

## О ПЕРСПЕКТИВНОМ НАПРАВЛЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНА ПО ДЛИНЕ

## ON A PROMISING DIRECTION OF RESEARCH OF GRAIN SEPARATION BY LENGTH

**Ключевые слова:** зерновой материал, длинные примеси, центробежно-решетное сепарирование, цилиндрическое зерновое решето, цилиндрическое подсевное решето, полнота выделения, длинная фракция, короткая фракция.

Сепарирование зерновых материалов является одной из важнейших инженерных задач в сельскохозяйственном производстве. Технологический процесс сепарирования реализуется в основном сепараторами с плоской колеблющейся разделительной поверхностью. Благодаря многочисленным научно-исследовательским и конструкторским работам эти устройства достигли своих предельных возможностей. Существенно интенсифицировать рабочий процесс не удастся также и у триеров с ячеистой рабочей поверхностью для разделения зерна по длине. Для повышения эффективности очистки, удельной производительности, упрощения конструкции (отказ от вибрационных нагрузок в рабочем процессе), возможности блочно-модульного исполнения нужны принципиально новые технические решения. Этим требованиям могут соответствовать центробежно-решетные сепараторы с использованием сложного инерционно-гравитационного поля. Новый способ разделения зерновых частиц, разработанный Б.Т. Тарасовым, позволяет в достаточной мере использовать центробежные силы, что имеет значительно большую удельную производительность, чем у ячеистых триеров. Сопоставительный анализ полноты выделения длинных примесей, разработанного способа сепарирования с существующими триерами с ячеистой поверхностью показывает, что показатель полноты выделения длинных примесей несколько ниже. Однако предложенные способы интенсификации рабочего процесса центробежно-решетного сепарирования позволяют значительно повысить полноту выделения длинных примесей и приблизиться по качеству к работе цилиндрического ячеистого триера. Это показывает целесообразность дальнейшего исследования этого способа разделения и тщательной конструкторской проработки. В настоящее время проводятся работы по внедрению разработанного способа сепарирования в стационарные тех-

нологические линии, а также в мобильные зерноочистительные агрегаты и патентуются, поэтому это направление исследований имеет реальную перспективу.

**Keywords:** grain material, long impurities, centrifugal-sieve separation, cylindrical grain sieve, cylindrical cleaning screen, separation completeness, long fraction, short fraction.

Separation of grain materials is one of the most important engineering tasks in agricultural production. The technological process of separation is implemented mainly by separators with a flat oscillating separating surface. Due to numerous research and design works, these devices have reached their maximum capabilities. It is also not possible to significantly intensify the working process using trieurs with a cellular working surface for separating grain by length. Fundamentally new technical solutions are needed to increase the efficiency of cleaning, increase the specific productivity, simplify the design (refusal of vibration loads in the working process), and enable block-modular execution. Centrifugal-sieve separators using a complex inertial-gravitational field may meet these requirements. A new method of separating grain particles developed by B.T. Tarasov allows for sufficient use of centrifugal forces, has a significantly higher specific productivity than cellular trieurs. Comparative analysis of the completeness of long impurity separation, the developed separation method with the existing trieurs with a cellular surface shows that this value is somewhat lower. However, the proposed methods for intensifying the working process of centrifugal-sieve separation allow to significantly increasing the completeness of long impurity separation and approach the quality of the work of a cylindrical cellular trieur. This shows the feasibility of further research of this separation method and careful design development. At present, work is underway to implement the developed separation method in stationary technological lines as well as in mobile grain cleaning units, and it is being patented. Therefore, this area of research has real prospects.

**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.

**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.

**Микитюк Максим Евгеньевич**, к.т.н., ФГБОУ ДПО «Алтайский институт повышения квалификации руководителей и специалистов агропромышленного комплекса», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: rb25neo@mail.ru.

**Mikityuk Maksim Evgenevich**, Cand. Tech. Sci., Altai Institute of Professional Development of Managers and Specialists of Agricultural Industry Complex, Barnaul, Russian Federation, e-mail: rb25neo@mail.ru.

