetnyy separator / N.I. Strikunov, A.I. Klimok, B.T. Tarasov. – No. 4083233/29-03; zayavl. 16.04.86; opubl. 30.11.87, Byul. No. 44.

5. Goncharov, E.S. Mekhaniko-tekhnologicheskoe obosnovanie i razrabotka universalnykh vibrotsentrobezhnykh zernovykh separatorov: avtoref. diss... d-ra tekhn. nauk / VIM. – Moskva, 1986. – 34 s.

6. Stepanenko, S.P. Research pneumatic gravity separation grain materials. International Scientific Journal. Mechanization in Agriculture, Conserving of the Resources. Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry - 4.0 Bulgarian Association of Mechanization in Agriculture. Issue 2. Bulgarian. - 2017. S. 54-56.

7. Palamarchuk I.P. Rozvitok konstruktivnykh skhem vibrovidtsentrovnykh skhem tekhnologichnykh mashin dlya realizatsii protsesiv mekhanichnoy obrobki silskogogospodarskoy sirovini / I.P. Palamarchuk, I.G. Lipoviy, V.P. Yanovich // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. – 2009. – No. 2 (54). – S. 105-115.

8. Strikunov, N.I. Obosnovanie osnovnykh parametrov plastinchatogo barabana tsentrobezchno-reshetnogo separatora / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, S.A. Cherkashin // Vestnik VSGUTU. – 2017. – No. 2 (65). – S. 47-51.

9. Spravochnik konstruktora selskokhozyaystvennykh mashin: v 2-kh tomakh / pod red. A.V. Krasnichenko. – Moskva: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoy literatury, 1961. – T. 2. – 862 s.



УДК 631.362

С.С. Щербаков, С.В. Леканов, Н.И. Стрикунов
S.S. Shcherbakov, S.V. Lekanov, N.I. Strikunov

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА САМОСОРТИРОВАНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

THE STUDY OF THE PROCESS OF GRAIN MATERIAL SELF-GRADING

Ключевые слова: самосортирование, сыпучее тело, глубина погружения, путь скольжения частиц, пшено, дробь, зерновой слой, активный слой.

При механизированной уборке кроме зерна, основной культуры, в ворохе имеются различные засорители (мелкие и крупные), а также зерна в пленке, дробленые, травмированные и щуплые. Такой состав исходного материала, как правило, поступает в завальные ямы приемных отделений зерноочистительно-сушильных комплектов. Уже на этом этапе возникают процессы самосортирования при движении зернового материала по откосам завальной ямы. Наибольший интерес процесса самосортирования представляет при сепарации сыпучих зерновых материалов на различных рабочих поверхностях зер-

ноочистительных машин. Проведенный анализ уже имеющихся исследований показывает, что совершенствование технологического процесса центробежных подсевных решет при выделении мелких примесей следует вести в направлении интенсификации двухстадийной модели сепарирования сыпучих материалов.

Keywords: self-grading, granular material, submersion depth, particle gliding path, millet, grain, grain layer, active layer.

During mechanized harvesting, in addition to the grain of the main crop, the heap contains various foreign particles (small and large) as well as unthreshed, crushed, injured and thin grain. The source material of