

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СЕПАРИРОВАНИИ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫМИ РЕШЕТКАМИ

Леонид Тищенко, Михаил Пивень, Вадим Бредихин

Харьковский национальный технический университет

сельского хозяйства имени Петра Василенка

Ул. Артема 44, Харьков, Украина. E-mail: khstua@lin.com.ua

Leonid Tishchenko, Mykhail Piven, Vadim Bredykhin

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture

St. Artem 44, Kharkiv, Ukraine. E-mail: khstua@lin.com.ua

Аннотация. В работе исследованы закономерности процесса сегрегации зерновой смеси (ЗС) на внутренней поверхности цилиндрического виброцентробежного решета. Установлены значения пористости и градиента скорости смеси обеспечивающие наибольшую эффективность сегрегации. Обоснованы конструктивные параметры разрыхлителей смеси виброцентробежных зерновых сепараторов.

Ключевые слова: сегрегация, зерновые смеси, разрыхлители, пористость, скорость, виброцентробежные сепараторы.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основой продовольственной безопасности страны является увеличение производства зерна, необходимого для пищевого и кормового использования. Важным этапом производства зерна является послеуборочная обработка. ЗС поступающие после комбайнов необходимо очистить от примесей и отсортировать на фракции, чтобы выделить наиболее полноценные зерна.

Для очистки и сортирования смесей применяют зерновые сепараторы, наиболее высокопроизводительными из которых являются виброцентробежные А1-БЦСМ-100, Р8-БЦСМ-50, СВС-15 производства ОАО «Вибросепаратор» (г. Житомир). Однако, сепарирование в поле центробежных сил сопровождается уплотнением смеси, что снижает интенсивность сегрегации (продвижение мелких частиц сквозь слой к поверхности решета) и эффективность процесса в целом.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованиями П.А. Миронова [11] установлено, что интенсивность поступления мелких частиц из слоя к решету значительно меньше пропускной способности его отверстий, что указывает на необходимость ин-

тенсификации сегрегации.

Б.И. Котовым [8,9] установлено, что с увеличением разрыхленности ЗС скорость продвижения мелких частиц в слое возрастает.

В работах В.В. Гортинского [5] перемещение мелкой частицы, свойства которой отличаются от свойств частиц смеси, объясняется проникновением через поры нижележащих слоев. Скорость продвижения частицы зависит от формы и размеров пор, интенсивности послойного движения смеси, характеризующейся градиентом скорости элементарных слоев по глубине.

Экспериментальными исследованиями О.Б. Юшкова, А.Н. Куди [7] установлено, что управление сегрегацией по размеру частиц достигается путем изменения скорости сдвига элементарных слоев.

Анализ работ показывает, что интенсификация сегрегации должна осуществляться путем увеличения пористости и скорости послойного движения. Это может быть достигнуто оптимизацией кинематических режимов решета, применением воздушного потока или разрыхлителей [3,14,13,1,2].

Исследованиями Л.Н. Тищенко [16-18] определен способ интенсификации сегрегации путем применения поверхностных и объемных разрыхлителей как наиболее рациональный. Им разработаны основы интенсификации внутрислоевых процессов виброцентробежного сепарирования как необратимых и неравновесных, в пределах фрактальной двухпоточковой кинетики, неэкстенсивной термодинамики и двухжидкостной гидродинамики.

В этих работах допускалось, что законы движения частиц внутри слоя подчиняются уравнениям для движения вязкой жидкости. Однако, динамическое поведение сыпучей ЗС отличается от поведения вязкой жидкости, определяется трением между ее частицами,

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СЕПАРИРОВАНИИ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫМИ РЕШЕТКАМИ

столкновениями и другими видами взаимодействий. ЗС совершает быстрые движения и ее динамическое состояние существенно зависит от размеров зерна, пористости слоя и скорости послыного движения.

Конструкции предложенных разрыхлителей имеют недостатки: повышенную массу и габариты, дополнительные динамические нагрузки на узлы сепаратора.

ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Цель работы – интенсификация процесса сегрегации, обоснование его рациональных параметров.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для интенсификации процесса сегрегации лабораторией послуборочной обработки зерна ХНТУСХ разработаны новые решета [12]. На их рабочей поверхности, на поперечных перемычках, установлены разрыхлители в виде ребер или продолговатых рифлей с такими конструктивными параметрами: диаметр ребер $d_{реб}$; расстояние между ребрами $l_{реб}$; высота рифлей $h_{риф}$; расстояние между рядами рифлей $l_{риф}$; расстояние между рифлями l^* ; ширина рифлей $b_{риф}$; длина рифлей $a_{риф}$ (рис.1, 2).

