

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СРЕДНИХ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ ПРОХОДОВЫХ ЧАСТИЦ (С ВЕРХНИМ ПОЛОЖЕНИЕМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА КАРКАСА)

Вахнина Г.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж, Россия (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail: [prcom@vglta.vrn.ru](mailto:prcom@vglta.vrn.ru)

В процессе исследования движения семян по траектории в виде знака бесконечности разработана математическая модель средних линейных ускорений проходовых частиц, позволяющая выявить влияние конструктивно-установочных параметров конусного классификатора, а именно радиусов решет, расстояния между решетками, угла наклона корпуса с решетками. Исследования проводились для рабочего процесса с верхним положением горизонтального элемента каркаса. Полученные дифференциальные уравнения при движении корпуса влево демонстрируют линейную и квадратичную зависимости. Полученные дифференциальные уравнения при движении корпуса вправо демонстрируют удвоенную линейную и квадратичную зависимости. В разработанной математической модели впервые учтены особенности движения через положения крайних левых и крайних правых точек решет, так называемые точки понижения и точки повышения. Важной составляющей является учет толщины частиц обрабатываемого материала.

Ключевые слова: математическая модель, средние линейные ускорения, дифференциальные уравнения первого и второго порядков, радиус решет, толщина проходовой частицы.

## MATHEMATICAL MODEL OF SECONDARY LINEAR ACCELERATION SIEVED PARTICLES (WITH AN UPPER POSITION OF THE HORIZONTAL FRAME MEMBER)

Vakhnina G.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> "Voronezh State Academy of Forestry" Voronezh, Russia (394087, Voronezh, st. Timiryazeva, 8), e-mail: [prcom@vglta.vrn.ru](mailto:prcom@vglta.vrn.ru)

During the investigation of the motion of seeds in the path as an infinity sign, a mathematical model of the average linear acceleration of sieved particles. It is allow to identify the impact of structural and settings of the cone classifier, namely radius lattice, the distance between the sieves, angular body with sieves. Research is conducted for the workflow with an upper position of the horizontal frame member. The resulting differential equation for the motion of the left position is demonstrated linear and quadratic dependence. The resulting differential equation for the motion of the right position is demonstrated double linear and quadratic dependence. In the mathematical model developed for the first time. It takes into account the features of motion through the positions of the extreme left and the extreme right points lattice, the so-called point slides and point increase. An important component is the account of the thickness of the particles of the material.

Keywords: mathematical model, the average linear acceleration, differential equations of first and second order, grating radius, thickness sieved particles.

### Введение

В теории исследования поведения частиц в процессе обработки на семяочистительных машинах и сортировальных устройствах [1; 8] большое значение имеет движение самого рабочего органа. Именно оно определяет особенности движения обрабатываемого материала [2].

Нами рассматривается возвратно-колебательное движение рабочего органа конусного классификатора [7], которое создает движение частиц семенного материала по траектории в виде знака бесконечности. Исходя из сложности движения, важно исследовать в отдельности кинематику непроходовых частиц [5], остающихся на полотне решета, и проходовых частиц,

просеивающихся в отверстия решет. Ускорение частиц, одна из составляющих кинематических параметров [3; 6], достаточно интенсивно меняется по времени и направлению. Поэтому мы рассмотрим вопрос о средних линейных ускорениях.

**Цель работы** – разработка математической модели, позволяющей проанализировать зависимость средних линейных ускорений проходных частиц от конструктивно-установочных параметров конусного классификатора и прогнозировать их изменение для дальнейшей оптимизации процесса.

**Материал и методы исследований.** Исследования основывались на методах дифференциальных уравнений, математического моделирования.

В полученных дифференциальных уравнениях (1-8) учитываются следующие величины: радиусы верхнего, среднего большего, среднего меньшего, нижнего решет, основания рабочего органа ( $R_{вр}$ ,  $R_{сбр}$ ,  $R_{смп}$ ,  $R_{нр}$ ,  $R_{осн}$ ); расстояние между решетками ( $\Delta s$ ); расстояние от основания каркаса до крайней левой точки решет ( $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$ ,  $s_4$ ), точки понижения; расстояние от основания каркаса до крайней правой точки решет ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $h_4$ ), точки повышения; положение крайней правой точки верхнего решета при отклонении влево с верхним положением горизонтального элемента каркаса ( $h_{4лв}$ ); толщина проходной частицы ( $t_n$ ); угол конуса рабочего органа классификатора ( $\delta$ ) [4].

