

УДК 630*232.315.4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
СОРТИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ СЕМЯН ПО РАЗМЕРАМ

А.И. Новиков

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»

Безрешетное сортирование лесных семян по размерам позиционируется как альтернативный вариант [5, 6] традиционным способам сортирования (с применением решетных, триерных, аспирационных устройств). Многообразие технических средств, реализующих безрешетную технологию (пат. 2170147, 2179079, 2396130 РФ и др.), приводит к необходимости аналитических исследований их эксплуатационных параметров [1-4, 7].

Основными эксплуатационными параметрами безрешетного сепаратора, определяющими показатели технологического процесса, являются: α – продольный угол наклона; $D_1, D_2 \dots D_n$ – диаметры секций рабочего органа; $\Delta_1, \Delta_2 \dots \Delta_n$ – зазор между секциями; n – частота вращения; $l_1, l_2 \dots l_n$ – длины размерных секций; $L_1, L_2 \dots L_n$ – длины приемных лотков. При этом соотношение длин и диаметров секций [1]: $l_1 = (0,6 \dots 0,65) l_{общ}$; $l_{2,3 \dots n} = (0,1 \dots 0,15) l_{общ}$; $d_1/d_2 = d_2/d_3 = d_{n-1}/d_n = 1,025 \dots 1,03$. Количество секций определяется фракционным составом, зазор между одноименными секциями постоянен.

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= A - D_1 \\ \Delta_2 &= A - D_2 \\ \Delta_i &= A - D_i \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где Δ – зазор между рабочими органами в размерных секциях; A – межосевое расстояние; i – количество требуемых фракций лесных семян.

Следовательно, соотношения между величинами последовательных зазоров

$$\left. \begin{aligned} \Delta_2 &= \Delta_1 + (D_1 - D_2) \\ \Delta_3 &= \Delta_2 + (D_2 - D_3) = \Delta_1 + (D_1 - D_3) \\ \Delta_i &= \Delta_2 + (D_2 - D_i) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Моменты достижения сортирующего эффекта определяются выполнением условий, при которых текущая величина зазора между рабочими органами станет равной размерам семян (сферообразной или эллипсоидной форм), по которым осуществляется разделение:

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= d \\ \Delta &= b \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Выражения для определения длин участков разгона и замедления лесных семян при переходе из одной размерной секции в другую позволяют проектировать длины участков рабочих органов:

$$\begin{aligned} \ell_p &= \frac{1}{2} t_p^2 \left[g(\sin \alpha - 2K^{-1} f \cos \alpha) - \frac{k_c k_{\text{var}}}{m} \xi_n'^2 \right] + \\ &+ \xi_n' t_p + t_n \left(V_{n.x} - \frac{1}{2} B_1 t_n \right) \sec \alpha + \frac{\Delta D}{2} \operatorname{tg} \alpha; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \ell_z &= \frac{1}{2} t_z^2 \left[g(\sin \alpha - 2K^{-1} f \cos \alpha) - \frac{k_c k_{\text{var}}}{m} \xi_n'^2 \right] + \\ &+ t_n \left((V_{n.x} - 0,5 B_1 t_n) \sec \alpha + \frac{\Delta D}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) \end{aligned} \quad (5)$$

где t_p, t_z – время разгона и замедления лесных семян

$$t_p = (\dot{\xi}_{ycm} D_{i+1} - \dot{\xi}'_n) \left[g(\sin \alpha - 2Kf \cos \alpha) - \frac{k_c k_{var}}{m} \dot{\xi}'_n{}^2 \right]^{-1};$$

$$t_3 = (\dot{\xi}'_n - \dot{\xi}_{ycm} D_{i+1}) \left[g(\sin \alpha - 2Kf \cos \alpha) - \frac{k_c k_{var}}{m} \dot{\xi}'_n{}^2 \right]^{-1};$$

g – ускорение свободного падения; α – продольный угол наклона рабочих органов; m – масса семени; K – коэффициент, учитывающий геометрические свойства семян и рабочих органов $K = \left[Q_1 + Q_2 \left(C_1 + C_2 \frac{\pi D_i n}{60} \right) \right]^{-1}$; $Q_1 = const = \sqrt{2(1 + \cos \gamma)}$;

$Q_2 = const = \sqrt{2(1 - \cos \gamma)}$, γ – угол между нормальными реакциями, действующими на семя со стороны рабочих органов; f – коэффициент трения; k_c – коэффициент аэродинамического сопротивления семени; k_{var} – коэффициент вариативности подачи; B_1, B_2 – константы, зависящие от массы, скорости семян $B_1 = \frac{R_1 R'}{m} V_{отр.х}^2$; $B_2 = \frac{R_1 R''}{m} V_{отр.у}^2$; ΔD – разность диаметров, задаваемая конструктивно;

$\dot{\xi}_{ycm}$ – установившаяся скорость семени $\dot{\xi}_{ycm} = [k^{-1} mg (\sin \alpha - 2Kf \cos \alpha)]^{0.5}$.

Дифференциальное уравнение движения семени

$$\ddot{\xi} = g \sin \alpha \left\{ 1 - \theta_1 f_{d1} ctg \alpha - f_{d2} ctg \alpha \left[\theta_2 - \theta_1 \cos (\beta - \gamma) \cdot f_{\zeta_1} \right] \right\} - \frac{c_1}{m_c} \dot{\xi}^2, \quad (6)$$

где f_d – коэффициенты динамического трения семени о рабочие органы.

