

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.362

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-241-11-61-65

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

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

## К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНОВОГО РЕШЕТА ЦЕНТРОБЕЖНО-РЕШЕТНОГО СЕПАРАТОРА ПРИ РАБОТЕ В РЕЖИМЕ ОВСЮГООТБОРНИКА

### ON SUBSTANTIATION THE PARAMETERS OF GRAIN SCREEN OF CENTRIFUGAL-SIEVE SEPARATOR WHEN OPERATING IN WILD-OAT SEPARATOR MODE

**Ключевые слова:** зерновая смесь, длинные при-  
меси, овсюг, винтовая спираль, зерновое решето,  
пластинчатый барабан, кольцевая щетка, кинемати-  
ческий режим работы решета.

В технологических линиях мехтоков используемые сепараторы с плоскими решетками и пробивными калибрующими отверстиями, а также цилиндрические триеры с ячеистой поверхностью в своём развитии достигли предельных возможностей. На это указывает большое количество научных исследований в области сепарирования зерна. Надо признать, что одним из перспективных направлений исследований и практическое создание машин для очистки зерна является центробежно-решетное сепарирование. Применение центробежных сил при обеспечении непрерывного скольжения зернового материала и полной загрузки рабочей поверхности решета является перспективным способом сепарирования. Удельная производительность центробежного цилиндрического зернового решета в 2,7-3,0 раза выше, чем колеблющегося плоского. Высокая производительность центробежно-решетных сепараторов и соответствующая нормам эффективность очистки обеспечиваются комплексным использованием всех компонентов инерционно-гравитационного поля и рациональной конструкцией рабочих органов. Основной отличительной особенностью сепаратора является отсутствие колеблющихся рабочих органов и не подверженных вибрации. В этом сепараторе используются принципиально новые рабочие органы, позволяющие перенастраивать технологические схемы работы. Центробежно-решетный сепаратор, работающий в режиме овсюгоотборника, может использоваться в поточных линиях для обработки продовольственного зерна вместо триерных блоков с ячеистыми рабочими поверхно-

стями. Дальнейшие исследования целесообразно вести в направлении совершенствования рабочего процесса, основанного на данном принципе сепарации и совместить работу цилиндрического зернового решета и воздушного потока. Вышеуказанные технические и технологические решения частично реализованы в предлагаемом центробежно-решетном сепараторе. При изготовлении сепаратора на специализированном предприятии можно повысить качество исполнения спирали, её крепление к сепарирующей поверхности цилиндрического решета, а также выполнить все рекомендации по работе кольцевой щетки.

**Keywords:** grain mixture, long impurities, wild oat, screw spiral, grain screen, plate drum, ring brush, kinematic mode of sieve operation.

In the technological lines of mechanized threshing floors, the existing separators with flat screens and punched calibration holes as well as indented cylinders with cellular surfaces reached the limit of their development. This is shown by a large number of scientific studies in the field of grain separation. One of the promising areas of research and practical development of grain cleaning equipment is centrifugal-screen separation. The use of centrifugal forces while ensuring continuous sliding of the grain material and full loading of the working surface of the screen is a promising method of separation. The specific output of a centrifugal cylindrical grain screen is 2.7...3.0 times higher than that of an oscillating flat screen. High output of centrifugal-screen separators and the cleaning efficiency that meets the standards are ensured by the integrated use of all components of the inertial-gravitational field and the rational design of the working bodies. The main distinguishing feature of the separator is the absence

of oscillating working bodies that are not subject to vibration. This separator uses fundamentally new working elements enabling to reconfigure technological schemes of operation. The centrifugal-sieve separator operating in the wild-oat separator mode may be used in flow lines for handling food grain instead of indented blocks with cellular working surfaces. It is advisable to conduct further research in the direction of improving the operation based on this separation principle and to combine the operation of

the cylindrical grain sieve and the air flow. The above technical and technological solutions are partially implemented in the proposed centrifugal-sieve separator. When manufacturing the separator at a specialized enterprise, it is possible to improve the quality of the spiral, its fastening to the separating surface of the cylindrical sieve, and also to fulfill all recommendations for the operation of the ring brush.