Среднее линейное ускорение **проходовой** частицы при обработке на конусном классификаторе при отклонении **влево** с горизонтальным элементом в **верхнем положении** для верхнего (1), среднего большего (2), среднего меньшего (3), нижнего решет (4) равно:

$$\begin{aligned}
d_{\alpha\sigma\varphi}^{n\beta} &= \frac{dN_{\alpha\sigma\varphi}^{n\beta}}{dt} = \frac{d^2 S_{\alpha\sigma\varphi}^{n\beta}}{dt^2} = 0,5R_{\varphi}' + \frac{(R_{\alpha\varphi} \cdot R_{\sigma\varphi})' \cdot \sqrt{R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2} - R_{\alpha\varphi}' \cdot R_{\sigma\varphi} \cdot \left(\sqrt{R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2}\right)'}{4(R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2)} + \\
&+ \frac{(\Delta s \cdot \Delta s')' \cdot \sqrt{R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2} - \Delta s \cdot \Delta s' \cdot \left(\sqrt{R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2}\right)'}{4(R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2)} + 0,5s_4'' \cdot \psi_s + 0,5s_4' \cdot \psi_c \cdot H + 0,5s_4' \cdot \psi_c \cdot H - \\
&- 0,5s_4 \cdot \psi_s \cdot H^2 + 0,5s_4 \cdot \psi_c \cdot H' - 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_s - 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_s - 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H - \\
&- 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_s + 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_s - \\
&- 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_c \cdot H + \\
&+ 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_s \cdot H^2 - 0,5R_{\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H' + \left(\frac{(\Delta s - t_n)' \cdot \sin \delta - (\Delta s - t_n) \cdot \cos \delta}{2\sin^2 \delta}\right)'
\end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
d_{\alpha\sigma\alpha\varphi}^{n\beta} &= \frac{dN_{\alpha\sigma\alpha\varphi}^{n\beta}}{dt} = \frac{d^2 S_{\alpha\sigma\alpha\varphi}^{n\beta}}{dt^2} = 0,5R_{\alpha\varphi}' + \frac{(R_{\alpha\varphi} \cdot R_{\sigma\varphi})' \cdot \sqrt{R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2} - R_{\alpha\varphi}' \cdot R_{\sigma\varphi} \cdot \left(\sqrt{R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2}\right)'}{4(R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2)} + \\
&+ \frac{(\Delta s \cdot \Delta s')' \cdot \sqrt{R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2} - \Delta s \cdot \Delta s' \cdot \left(\sqrt{R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2}\right)'}{4(R_{\alpha\varphi}^2 + \Delta s^2)} + 0,5s_3'' \cdot \psi_s + 0,5s_3' \cdot \psi_c \cdot H + \\
&+ 0,5s_3' \cdot \psi_c \cdot H - 0,5s_3 \cdot \psi_s \cdot H^2 + 0,5s_4 \cdot \psi_c \cdot H' - 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_s - 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_s - \\
&- 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_s + 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_s - \\
&- 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\varphi}}\right)\right)' \cdot \psi_c \cdot H + \\
&+ 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_s \cdot H^2 - 0,5R_{\alpha\varphi}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H' + \left(\frac{(\Delta s - t_n)' \cdot \sin \delta - (\Delta s - t_n) \cdot \cos \delta}{2\sin^2 \delta}\right)'