### Введение

Выпускаемые зерноочистительные машины и транспортно-технологическое оборудование для механизированных токов имеют недостатки, которые в основном обусловлены существенной диспропорцией между производственно-технологическими возможностями отдельных рабочих органов и сопряженного транспортно-технологического оборудования. Вследствие этого несоответствия отдельные рабочие органы и транспортное оборудование поточной линии работают с недогрузкой, что существенно снижает экономическую эффективность поточной обработки зерна.

Создание высокопроизводительных машин для поточных линий связано с рядом ограничений, вызываемых относительно низкой удельной производительностью некоторых рабочих органов, в первую очередь триеров.

Триер является одним из широко распространенных рабочих органов для очистки зерна от длинных и коротких примесей. В связи с низкой удельной производительностью триеров потребность в их производстве значительно выше, чем в других машинах. Наряду с низкой удельной производительностью ячеистая поверхность триера является более металлоемкой и трудоемкой в изготовлении по сравнению, например, с решетной поверхностью той же площади.

Многочисленные исследования, проведенные с целью повышения интенсификации работы триеров, показывают, что существенного повышения удельной производительности ячеистых триеров невозможно достигнуть. Следовательно, необходимо изыскивать новые способы разделения зерна по длине, заменить ячейку более эффективным рабочим органом.

**Целью** работы – обосновать перспективное направление исследований разделения зерна по длине.

### Основная часть

В настоящее время разделение зернового материала по длине осуществляется в основном на триерах с ячеистой рабочей поверхностью. Удельная производительность этих триеров очень низкая, что видно из формулы [1].

$$q_F = \frac{\varepsilon_n \cdot z_0 \cdot \mu_0 \cdot n}{60 x_1(a_x)}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

где  $q_F$  – удельная производительность триера;

$\varepsilon_n$  – коэффициент заполнения ячеек;

$z_0$  – число ячеек на 1 м<sup>2</sup> рабочей поверхности;

$\mu_0$  – средняя емкость одной ячейки мелкой фракции;

$n$  – число оборотов цилиндра;

$x_1(a_x)$  – безразмерный параметр, зависящий от относительного содержания короткой фракции, идущей в сход.

Оказывают влияние на удельную производительность триера коэффициент использования ячеистой поверхности  $\varepsilon_n$  и частота вращения цилиндра  $n$ . Рабочая частота вращения ограничивается допустимым кинематическим режимом работы триера. Увеличению параметра  $z_0$  препятствует технология ячеистой поверхности, а параметр  $\mu_0$  ограничен размерами частицы мелкой фракции. Из перечисленных факторов следует, что они практически не имеют существенных резервов для повышения удельной производительности цилиндрической ячеистой поверхности. С этим утверждением согласны многие исследователи [2, 3].

Отсюда следует, что для интенсификации процесса разделения по длине необходимо заменить ячейку другим рабочим органом. Исследования многих ученых показывают, что реальной заменой ячеистому триеру может стать решето с круглыми отверстиями.

О применении решет с круглыми отверстиями для выделения длинных примесей указывал в свое время Г.Д. Терсков [4]. Результаты исследований Г.Д. Терскова на плоских решетках показали, что в повышении производительности качающихся решет за счет интенсификации процесса имеются некоторые ограничения. Для повышения производительности качающихся решет необходимо увеличить кинематический режим, который повысит роль сил инерции при западании частиц в отверстия решета. Значительное повышение кинематического режима ведет к увеличению скорости скольжения зерна относительно решета, и при достижении определенной для данных условий критической ско-

рости процесс сепарации прекращается, так как частицы не успевают западать в отверстия. Из сказанного следует, что применение решет с круглыми отверстиями дает положительный эффект по сравнению с ячеистой поверхностью триера.