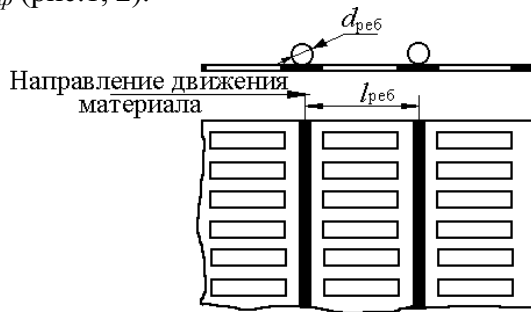


Рис. 1. Конструктивная схема ребренного решетного полотна

Fig. 1. Structural chart of ribbed sieve

Методом отсеивающих экспериментов установлено, что ширина и длина рифлей не оказывают существенного влияния на процесс и они были исключены из дальнейшего рассмотрения. При работе решета, ребра и рифли сообщают воздействия на смесь, разрыхляют ее и оказывают дополнительное сопротивление нижнему элементарному слою, увеличивая интенсивность послыного движения.

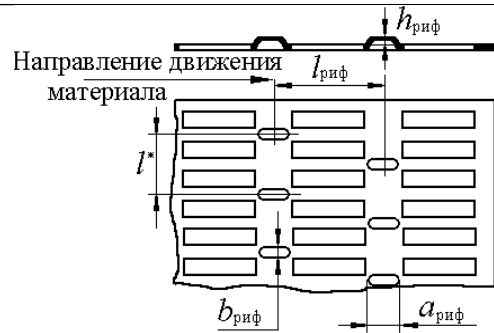


Рис. 2. Конструктивная схема рифленого решетного полотна

Fig. 2. Structural chart of rifled sieve

Для описания динамики внутрислоевых процессов использована теория быстрых движений гранулированных сред [6, 15].

Математическая модель внутрислоевых процессов на внутренней поверхности цилиндрического виброцентробежного решета получена в работе [20]. Уравнения описывающие движение ЗС имеют вид:

$$\frac{d}{dr} \left[\alpha \psi \left(\frac{dv_1}{dr} \right)^2 \right] + \frac{2}{r} \alpha \left(\frac{dv_1}{dr} \right)^2 - \gamma_1 v_1 \omega^2 r = 0, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dr} \left[r \mu \left(\frac{dv}{dr} \right) \right] + \gamma_1 v_1 g = 0, \quad (2)$$

где: α – феноменологический коэффициент;

$$\psi = \Phi + 2; \Phi = \left[(1 + f^2)^{1/2} / f - 1 \right];$$

f – динамический коэффициент внутреннего трения; $f = f_0(1 + e^{-B})/2$; f_0 – коэффициент внутреннего трения при отсутствии вибраций; $B = r_{кол} \omega_{кол}^2 / g$; $\omega_{кол}$ – циклическая частота колебаний решета; $r_{кол}$ – радиус кривошипа вибровозбудителя (амплитуда колебаний); r – текущее значение координаты в цилиндрической системе; ω – угловая скорость вращения цилиндрического решета; γ_1 – плотность частиц несущего потока; v_1 – объемная плотность ЗС, $v_1 = 1 - \varepsilon$; ε – пористость ЗС; v – скорость ЗС; μ – динамический коэффициент вязкости.

Уравнения (1), (2) дополняются граничными условиями:

- на свободной поверхности слоя

$$\frac{dv_1}{dr} = 0, \quad \frac{dv}{dr} = 0,$$

- на поверхности серийного решета

$$\left[\vec{n} \cdot \vec{T} \right]_{\tau} = f_{ск} \left[\vec{n} \cdot \vec{T} \cdot \vec{n} \right],$$

- на поверхности оребренного решета

$$\mu \frac{\partial v}{\partial r} + \left(1 - \frac{d_{реб}}{l_{реб}}\right) f_{ск} \alpha \psi \left(\frac{\partial v_1}{\partial r}\right)^2 + \frac{d_{реб}}{l_{реб}} \frac{2C_d \gamma_1 v_1}{(R_2^2 - R_1^2)^2} \left(\int_{R_1}^{R_2} r v dr\right)^2 = 0;$$

- на поверхности рифленого решета:

$$\mu \frac{\partial v}{\partial r} + \left(1 - \frac{8h_{риф}}{l_{риф} \cdot l^*}\right) f_{ск} \alpha \psi \left(\frac{\partial v_1}{\partial r}\right)^2 + \frac{\pi h_{риф}^2}{l_{риф} \cdot l^*} \frac{C_d \gamma_1 v_1}{(R_2^2 - R_1^2)^2} \left(\int_{R_1}^{R_2} r v dr\right)^2 = 0,$$

где: \vec{n} – нормаль к поверхности решета; $f_{ск} = f_{0ск} \left(1 + e^{-(\xi B)}\right) / 2$ – коэффициент внешнего трения скольжения зерна по решету; $f_{0ск}$ – коэффициент внешнего трения скольжения в отсутствии вибрации; $\hat{T}^{(1)}$ – тензор напряжений; ξ – эмпирический коэффициент; R_1 – радиус свободной поверхности слоя; R_2 – радиус цилиндрического решета; C_d – безразмерный коэффициент сопротивления ребер и рифлей движению смеси.