**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.

**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.

### Введение

В послеуборочной обработке зерна в основном применяются рабочие органы, разделяющие зерновую смесь по линейным размерам и аэродинамическим свойствам. Наибольший интерес представляет процесс разделения зерновых частиц по длине.

В настоящее время разделение по длине осуществляется в основном на ячеистых триерах [1]. Многочисленные исследования триеров с ячеистой поверхностью и триеров других типов показали, что существенно повысить их удельную производительность не представляется возможным и резервы повышения этого параметра практически исчерпаны [2, 3]. Отсюда следует, что требуется научный поиск новых способов разделения зерновой смеси по длине, поэтому можно сделать следующие выводы и обозначить требования к устройству для разделения зерна по длине [4]:

- принципы разделения зерновой смеси по длине ячеистыми поверхностями исчерпали себя;
- применение круглых отверстий при обеспечении нормальной ориентации (когда частицы уложены «плашмя» на решето, то есть длинной осью параллельно плоскости решета) длинных частиц [5];
- для интенсификации процесса сепарации необходимо обеспечить применение центробежных сил в более широких интервалах, но без вибрации [6];
- для повышения производительности цилиндрического решета с круглыми отверстиями

необходимо обеспечить полную загрузку решета по всей поверхности;

- обеспечить скольжение частиц относительно сепарирующей поверхности решета;
- обеспечить быстрый подвод зерновых частиц на место прошедших в отверстия решета;
- обеспечить быстрый отвод сходовой фракции (длинных частиц).

Особую сложность представляет последнее требование.

**Целью** работы является обоснование параметров транспортирующего устройства для удаления длинных примесей с поверхности решета.

#### Задачи исследования:

- обосновать оптимальный угол наклона транспортирующей винтовой спирали по всей высоте цилиндрического решета;
- определить высоту кольцевой щётки, обеспечивающую эффективную её работу.

### Основная часть

Проведенные многочисленные исследования в области центробежно-решетной сепарации позволили разработать сепаратор для разделения зерновой смеси по длине частиц. Сепаратор включает в себя цилиндрическое решето 1 и внутренний пластинчатый барабан 2, которые вращаются вокруг вертикальной оси в одном направлении с различными скоростями. К внутренней поверхности цилиндрического решета жестко крепится по винтовой линии спираль 3, выполненная из проволоки диаметром 4 мм, а в нижней части пластинчатого барабана – кольцевая щётка 4 (рис. 1).

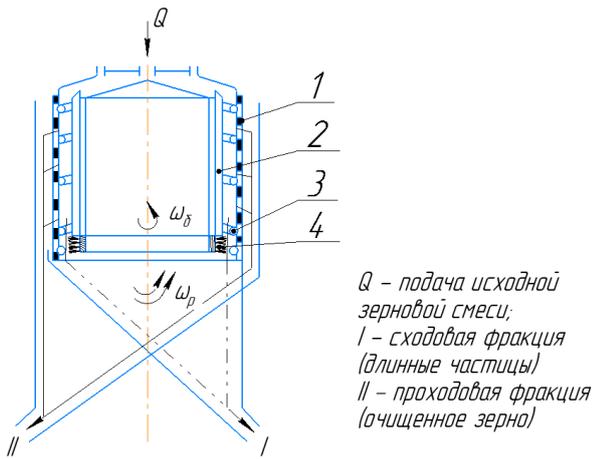


Рис. 1. Схема технологического процесса работы сепаратора

Рабочий процесс протекает следующим образом. Зерновая смесь поступает в активный кольцевой слой между пластинами барабана и решетом и, вследствие различных их скоростей вращения, скользит по решетку. Между концами пластин барабана и решетом образуется активный слой, в котором под действием сил трения данные частицы располагаются по линии наименьшего сопротивления, укладываясь «плашмя» на решето [7].

При скольжении зерновой смеси по решетку проходовая фракция (пшеница) просеивается через отверстия. В контактирующем с решетом элементарном слое (толщиной в одно зерно) непрерывно накапливается сходовая фракция (овсюг), которая спиралью «подрезается» и выводится из-под общего зернового слоя, проталкивается в зазор между решетом и кольцевой щёткой и выбрасывается в приемник. При движении зернового материала в этом зазоре происходит окончательное выделение проходовой фракции.