Ряд исследований, проведенных Е.С. Гончаровым [5] и другими учеными с цилиндрическими вибрационными решетками, подтверждают целесообразность использования центробежных сил для увеличения производительности. Большая скорость вращения обеспечивала заполнение всей поверхности цилиндра слоем смеси, а осевые вибрации способствовали перемещению зернового слоя относительно решета. Наличие большой центробежной силы и относительного скольжения частиц обеспечивает интенсивность процесса просеивания, что позволяет значительно повысить производительность. Однако это увеличение производительности связано с большими динамическими нагрузками. В настоящее время налажено промышленное производство виброцентробежных сепараторов.

Из приведенного краткого анализа существующих зерноочистительных машин, разделяющих зерно по длине, а также исследований по созданию новых способов разделения по длине предлагается наиболее перспективное направление исследований.

Б.Т. Тарасовым была разработана машина для разделения зерна по размерам [6]. Основным размерным признаком являлась длина. Разделение проводилось на цилиндрическом решете с круглыми отверстиями, при этом удельная производительность цилиндрического решета выше, чем плоского. Впоследствии это направление исследований получило широкое развитие: для интенсификации процесса сепарации используется предварительная подготовка зернового материала на делительном решете. Зерновое решето совмещено в блок с подсевным решетом и кольцевым пневмосепарирующим каналом, что позволило создать условия для расширения режимов сепарирования [7, 8]. На рисунке показана схема разработанного устройства.