При решетном сепарировании интенсивность сегрегации оценивают скоростью продвижения мелких частиц из слоя к решету. Уравнения определяющие радиальную u и продольную w составляющие относительной скорости мелкой частицы в слое ЗС имеют вид:

$$u(t, r, z) = \frac{1}{A} \omega^2 r \times \quad (3)$$

$$\times \left[1 - e^{-Az/v} - Hev(z - vt) \left(e^{-At} - e^{-Az/v}\right)\right]$$

$$w(t, r, z) = \frac{C}{A} \left[\begin{aligned} & \left[\left(g + \frac{dv}{dr} \omega^2 r \left(t - \frac{1}{A} - \frac{z}{v} \right) \right) \times \right. \\ & \left. \times e^{-A(z-vt)/v} Hev(z - vt) - \right. \\ & \left. - \left(g - \frac{\omega^2 r}{A} \frac{dv}{dr} \right) Hev(z - vt) \right] \times \\ & \left. \times e^{-At} + g - \frac{\omega^2 r}{A} \frac{dv}{dr} - \right. \\ & \left. - \left[g - \left(\frac{1}{A} + \frac{z}{v} \right) \frac{dv}{dr} \omega^2 r \right] e^{-Az/v} \right] \quad (4) \end{aligned}$$

где: $Hev(\xi) = \begin{cases} 0, nпу & (\xi < 0) \\ 1, nпу & (\xi > 0) \end{cases}$ – функция

$$\text{Хевисайда; } A = \frac{3K_\mu \mu v_1}{4\pi a_{част}^2 \gamma_2}; \quad C = 1 - \gamma_1 v_1 / \gamma_2;$$

t – время; γ_2 – плотность мелких частиц; K_μ – эмпирический коэффициент сопротивления движению частицы; $a_{част}$ – эквивалентный радиус мелкой частицы; z – осевая координата в цилиндрической системе.

Для проведения численных расчетов примем следующие значения кинематических, конструктивных и режимных параметров виброцентробежного решета рекомендуемых Е.С. Гончаровым [4]: амплитуда колебаний решета $r_{кол} = 0,006$ м, круговая частота колебаний решета $\omega_{кол} = 94,2$ рад/с, угловая скорость вращения решета $\omega = 11,3$ рад/с; радиус цилиндрического решета $R_2 = 0,3075$ м, длина решета $L = 0,5$ м; удельная загрузка $q = 110 \dots 180$ кг/час·дм². Для ЗС взяты следующие значения физико-механических свойств пшеницы [10]: коэффициент внешнего трения скольжения по решету $f_{ск} = 0,43$, коэффициент внутреннего трения $f_0 = 0,47$, плотность частиц ЗС $\gamma_1 = 1350$ кг/м³. Численные значения эмпирических коэффициентов приняты: $\alpha = 0,26 \dots 1,54$ кг·м/с²; $C_d = 1,03 \dots 2,47$; $\mu = 0,033 \dots 0,122$ Па·с [19]. Значения физико-механических свойств мелких частиц приняты: плотность $\gamma_2 = 1100$ кг/м³; эквивалентный радиус частицы $a_{част} = 0,75$ мм; коэффициент сопротивления движению частицы $K_\mu = 390$.

Исследуем основные закономерности процесса сегрегации и определим его оптимальные параметры.

На рис. 3-6 представлены зависимости пористости ε и скорости v ЗС от глубины слоя r^* , удельной загрузки решета, конструктивных параметров ребер и рифлей.

Глубина слоя определяется безразмерной величиной r^* , равной отношению расстояния между свободной поверхностью слоя и рассматриваемым элементарным слоем, к общей толщине слоя. Так на свободной поверхности слоя $r^* = 0$, а на поверхности решета $r^* = 1$.

Конструктивные параметры ребер и рифлей оценивались соотношением $d_{реб}/l_{реб}$, $h_{риф}/l_{риф}$. С увеличением данных соотношений $d_{реб}$ и $h_{риф}$ возрастают, а расстояния $l_{реб}$ и $l_{риф}$ уменьшаются.

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СЕПАРИРОВАНИИ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫМИ РЕШЕТКАМИ

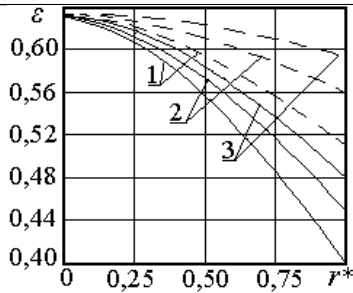


Рис. 3. Зависимости пористости ε ЗС от глубины слоя r^* , удельной загрузки q и конструктивных параметров ребер: 1 – серийное решето; 2 – $d_{реб}/l_{реб}=0,024$; 3 – $d_{реб}/l_{реб}=0,07$; --- $q=110$ кг/час·дм²; — $q=180$ кг/час·дм²

Fig. 3. Dependences of GM porosity ε on the layer depth r^* , loading q and constructional parameters of ribs: 1 – serial sieve; 2 – $d_{реб}/l_{реб}=0,024$; 3 – $d_{реб}/l_{реб}=0,07$; --- $q=110$ kg/h·dm²; — $q=180$ kg/h·dm²