Как указывалось выше, непрерывно накапливающийся слой сходовой фракции (овсюг) подрезается спиралью и выводится из-под общего зернового слоя.

Производительность цилиндрического решета зависит от интенсивности его очистки от сходовой фракции.

Б.Т. Тарасовым была получена формула удельной производительности решета.

$$Q = 2\pi R \rho_{см} V_z X_{cp} \sin \alpha \quad (1)$$

где R – радиус цилиндрического решета, м;

$\rho_{см}$  – вес элементарного слоя зёрен на единице площади решета,  $\frac{кг}{м^2}$ ;

$V_z$  – вертикальная составляющая скорости скольжения зерна относительно решета,  $\frac{м}{с}$ ;

z – длина спирали, м;

$X_{cp}$  – средний путь скольжения зерна по решетку от момента соприкосновения с поверхностью решета до просеивания, м.

Из формулы (1) следует, что производительность решета прямо пропорциональна  $V_z$ , а эта величина зависит от угла наклона спирали  $\alpha$ .

При известных значениях угловой скорости решета и радиуса цилиндра определим показатель кинематического режима решета:

$$K_p = \frac{\omega_p R}{g} \quad (2)$$

где  $\omega_p$  – угловая скорость решета,  $с^{-1}$ ;

g – ускорение свободного падения,  $\frac{м}{с^2}$ ;

R = 0,3 м.

Принимаем значение  $K_p = 3,5$ , которое обеспечит работоспособность цилиндрического решета.

При выборе оптимального угла наклона спирали использовали зависимость  $\frac{1}{\omega_p R} \cdot V_z = f(\alpha)$ .

Эта зависимость получила экспериментальное подтверждение на макетном образце сепаратора. Установлено, что угол  $\alpha$  должен иметь значение  $6 < \alpha < 15^\circ$ . Максимальная удельная производительность в экспериментах была получена при  $\alpha = 11^\circ 20'$ .

Определена зависимость этого параметра от линейной скорости решета при постоянном отношении  $\frac{\omega_\delta}{\omega_p} = 0,5$ .

В опытах были приняты следующие скорости:

$V_p = 2,450; 2,889; 3,267; 3,516; 3,708$  м/с.

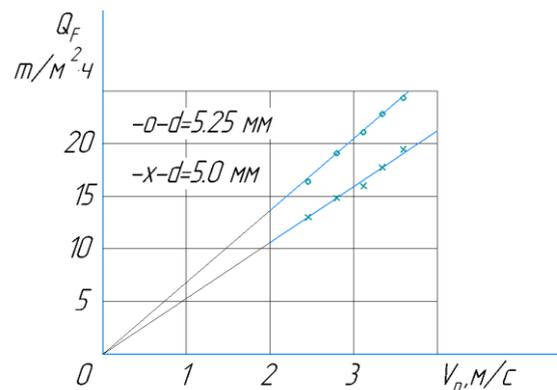


Рис. 2. Изменение удельной производительности в зависимости от скорости цилиндрического решета при  $C_\sigma = 0$

При исходной зависимости  $C_0 = 0$  зависимость  $Q_F = f(V_p)$  имеет линейный характер. Значит, при заданном отношении  $\frac{\omega_6}{\omega_p}$  величина  $Q_F$  тем больше, чем больше скорость решета.

Приведенная выше формула удельной производительности не учитывает перекрытия части рабочих отверстий решета винтовой спиралью. Так как перекрытые отверстия выключаются из работы, то производительность решета будет ниже. С уменьшением угла подъема спирали будет уменьшаться и фактическая рабочая площадь решета. Допустим, что на развертке решета уложена спираль, которая состоит из  $n$  заходов под углом  $\alpha$  к горизонту. Толщина спиральной проволоки  $b_n$  примерно равна среднему диаметру зерна.