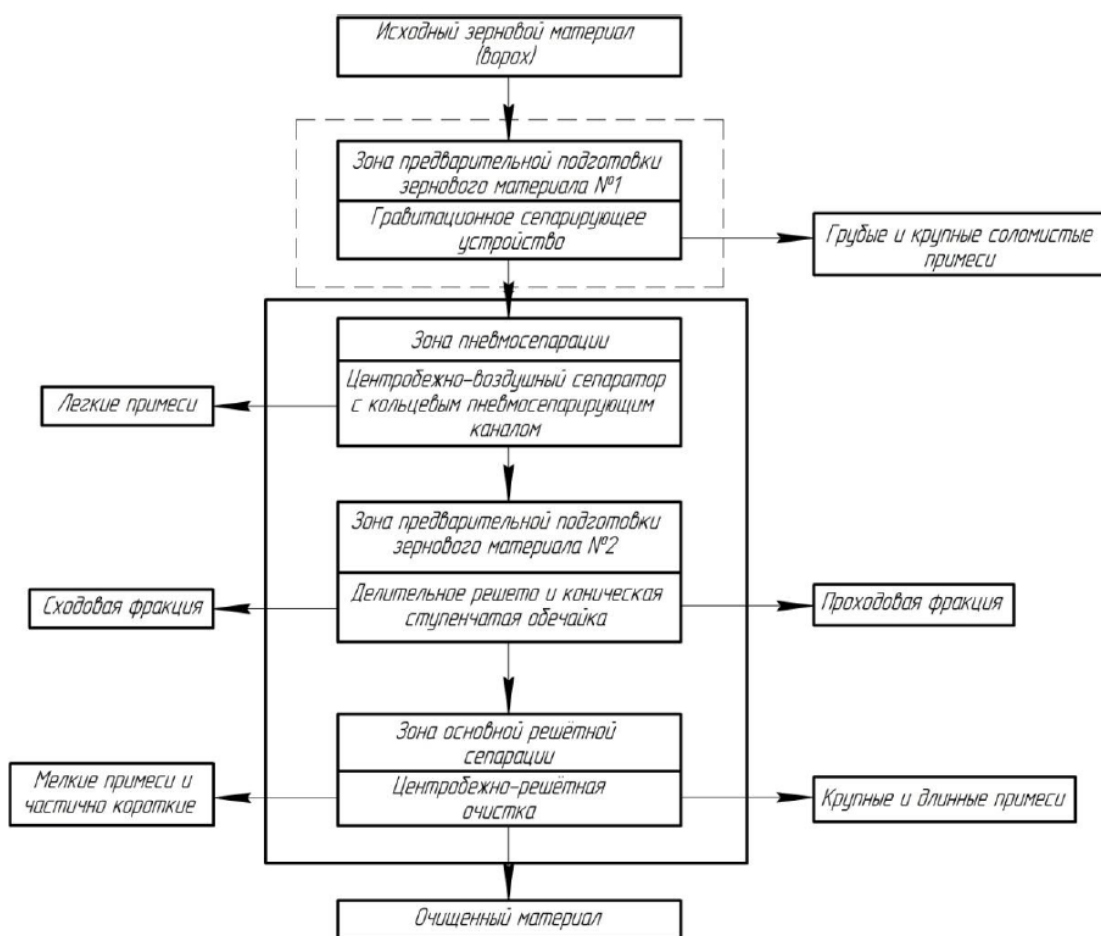


Рис. Принципиальная схема воздушно-центробежно-решетного сепарирования

Представленная схема показывает процесс предварительной очистки зерна с указанием основных этапов сепарирования.

Работа сепаратора не происходит сепарированием только в режимах овсюгоотборника и куколеотборника (подсевного решета), но и в режиме ворохоочистителя, поэтому разрабатываемый способ сепарирования зернового материала по длине частиц имеет большие перспективы.

### Заключение

1. Технологические возможности для интенсификации рабочего процесса разделения зерна по длине на ячеистых рабочих поверхностях исчерпаны.

2. Обеспечение нормальной ориентации (когда частицы уложены «плашмя» на решето, то есть длинной осью параллельно плоскостическому решету) длинных частиц, более перспективное направление исследований, а для интенсификации процесса сепарации нужно применять центробежные силы в более широких интервалах и без вибрации.

3. Для повышения производительности цилиндрических решет с круглыми отверстиями необходимо обеспечить полную загрузку решета по всей поверхности.

4. При непрерывном скольжении зерна относительно решета необходимо обеспечить быстрый подвод частиц мелкой фракции на место прошедших через отверстия решета и быстрый отвод длинной (сходовой) фракции.

5. Практика показывает, что разработанный воздушно-центробежно-решетный сепаратор может заменить триерные блоки в поточных линиях при очистке продовольственного зерна. Производительность при выполнении технологической операции центробежно-решетного сепарирования выше, чем при выполнении операции триерования.

### Библиографический список

1. Евдокимов, В. Ф. Исследование технологического процесса работы триера с осевыми колебаниями: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. Ф. Евдокимов. – Ростов-на-Дону, 1964. – 30 с. – Текст: непосредственный.

2. Абидуев, А. А. Возможность повышения производительности цилиндрического триера / А. А. Абидуев, Н. А. Урханов. – Текст: непосредственный // Индустриальные технологии и

средства комплексной механизации сельскохозяйственного производства Сибири: сборник научных трудов / СО ВАСХНИЛ. – Новосибирск, 1981. – С. 69-75.

3. Громов, А. Г. Исследование работы триера с вертикальными колебаниями / А. Г. Громов, В. А. Кубышев. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 1967. – № 7. – С. 28-31.

4. Терсков, Г. Д. О влиянии основных факторов на пропускную способность решет с круглыми отверстиями / Г. Д. Терсков. – Текст: непосредственный // Труды Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства. – 1958. – Вып. 6. – С. 33-94.

5. Гончаров, Е. С. Механико-технологическое обоснование и разработка универсальных виброцентробежных зерновых сепараторов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Гончаров Евгений Сергеевич; ВИМ. – Москва, 1986. – 34 с. – Текст: непосредственный.

6. А.с. 239703 СССР, МКИ<sup>2</sup> А01 7/44, В07В 18/50. Машина для разделения зерновой смеси по размерам. – № 824077/30-15; заявл. 09.03.63; опубл. 18.03.69, Бюл. № 11 / Б. Т. Тарасов (СССР). – Текст: непосредственный // Открытия. Изобретения. – 1969. – № 11. – 123 с.

7. Тарасов, Б. Т. Обоснование технологической схемы центробежно-решетного 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.