\end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
a_{\text{схлп}}^{\text{нб}} &= \frac{dV_{\text{схлп}}^{\text{нб}}}{dt} = \frac{d^2 S_{\text{схлп}}^{\text{нб}}}{dt^2} = 0,5R_{\text{ср}}' + \frac{(R_{\text{гп}} \cdot R_{\text{гп}})' \cdot \sqrt{R_{\text{гп}}^2 + \Delta s^2} - R_{\text{гп}} \cdot R_{\text{гп}}' \cdot (\sqrt{R_{\text{гп}}^2 + \Delta s^2})'}{4(R_{\text{гп}}^2 + \Delta s^2)} + \\
&+ \frac{(\Delta s \cdot \Delta s')' \cdot \sqrt{R_{\text{гп}}^2 + \Delta s^2} - \Delta s \cdot \Delta s' \cdot (\sqrt{R_{\text{гп}}^2 + \Delta s^2})'}{4(R_{\text{гп}}^2 + \Delta s^2)} + 0,5s_2' \cdot \psi_s + 0,5s_2' \cdot \psi_c \cdot H + \\
&+ 0,5s_2' \cdot \psi_c \cdot H - 0,5s_2 \cdot \psi_s \cdot H^2 + 0,5s_2 \cdot \psi_c \cdot H' - 0,5R_{\text{ср}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_s - 0,5R_{\text{ср}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_s - \\
&- 0,5R_{\text{ср}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\text{ср}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_s + 0,5R_{\text{ср}} \cdot \varphi_s \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_s - \\
&- 0,5R_{\text{ср}} \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\text{ср}} \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\text{ср}} \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_c \cdot H + \\
&+ 0,5R_{\text{ср}} \cdot \varphi_s \cdot \psi_s \cdot H^2 - 0,5R_{\text{ср}} \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H' + \left( \frac{(\Delta s - t_n)' \cdot \sin \delta - (\Delta s - t_n) \cdot \cos \delta}{2 \sin^2 \delta} \right)' \quad ; (3)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{\text{схлп}}^{\text{нб}} &= \frac{dV_{\text{схлп}}^{\text{нб}}}{dt} = \frac{d^2 S_{\text{схлп}}^{\text{нб}}}{dt^2} = 0,5R_{\text{гп}}' + \frac{(R_{\text{охп}} \cdot R_{\text{охп}})' \cdot \sqrt{R_{\text{охп}}^2 + \Delta s^2} - R_{\text{охп}} \cdot R_{\text{охп}}' \cdot (\sqrt{R_{\text{охп}}^2 + \Delta s^2})'}{4(R_{\text{охп}}^2 + \Delta s^2)} + \\
&+ \frac{(\Delta s \cdot \Delta s')' \cdot \sqrt{R_{\text{охп}}^2 + \Delta s^2} - \Delta s \cdot \Delta s' \cdot (\sqrt{R_{\text{охп}}^2 + \Delta s^2})'}{4(R_{\text{охп}}^2 + \Delta s^2)} + 0,5s_1' \cdot \psi_s + 0,5s_1' \cdot \psi_c \cdot H + \\
&+ 0,5s_1' \cdot \psi_c \cdot H - 0,5s_1 \cdot \psi_s \cdot H^2 + 0,5s_1 \cdot \psi_c \cdot H' - 0,5R_{\text{гп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_s - 0,5R_{\text{гп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_s - \\
&- 0,5R_{\text{гп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\text{гп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_s + 0,5R_{\text{гп}} \cdot \varphi_s \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_s - \\
&- 0,5R_{\text{гп}} \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\text{гп}} \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H - 0,5R_{\text{гп}} \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)' \cdot \psi_c \cdot H + \\
&+ 0,5R_{\text{гп}} \cdot \varphi_s \cdot \psi_s \cdot H^2 - 0,5R_{\text{гп}} \cdot \varphi_s \cdot \psi_c \cdot H' + \left( \frac{(\Delta s - t_n)' \cdot \sin \delta - (\Delta s - t_n) \cdot \cos \delta}{2 \sin^2 \delta} \right)' \quad ; (4)
\end{aligned}$$