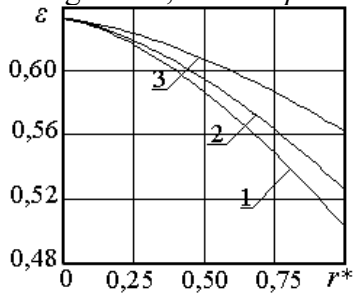


Рис. 4. Зависимости пористости ε ЗС от глубины слоя r^* и конструктивных параметров рифлей: 1 – серийное решето; 2 – $h_{риф}/l_{риф}=0,024$, $l^*=20$ мм; 3 – $h_{риф}/l_{риф}=0,07$, $l^*=12$ мм; ($q=110$ кг/час·дм²)

Fig. 4. Dependences of GM porosity ε on the layer depth r^* and constructional parameters of rifles: 1 – serial sieve; 2 – $h_{риф}/l_{риф}=0,024$, $l^*=20$ mm; 3 – $h_{риф}/l_{риф}=0,07$, $l^*=12$ mm; ($q=110$ kg/h·dm²)

Из рис. 3, 4 видно, что пористость ЗС уменьшается с глубиной не линейно. При увеличении соотношений $d_{реб}/l_{реб}$, $h_{риф}/l_{риф}$ и уменьшении расстояния между рифлями l^* пористость увеличивается, кривая зависимости $\varepsilon(r^*)$ выравнивается по глубине слоя. Это объясняется возрастающим воздействием ребер и рифлей на смесь, приводящем к разрыхлению и увеличению пористости. Численные значения пористости на оребренном решете больше, чем на рифленном. Увеличение удельной загрузки решета q приводит к снижению пористости, вследствие увеличения давления вышележащих слоев.

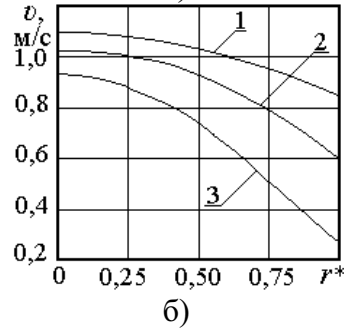
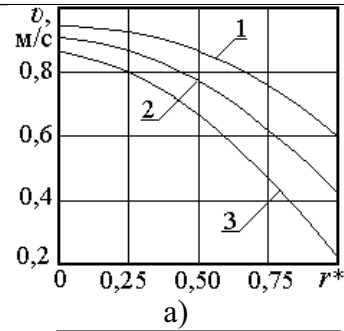


Рис. 5. Зависимости скорости ЗС v от глубины слоя r^* , удельной загрузки q и конструктивных параметров ребер: 1 – серийное решето; 2 – $d_{реб}/l_{реб}=0,035$; 3 – $d_{реб}/l_{реб}=0,07$; а) – $q=110$ кг/час·дм²; б) – $q=180$ кг/час·дм²

Fig. 5. Dependences of GM speed v on the layer depth r^* , loading q and constructional parameters of ribs: 1 – serial sieve; 2 – $d_{реб}/l_{реб}=0,035$; 3 – $d_{реб}/l_{реб}=0,07$; а) – $q=110$ kg/h·dm²; б) – $q=180$ kg/h·dm²

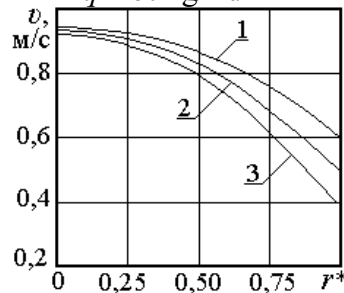


Рис. 6. Зависимости скорости ЗС v от глубины слоя r^* и конструктивных параметров рифлей: 1 – серийное решето; 2 – $h_{риф}/l_{риф}=0,024$, $l^*=20$ мм; 3 – $h_{риф}/l_{риф}=0,07$, $l^*=12$ мм; ($q=110$ кг/час·дм²)

Fig. 6. Dependences of GM speed v on the layer depth r^* and constructional parameters of rifles: 1 – serial sieve; 2 – $h_{риф}/l_{риф}=0,024$, $l^*=20$ mm; 3 – $h_{риф}/l_{риф}=0,07$, $l^*=12$ mm; ($q=110$ kg/h·dm²)

Скорость движения ЗС уменьшается с глубиной, верхние слои перемещаются быстрее, нижние – медленнее (рис.5, 6). Зависимость $v(r^*)$ является нелинейной.

С увеличением $h_{риф}/l_{риф}$, $d_{реб}/l_{реб}$ и уменьшением l^* возрастает сопротивление движению нижнего элементарного слоя, что приводит к незначительному снижению скорости. Разность скоростей верхнего и нижнего элементарных слоев при этом возрастает, градиент скорости по глубине слоя увеличивается.

При увеличении удельной загрузки решета, скорость ЗС увеличивается. Это объясняется стеканием вниз вышележащих слоев под действием силы тяжести.

На рис. 7, 8 представлены траектории движения мелких частиц по глубине слоя r^* и длине L цилиндрического решета.