Тогда ширина перекрываемой спиралью полосы равна:

$$b_n = \frac{b_n}{\sin \alpha} \quad (3)$$

Учитывая это, можно подсчитать фактическую рабочую ширину решета:

$$s_p = (nD \cdot b_n n_{зах}) = nD \left( 1 - \frac{b_n n_{зах}}{\sin \alpha} \right) \quad (4)$$

где  $n_{зах}$  – число заходов винтовой спирали.

Обозначив выражение в скобках через  $K_{сп}$ , подставим численные значения величин  $\alpha = 11^\circ$ ,  $n_{зах} = 2$  и  $b_n = 0,004$  м, получим  $K_{сп} = 0,95$  (коэффициент, учитывающий перекрытие рабочей площади решета винтовой спиралью).

Немаловажное значение имеют обработка спирали, её укладка и крепление к цилиндру решета.

Эксперименты также показали, что на участке входа спирали под щетку угол  $\alpha_1$  должен быть меньше  $9^\circ$ . При  $\alpha_1 > 9^\circ$  ( $\alpha_1$  – угол наклона спирали на участке действия кольцевой щетки) сумма сил трения о решето и спираль становится больше сил трения ворса щетки о зерно, и процесс транспортирования прекращается.

В дальнейших расчетах угол  $\alpha_1$  в месте захода под щетку нужно принимать  $\alpha_1 = 6^\circ$ . Следовательно, необходимо определить параметры кольцевой щетки, предназначенной для вывода сходовой фракции с решета и обеспечения полного выделения зерна, попавшего в сходовую фракцию при его прохождении в зазоре  $\Delta$  между решетом и щеткой. Определяющим параметром в этом процессе является высота кольцевой щетки.

Определение высоты щетки будем вести из условия полноты выделения проходовой фракции:

$$\varepsilon = 1 - \varepsilon_{сп} \cdot \sin^2 \alpha_1 \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  – полнота выделения зерна при прохождении его под щеткой;

$h$  – высота щетки;

$\alpha_1$  – угол наклона спирали под щеткой.

Задаваясь полнотой выделения  $\varepsilon$ , найдем из выражения (5) высоту щетки.

$$h = X_{сп} \cdot \sin^2 \alpha_1 \cdot \frac{1}{1 - \varepsilon} \quad (6)$$

Экспериментальными исследованиями установлено, что выполнение качественной работы происходит при высоте щетки  $h = 45-50$  мм, а для лучшего захвата семян овсяга спиралью в начальной зоне действия щетки необходимо иметь фаску ворса щетки, как показано на рисунке 3.

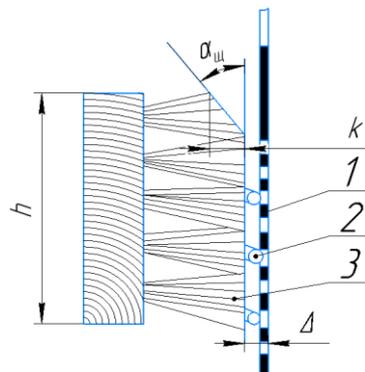


Рис. 3. Схема к определению параметров кольцевой щетки:

- 1 – цилиндрическое зерновое решето;
- 2 – транспортирующая спираль;
- 3 – кольцевая щетка

Катет  $K$  выполненной на ворсе щетки фаски должен быть несколько больше ширины захватываемого зерна спиралью. Принимаем угол  $\alpha_{щ} = 30-45^\circ$  (не больше угла трения зерна о щетку).

### Заключение

1. Существует большая потребность в технологических линиях послеуборочной обработки зерна в высокопроизводительных и компактных рабочих органах для эффективного разделения зерновой смеси по длине частиц.

2. Удельная производительность существующих триеров с ячеистой рабочей поверхностью имеет низкие технологические значения, а существенно интенсифицировать работу ячейки не представляется возможным, поэтому встает

вопрос об изыскании новых способов разделения зерна по длине.

3. Исследования показали практическую важность применения цилиндрического решета с круглыми отверстиями для выделения длинных примесей. Для интенсификации работы решет в полной мере необходимо применять центробежные силы.