8. Микитюк, М. Е. Повышение эффективности очистки зерна на цилиндрическом подсежном решете: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Микитюк Максим Евгеньевич. – Барнаул, 2023. – 22 с. – Текст: непосредственный.

### References

1. Evdokimov, V.F. Issledovanie tekhnologicheskogo protsessa raboty triera s osevyimi kolebaniyami: avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk / V.F. Evdokimov. – Rostov-na-Donu, 1964. – 30 s.

2. Abiduev, A.A. Vozmozhnost povysheniia proizvoditelnosti tsilindricheskogo triera /



A.A. Abiduev, N.A. Urkhanov // Industrialnye tekhnologii i sredstva kompleksnoi mekhanizatsii selskokhoziaistvennogo proizvodstva Sibiri: Sb. nauch. tr. / SO VASKhNIL. – Novosibirsk, 1981. – S. 69-75.

3. Gromov, A.G. Issledovanie raboty triera s vertikalnymi kolebaniiami / A.G. Gromov, V.A. Kubyshchev // Traktory i selkhoz mashiny. – 1967. – No. 7. – S. 28-31.

4. Terskov, G.D. O vliianii osnovnykh faktorov na propusknuuiu sposobnost reshet s kruglymi otverstiiami // Tr. ChIMESKh. – 1958. – Vyp. 6. – S. 33-94.

5. Goncharov, E.S. Mekhaniko-tekhnologicheskoe obosnovanie i razrabotka universalnykh vibrotsentrobezhnykh zernovykh separatorov: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / E.S. Goncharov; VIM. – Moskva, 1986. – 34 s.

6. A.s. 239703 SSSR, MKI2 A01 7/44, V07V 18/50, Mashina dlia razdeleniia zernovoi smesi po razmeram / B.T. Tarasov, (SSSR) - 824077/30-15, Zaiavleno 09.03.63; Opubl. 18.03.69, Biul. No. 11 // Otkrytiia. Izobreteniia. – 1969. – No. 11. – 123 s.

7. Tarasov, B.T. Obosnovanie tekhnologicheskoi skhemy tsentrobezhno-reshetnogo separatora / B.T. Tarasov, N.I. Strikunov // Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protses-sov i mashin pri uborke zernovykh kultur v Zapadnoi Sibiri: sb. nauch. tr. / Alt. s.-kh. in-t. – Barnaul, 1987. – S. 34-48.

8. Mikiutiuk, M.E. Povysenie effektivnosti oчитki zerna na tsilindricheskom podsevnom reshete: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / M.E. Mikiutiuk: Barnaul, 2023. – 22 s.



УДК 621.362

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-247-5-79-87

Ф.Ф. Хаби́ров, В.С. Вохмин, Д.Д. Харисов

F.F. Khabirov, V.S. Vokhmin, D.D. Kharisov

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANSYS WORKBENCH

### THERMOELECTRIC MODULE SIMULATION MODEL IN ANSYS WORKBENCH SOFTWARE ENVIRONMENT

**Ключевые слова:** термоэлектрический модуль, термоэлектрический генератор, термоэлектричество, нагреваемая сторона, температура, последовательное соединение.

Внедрение энергосберегающих мероприятий на предприятиях АПК и в сельской местности сегодня набирает обороты. Основными тепловыми потерями на сегодняшний день являются тепловые потери с дымоотводными газами и тепловые потери на тепловой сети. Для уменьшения тепловых потерь применя-

ются энергосберегающие мероприятия, например, в дымоотводную систему устанавливают различные рекуператоры тепловой энергии, но все же полноценно повысить энергетическую эффективность не удается, так как применению тепловых потерь тепловых сетей не уделяют особого внимания. В связи с этим актуально на сегодняшний день применение на тепловых сетях термоэлектрического генератора (ТЭГ), способного преобразовать тепловую энергию тепловых сетей в электрическую, которую возможно применить для слаботочных систем дистанционного