Длина проекции траектории частицы на решето характеризует эффективность процесса сегрегации. Чем меньше длина этого участка, тем быстрее частицы достигают поверхности решета и эффективность сегрегации возрастает. Из рис. 7, 8 видно, что с применением разрыхлителей, проекции траекторий движения мелких частиц уменьшаются. Это объясняется разрыхлением смеси и увеличением интенсивности послойного движения. Силы сопротивления движению мелких частиц уменьшаются и они быстрее проникают в поры нижележащих слоев.

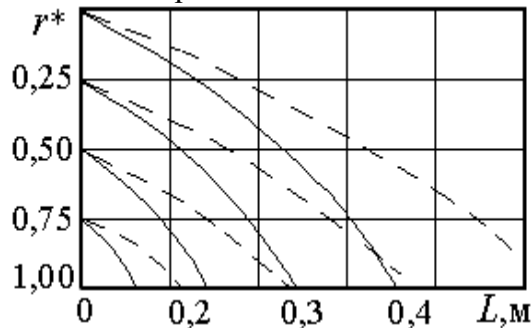


Рис. 7. Зависимости траекторий мелких частиц по глубине слоя r^* и длине L цилиндрического решета от конструктивных параметров ребер: --- серийное решето;

— $d_{реб}/l_{реб}=0,07$; ($q=110$ кг/час·дм²)

Fig. 7. Dependences of trajectory of small particles on the layer depth r^* , sieve length and constructional parameters of ribs: --- serial sieve; — $d_{реб}/l_{реб}=0,07$; ($q=110$ kg/h·дм²)

На рис. 9, 10 представлены зависимости радиальной u и осевой w составляющих скорости мелкой частицы от глубины слоя, удельной загрузки, конструктивных параметров ребер и рифлей.

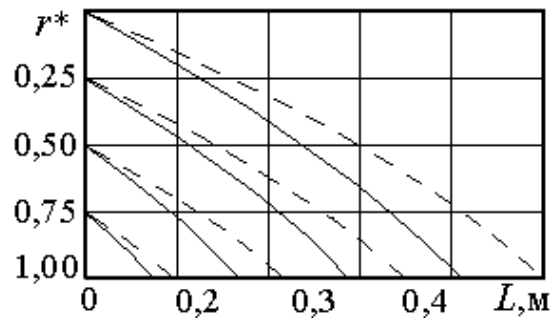


Рис. 8. Зависимости траекторий мелких частиц по глубине слоя r^* и длине L цилиндрического решета от конструктивных параметров рифлей: --- серийное решето; — $h_{риф}/l_{риф}=0,07$; $l^*=12$ мм; ($q=110$ кг/час·дм²)

Fig. 8. Dependences of trajectory of small particles on the layer depth r^* , sieve length and constructional parameters of rifles: --- serial

sieve; — $h_{риф}/l_{риф}=0,07$; $l^*=12$ мм; ($q=110$ kg/h·дм²)

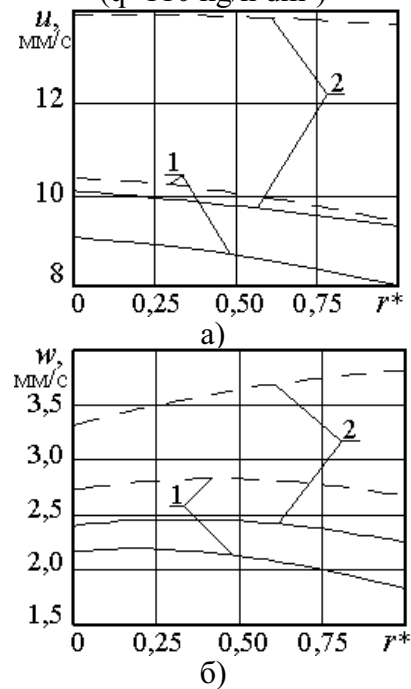


Рис. 9. Зависимости радиальной u и осевой w составляющих скорости мелкой частицы от глубины слоя r^* , удельной загрузки и конструктивных параметров ребер: а) $u(r^*)$;

б) $w(r^*)$; 1 – серийное решето; 2 – $d_{реб}/l_{реб}=0,07$; --- $q=110$ кг/час·дм²; — $q=180$ кг/час·дм²

Fig. 9. Dependences of radial and axial speed components of small particles on the layer depth r^* , loading q and constructional parameters of ribs: а) $u(r^*)$; б) $w(r^*)$; 1 – serial sieve; 2 – $d_{реб}/l_{реб}=0,07$; --- $q=110$ kg/h·дм²; — $q=180$ kg/h·дм²

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СЕПАРИРОВАНИИ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫМИ РЕШЕТАМИ

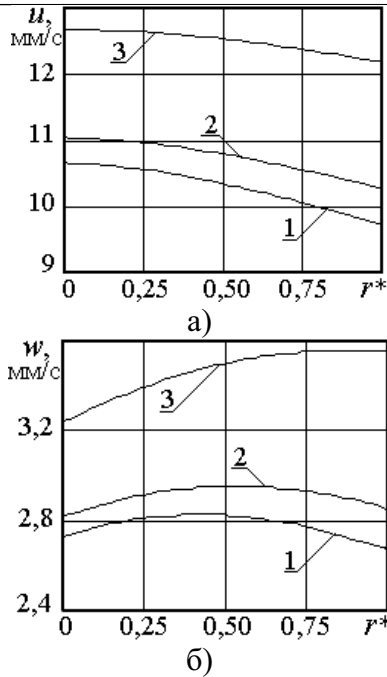


Рис. 10. Зависимости радиальной u и осевой w составляющих скорости мелкой частицы от глубины слоя r^* и конструктивных параметров рифлей:

а) – зависимость $u(r^*)$; б) – $w(r^*)$; 1 – серийное решето; 2 – $h_{риф}/l_{риф}=0,024$, $l^*=20$ мм; 3 – $h_{риф}/l_{риф}=0,07$, $l^*=12$ мм; ($q=110$ кг/час·дм²)

Fig. 10. Dependences of radial and axial speed components of small particles on the layer depth r^* and constructive parameters of ruffles: а) – dependenc $u(r^*)$; б) – $w(r^*)$; 1 – serial sieve; 2 – $h_{риф}/l_{риф}=0,024$, $l^*=20$ mm; 3 – $h_{риф}/l_{риф}=0,07$, $l^*=12$ mm; ($q=110$ kg/h·dm²)

Радиальная составляющая u скорости мелкой частицы уменьшается с глубиной, что объясняется уменьшением пористости. Осевая составляющая w также изменяется по глубине, кривая зависимости $w(r^*)$ имеет экстремум расположенный в середине слоя. Численные значения осевой составляющей w в несколько раз меньше радиальной u .

При увеличении соотношений $d_{реб}/l_{реб}$, $h_{риф}/l_{риф}$ и уменьшении l^* радиальная u и осевая w составляющие скорости увеличиваются. Кривые зависимостей $u(r^*)$ выравниваются, т.е. скорости приближаются к одинаковой величине по всей глубине слоя. При увеличении удельной загрузки q (рис. 9) радиальная u и осевая w составляющие скорости уменьшаются, что объясняется уплотнением смеси вышележащими слоями.

На рис. 11-12 представлены зависимости эффективности процесса сегрегации.

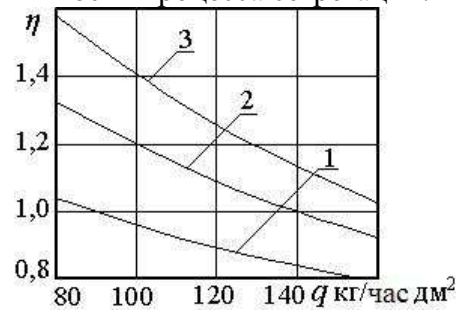


Рис. 11. Зависимости эффективности сегрегации η от удельной загрузки q решет: 1 – серийное решето; 2 – рифленое $h_{риф}/l_{риф}=0,07$, $l^*=16$ мм; 3 – ребренное $d_{реб}/l_{реб}=0,07$

Fig. 11. Dependences of segregation efficiency η on the sieve loading q : 1 – serial sieve; 2 – ruffled $h_{риф}/l_{риф}=0,07$, $l^*=16$ mm; 3 – ribbed $d_{реб}/l_{реб}=0,07$

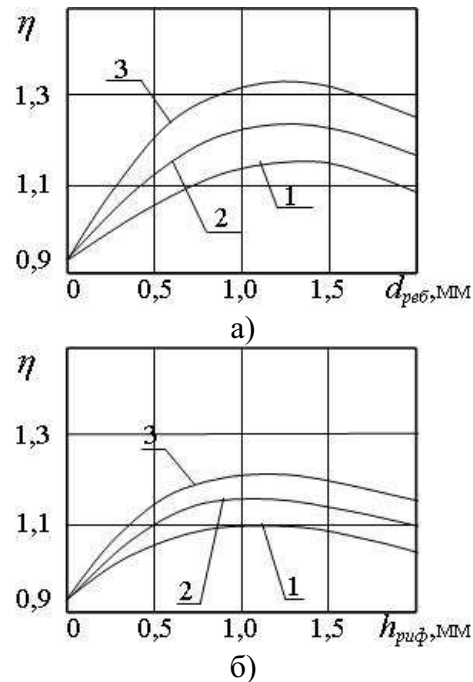


Рис. 12. Зависимости эффективности сегрегации η от конструктивных параметров разрыхлителей: а) ребер: 1 – $l_{реб}=63$ мм; 2 – $l_{реб}=42$ мм; 3 – $l_{реб}=21$ мм; б) рифлей: 1 – $l_{риф}=63$ мм, $l^*=24$ мм; 2 – $l_{риф}=42$ мм, $l^*=18$ мм; 3 – $l_{риф}=21$ мм, $l^*=12$ мм; ($q=110$ кг/час·дм²)

Fig. 12. Dependences of segregation efficiency η on constructive parameters of looseners: а) ribs: 1 – $l_{реб}=63$ mm; 2 – $l_{реб}=42$ mm; 3 – $l_{реб}=21$ mm; б) ruffles: 1 – $l_{риф}=63$ mm, $l^*=24$ mm; 2 – $l_{риф}=42$ mm, $l^*=18$ mm; 3 – $l_{риф}=21$ mm, $l^*=12$ mm; ($q=110$ kg/h·dm²)