4. Проведенные исследования подтвердили высокую удельную производительность центробежных решет с круглыми отверстиями (в 5-20 раз большую, чем у ячеистых триеров). Необходимо в этом направлении проводить исследования, связанные с повышением полноты выделения длинных примесей, сопоставимой с полнотой выделения на ячеистых триерах.

5. В предлагаемом центробежно-решетном сепараторе, работающем в режиме овсюгоотборника, для улучшения работы решета необходимо провести исследования с применением гонков вместо спирали, предусмотреть корректирующую очистку зерна прохода на участках перед кольцевой щеткой и самой щетки.

#### Библиографический список

1. Леканов, С. В. Техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян: рекомендации / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов. – Барнаул: Изд-во Алт. ИПК АПК, 2019. – 74 с. – Текст: непосредственный.

2. Тарасов, Б. Т. Исследование процесса сепарации зерна по длине вертикальными цилиндрическими решетками при ориентации зерна в активном слое: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тарасов Борис Трофимович. – Барнаул, 1970. – 209 с. – Текст: непосредственный.

3. Тарасов Б. Т. Факторы, определяющие производительность цилиндрического решетного сепаратора – овсюгоотборника // Механизация сельскохозяйственного производства: труды Алтайского сельскохозяйственного института. – Барнаул, 1974. – С. 148-162.

4. А. с. 239703 СССР, МКИ<sup>2</sup> А 01 7/44, В07В. 17/50. Машина для разделения зерновой смеси по размеру / Б. Т. Тарасов (СССР). – Текст: непосредственный // Открытия. Изобретения. – 1969. – № 11. – С. 123.

5. А. с. 1355298 СССР, МКИ<sup>4</sup> В07 В 1/06. Центробежно-решетный сепаратор / Н. И. Стрикунов, А. И. Климок, Б. Т. Тарасов (СССР). –

Текст: непосредственный // Открытия. Изобретения. – 1987. – № 44. – С. 30.

6. Стрикунов, Н. И. Эффективность работы центробежно-решетного сепаратора с предварительной подготовкой зернового материала / Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов. – Текст: непосредственный // Технологии и комплексы машин для уборки зерновых и семенников трав в Сибири: сборник научных трудов / ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1989. – С. 60-67.

7. Евграфов, В. А. Вероятностная оценка структуры дисперсной среды / В. А. Евграфов // Инженерно-физический журнал. – Москва, 1962. – № 10. – С. 121.

#### References

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

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

3. Tarasov B.T. Faktory, opredeliaiushchie proizvoditel'nost tsilindricheskogo reshetnogo separatora-ovsiugootbornika // Mekhanizatsiia selskokhoziaistvennogo proizvodstva: Tr. / Altaiskii s.-kh. in-t. – Barnaul, 1974. – S. 148-162.

4. A.s. 239703 SSSR, MKI2A01 7/44, V07V. 17/50. Mashina dlia razdeleniia zernovoi smesi po razmeru, B. T. Tarasov (SSSR). – 824077/30-15; zaiavleno 9.03.63; opubl. 18.03.69. – Biul. No. 11 // Otkrytiia. Izobreteniiia. – 1969. – No. 11. – 123 s.

5. A.s. 1355298 SSSR, MKI4 V07V 1/06. Tsentrobezhno-reshetnyi separator / N.I. Strikunov, A.I. Klimok, B.T. Tarasov (SSSR). – 4083233 / 29-03; Zaiavleno 16.04.86; opubl. 30.11.87, Biul. No. 44 // Otkrytiia. Izobriteniia. – 1987. – No. 44. – S. 30.

6. Strikunov N.I. Effektivnost raboty tsentrobezhno-reshetnogo separatora s predvaritelnoi podgotovkoi zernovogo materiala / N.I. Strikunov, B.T. Tarasov // Tekhnologii i kompleksy mashin dlia uborki zernovykh i semennikov trav v Sibiri: sbornik nauchnykh trudov VASKhNIL, Sib. otd-nie. – Novosibirsk, 1989. – S. 60-67.

7. Evgrafov V.A. Veroiatnostnaia otsenka struktury dispersnoi sredy // Inzhenerno-fizicheskii zhurnal. – 1962. – No. 10. – S. 121.