Осевая скорость

$$\dot{\xi} = gt \sin \alpha (1 - K_1 - K_2) - \frac{c_1}{m_c} \int_0^t \dot{\xi}^2 dt + \dot{\xi}_0, \quad (7)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, учитывающие трибологические характеристики семени, конструктивные и кинематические параметры сепаратора [1]:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \theta_1 f_{d_1} \operatorname{ctg} \alpha \\ K_2 &= \theta_2 - \theta_1 \cos(\beta - \gamma) \cdot \left(A + B \frac{\pi D_1 n_1}{60} \right) \end{aligned} \right\}; \quad (8)$$

Величина перемещения семени

$$\xi_c = \frac{1}{2} g t^2 \sin \alpha (1 - K_1 - K_2) - \frac{c_1}{m_c} \int_0^t \int_0^t \xi^2 dt + \xi_0 t. \quad (9)$$

Для правильного размещения приемных лотков необходимо оценить величины перемещения семени при проваливании сквозь зазор рабочих органов. Исходя из эмпирических предположений [7] об оптимальном числе фракций сепарирования, перемещение семян в горизонтальной плоскости при проваливании на каждой из секций описывается выражениями:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_{0x} t_{n1} - \frac{1}{2} B_1 t_{n1}^2; \\ x_2 &= V_{\Delta x} t_{n2} - \frac{1}{2} \frac{k_2}{m} V_{0y}^2 t_{n2}^2; \\ x_3 &= V_{\Delta x} t_{n3} - \frac{1}{2} \frac{k}{m} V_{0y}^2 t_{n3}^2. \end{aligned}$$

При этом величина начальной (установившейся) скорости V_0 семени при проваливании рассчитывается отдельно для каждой размерной секции.

Длина приемных лотков

$$L_1 = l_1 \cos \alpha + x_1; \quad (10)$$

$$L_2 = (l_2 - x_1) \cos \alpha + x_2; \quad (11)$$

$$L_3 = (l_3 - x_2)\cos\alpha + x_3 ; \quad (12)$$

$$L_4 = (L_1 + L_2 + L_3). \quad (13)$$

Анализ полученных выражений дает основания следующим заключениям:

а) изменение продольного угла α наклона рабочих органов прямо пропорционально изменению вертикальной составляющей начальной (установившейся) скорости V_{0y} и обратно пропорционально изменению горизонтальной составляющей V_{0x} .

б) изменение продольного угла α оказывает незначительное влияние на поведение семени при сортировании (проваливании) через зазоры рабочих органов, при этом с уменьшением величины угла имеет место некоторое уменьшение продольного перемещения.

в) минимизация длин секций рабочих органов и длин приемных лотков с учетом выражений (4), (5), (10)-(13) при заданной производительности безрешетного сепаратора приведет к снижению стоимостных и энергетических характеристик последнего.

Таким образом, аналитические зависимости, учитывающие свойства разделяемых семян (фракционный состав, геометрические и фрикционные характеристики), позволяют предварительно определить продольный угол наклона, диаметры и длину рабочего органа, длины размерных секций, длины приемных лотков, не допускающие смешивание фракций. С учетом заложенного в конструкцию сепаратора диапазона регулировки продольного угла, а также коэффициента вариативности подачи уточнены выражения (4, 5), используемые для дальнейшего расчета эксплуатационных параметров сепаратора.

Библиографический список

- 1 Кинематика движения частиц по вальцам ступенчатой формы безре-

шетного сепаратора / Л. Т. Свиридов, А. Д. Голев, А. В. Князев, А. И. Новиков ; Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 1999. – 20 с. – Деп. в ВИНТИ 26.03.99, № 918–В 1999.

2 Новиков, А. И. Аналитические зависимости для расчета основных параметров безрешетного сепаратора [Текст] // Моделирование систем и процессов. – 2013. – №2. – С. 54-56.

3 Новиков, А. И. Влияние длины размерных секций дискового сепаратора на полноту выделения лесных семян // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – СПб. : СПбГЛТА, 2008. – Вып. 184. – С. 57-62.

4 Новиков, А. И. Динамическое равновесие семян хвойных пород в рабочем пространстве сепаратора дискового типа // Интеграция науки и высшего лесотехнического образования по управлению качеством леса и лесной продукции : материалы Междунар. науч.-практ. конф, 25-27 сент. 2001 г. – Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2001. – С. 223-227.

5 Новиков, А. И. Некоторые технологические особенности сортировальных устройств и тенденции их развития // Лес и молодежь ВГЛТА - 2000 г: материалы юбилейной научной конференции молодых ученых, посвященной 70-летию образования Воронежской государственной лесотехнической академии. – Воронеж, 2000. – С. 53-60.

6 Новиков, А. И. О новых способах сортирования лесных семян хвойных пород // Леса Евразии в третьем тысячелетии: материалы Международной конференции молодых ученых. М., 2001. С. 90-91.

7 Новиков, А. И. Обоснование основных параметров сепаратора лесных семян дискового типа // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – СПб. : СПбГЛТА, 2008. – Вып. 183. – С. 68-74.