Эффективность сегрегации определяется соотношением u/u^* , где u^* – скорость при которой все частицы выделяются из слоя на длине решета L . Т.е., при скорости $u=u^*$ эффективность будет $\eta=1$ (100%). При $u < u^*$ не все частицы успеют выделиться из слоя – $\eta < 1$. При $u > u^*$ все частицы выделяются из слоя на меньшей длине решета – $\eta > 1$. Значение u^* соответствует скорости, при которой траектория частицы с координатами ($r=R_1, z=0$) на входе решета проходит через конец плоскости решета ($r=R_2, z=L$).

С увеличением удельной загрузки q эффективность сегрегации снижается (рис. 11). Увеличение конструктивных параметров ребер и рифлей способствует повышению эффективности сегрегации (рис. 12). Их рациональные значения составляют $d_{реб}=1,2...1,7$ мм, $l_{реб}=21$ мм, $h_{риф}=1,0...1,5$ мм, $l_{риф}=21$ мм, $l^*=10...16$ мм. При этом, эффективность сегрегации возрастает на 35...40 %.

На рис. 13 представлены зависимости эффективности η от пористости ε и $grad v = dv/dr$.

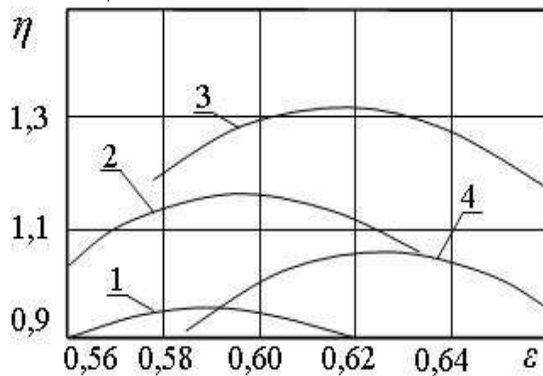


Рис. 13. Зависимости эффективности сегрегации η от пористости ε и $grad v$:

- 1 – $grad v=59,4 \text{ c}^{-1}$; 2 – $grad v=60,2 \text{ c}^{-1}$;
3 – $grad v=82,7 \text{ c}^{-1}$; 4 – $grad v=93,5 \text{ c}^{-1}$;
($q=110 \text{ кг/час} \cdot \text{дм}^2$)

Fig. 13. Dependences of segregation efficiency η on the porosity ε and $grad v$:

- 1 – $grad v=59,4 \text{ s}^{-1}$; 2 – $grad v=60,2 \text{ s}^{-1}$;
3 – $grad v=82,7 \text{ s}^{-1}$; 4 – $grad v=93,5 \text{ s}^{-1}$;
($q=110 \text{ kg/h} \cdot \text{dm}^2$)

Как видно из рис. 13, с увеличением пористости ε и градиента скоростей $grad v$ эффективность сегрегации повышается. Наибольшая эффективность η достигнута при значениях пористости $\varepsilon=0,59...0,62$ и $grad v=60,2...82,7 \text{ c}^{-1}$.

ВЫВОДЫ

1. Анализом зависимостей установлено, что применение разрыхлителей, выполненных в виде ребер и рифлей на рабочей поверхности цилиндрического виброцентробежного решета, интенсифицирует сегрегацию и повышает эффективность на 35...40%. Разрыхлители увеличивают пористость и градиент скорости ЗС по глубине слоя.

2. Определены численные значения пористости ε и $grad v$, обеспечивающие наибольшую эффективность сегрегации – $\varepsilon=0,59...0,62$, $grad v=60,2...82,7 \text{ c}^{-1}$. Для паспортных режимов работы виброцентробежного сепаратора определены оптимальные конструктивные параметры ребер и рифлей $d_{реб}=1,2...1,7$ мм, $l_{реб}=21$ мм, $h_{риф}=1,0...1,5$ мм, $l_{риф}=21$ мм, $l^*=10...16$ мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1701400 SSSR, МКИЛ V07V 1/00. Способ грохочения сыпучих материалов и устройство для его осушительного / В. И. Засельский, Н.В. Пустынский, А.Е. Алтшuler (СССР). – №4755266/03; заявл. 03.11.89; опubl. 30.12.91, Бжл. №48.
2. А. с. 1763050 SSSR, МКИЛ V07V 1/46. Способ грохочения сыпучей смеси и устройство для его осушительного / М.С. Исламов (СССР). – №3834449/63; заявл. 29.12.84; опubl. 23.09.92, Бжл. №35.
3. Goncharov E. S. 1976. Optimal'naja chastota kolebanij reshet pri obrabotke zernovyh materialov. Mehanizacija i jelektifikacija sel'skogo hozjajstva. Vyp.33. – 19 – 25.
4. Goncharov E. S. 1986. Mehaniko-tehnologicheskoe obosnovanie i razrabotka universal'nyh vibrocentrobeznyh zernovyh separatorov. avtoref. dis. na soiskanie nauch. steneni dokt. tehn. Nauk. –М. –34.
5. Gortinskij V. V., Demskij A. B., Boriskin M.A. 1981. Processy separirovanija na zernopererabatyvajushhijh predpriyatijah – М.: Kolos. – 260.
6. Gudmen M., Kouin S. 1985. Dve zadachi o gravitacionnom techenii granulirovannyh materialov. Mehanika granulirovannyh sred. Teorija bystryh dvizhenij. – М. 64 – 85.
7. Jushkova O. B., Kudi A. N. 2001. Vlijanie svojstv chastic zernistoj sredy na jeffekty ih vzaimodejstvija pri bystrom sdvigovom techenii. Sbornik trudov Tambovskogo gosu-

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ
СЕПАРИРОВАНИИ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫМИ РЕШЕТАМИ

- darstvennogo tehničkog universiteta: tehnologičeskie processy i oborudovanie. №8. 39–45.
8. Kotov B. I. 2004. Vibropnevmatične rozdilennja nasinnevih sumishej. Visnik agrotehničnoj nauki. №5. 25–27.
9. Kotov B. I., Stepanenko S. P., Pastushenko M. G. 2004. Doslidzhennja shljahiv pidvishhenja efektivnosti vibroreshitnih separatoriv zerna i nasinnja. Vibracii v tehnike i tehnologijah. – №3 (35). 61 – 63.
10. Lebedev V. B. 1991. Promyshlennaja obrabotka i hranenie semjan. – M. : Agropromizdat, – 255.
11. Mironov P. A. 1985. Obosnovanie parametrov rabočego processa i racional'noj shemy vibrocentrobezhnogo separatora semjan: dis. ... kandidata tehn. nauk: 05.20.01 / Mironov Petr Andrijanovich. – Har'kov, – 322.
12. Pat. 31700A Ukraїna, MPK 6V09V 1/26. Cilindrične resheto / Tishhenko L.M., Piven' M.V., Mandrila O.V., ta in.; zajavnik i patentovlasnik Harkivs'kij derzhavnij tehničnij universitet sil's'kogo gospodarstva. – №98105572; zajavl. 23.10.98; opubl. 15.12.2000, Bjul. №7-11.
13. Petrenko N. N., Marchenko I. V., Marchenko K. N. 2003. Analiz processa separacii zerna na reshete v srede pul'sirujushhego vozdušnogo potoka. Zb. nauk. prac' Kirovograds'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu. Vip.33. 141–143.
14. Petrenko N. N., Marchenko I. V., Marchenko K. N. 2002. O vozmožnosti ispol'zovanija pul'sirujushhego vozdušnogo potoka dlja voz-dušnoreshetnoj ochistki zernovogo voroha. Zb. nauk. prac' Kirovograds'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu. Vip. 32, 117–121.
15. Sjevidzh S. 1985. Gravitacionnoe tečenie nesvjazannyh granulirovannyh materialov v lotkah i kanalah. Mehanika granulirovannyh sred. Teorija bystryh dvizhenij. – M., 86 – 146.
16. Tishhenko L. 2012. Kolebatel'nye processy v zernovyh smesjah na reshetah vibrocentro- beznyh separatorov. Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Lublin, – Vol. 14 D. 2012 – 30-39.
17. Tishhenko L. 2012. Modelirovanie potoka zernovogo sloja na reshete s učetom proseivanija. Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Lublin, – Vol. 14 D. – 39-48.
18. Tishhenko L. N. Nauchnye osnovy processov vibrocentrobezhnogo separirovanija zernovyh smesej.: dis. ... doktora tehn. nauk: 05.05.11 / Tishhenko Leonid Nikolaevich. – Har'kov, 2004. – 403.
19. Tishhenko L. N., Piven M. V., Harchenko S. A., Bredihin V. V. 2009. Issledovanie zakonornostej vibrovjazkosti zernovyh smesej pri separirovanii cilindričeskimi vibrocentrobezhnymi reshetami. Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni P.Vasilenka : suchasni naprjamki tehnologij ta mehanizacii procesiv pererobnih ta harchovih virobničtv. Vip. 88. – 34–44.
20. Tishhenko L. N., Piven' M. V. 2003. K issledovaniju razdelenija frakcij zernovoj smesi pri separirovanii na vertikal'nom cilindričeskom vibrocentrobezhnom reshete. Vseukrainskij nauchno-tehničeskij zhurnal. Vibracii v tehnike i tehnologijah, №5(31), 40–43.

**SUBSTANTIATION OF THE PROCESS OF
GRAIN MIXTURE SEGREGATION
SEPARATED BY VIBROCENTRIFUGAL
SIEVES**

Summary. Regularities of the grain mixture segregation on internal surface of a cylindrical vibrocentrifugal sieve have been investigated in the article. Values of porosity and gradient of mixture speed providing the greatest efficiency of the segregation have been determined. Constructional parameters of looseners of vibrocentrifugal grain separators have been substantiated.

Key words: segregation, grain mixtures, looseners, porosity, speed, vibrocentrifugal separators.