где  $\psi_s = \sin \left( \frac{h_{4.лб}}{R_{\text{эп}}} + \sin \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right) \right)$ ;  $\psi_c = \cos \left( \frac{h_{4.лб}}{R_{\text{эп}}} + \sin \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right) \right)$ ;

$\varphi_s = \sin \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)$ ;  $\varphi_c = \cos \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right)$ ;  $H = \left( \frac{h_{4.лб}}{R_{\text{эп}}} + \sin \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{эп}}} \right) \right) \right)$ .

Среднее линейное ускорение **проходовой** частицы при обработке на конусном классификаторе при отклонении **вправо** с горизонтальным элементом в **верхнем положении** для верхнего (5), среднего большего (6), среднего меньшего (7), нижнего решет (8) равно:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{снлп}}^{\text{вс}} = \frac{dN_{\text{снлп}}^{\text{вс}}}{dt} = \frac{d^2 S_{\text{снлп}}^{\text{вс}}}{dt^2} = & 0,5R_{\text{сп}}' + \frac{(R_{\text{сп}} \cdot R_{\text{сп}})' \cdot \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} - R_{\text{сп}} \cdot R_{\text{сп}}' \cdot \left( \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} \right)'}{4(R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2)} + \\
 & + \frac{(\Delta s \cdot \Delta s)' \cdot \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} - \Delta s \cdot \Delta s' \cdot \left( \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} \right)'}{4(R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2)} + 0,5h_4'' \cdot \psi_{\text{сс}} + 0,5h_4' \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H + 0,5h_4' \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H - \\
 & - 0,5h_4 \cdot \psi_{\text{сс}} \cdot 4H^2 + 0,5h_4 \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \varphi_{\text{с}} - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сс}} - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H - \\
 & - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сс}} + 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сс}} - \\
 & - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' + \\
 & + 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сс}} \cdot 4H^2 - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' + \left( \frac{(\Delta s - t_n)' \cdot \sin \delta - (\Delta s - t_n) \cdot \cos \delta}{2 \sin^2 \delta} \right)' \quad ; (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_{\text{снлп}}^{\text{вс}} = \frac{dN_{\text{снлп}}^{\text{вс}}}{dt} = \frac{d^2 S_{\text{снлп}}^{\text{вс}}}{dt^2} = & 0,5R_{\text{сп}}' + \frac{(R_{\text{сп}} \cdot R_{\text{сп}})' \cdot \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} - R_{\text{сп}} \cdot R_{\text{сп}}' \cdot \left( \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} \right)'}{4(R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2)} + \\
 & + \frac{(\Delta s \cdot \Delta s)' \cdot \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} - \Delta s \cdot \Delta s' \cdot \left( \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} \right)'}{4(R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2)} + 0,5h_3'' \cdot \psi_{\text{сс}} + 0,5h_3' \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H + 0,5h_3' \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H - \\
 & - 0,5h_3 \cdot \psi_{\text{сс}} \cdot 4H^2 + 0,5h_3 \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \varphi_{\text{с}} - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сс}} - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H - \\
 & - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сс}} + 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сс}} - \\
 & - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left( \text{arctg} \left( \frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}} \right) \right)' \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' + \\
 & + 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сс}} \cdot 4H^2 - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сц}} \cdot 2H' + \left( \frac{(\Delta s - t_n)' \cdot \sin \delta - (\Delta s - t_n) \cdot \cos \delta}{2 \sin^2 \delta} \right)' \quad ; (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{\text{снлп}}^{\text{в}} &= \frac{dV_{\text{снлп}}^{\text{в}}}{dt} = \frac{d^2 S_{\text{снлп}}^{\text{в}}}{dt^2} = 0,5R_{\text{сп}}' + \frac{(R_{\text{сп}} \cdot R_{\text{сп}})' \cdot \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} - R_{\text{сп}} \cdot R_{\text{сп}}' \cdot \left(\sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2}\right)'}{4(R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2)} + \\
&+ \frac{(\Delta s \cdot \Delta s)' \cdot \sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2} - \Delta s \cdot \Delta s' \cdot \left(\sqrt{R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2}\right)'}{4(R_{\text{сп}}^2 + \Delta s^2)} + 0,5h_2' \cdot \psi_{\text{сн}} + 0,5h_2' \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' + 0,5h_2' \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - \\
&- 0,5h_2 \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 4H^2 + 0,5h_2 \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}'' \cdot \varphi_s \cdot \varphi_{\text{сн}} - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - \\
&- 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} + 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} - \\
&- 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' + \\
&+ 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 4H^2 - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' + \left(\frac{(\Delta s - t_n)' \cdot \sin \delta - (\Delta s - t_n) \cdot \cos \delta}{2\sin^2 \delta}\right)' \quad ; (7)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{\text{снлп}}^{\text{в}} &= \frac{dV_{\text{снлп}}^{\text{в}}}{dt} = \frac{d^2 S_{\text{снлп}}^{\text{в}}}{dt^2} = 0,5R_{\text{сп}}' + \frac{(R_{\text{снл}} \cdot R_{\text{снл}})' \cdot \sqrt{R_{\text{снл}}^2 + \Delta s^2} - R_{\text{снл}} \cdot R_{\text{снл}}' \cdot \left(\sqrt{R_{\text{снл}}^2 + \Delta s^2}\right)'}{4(R_{\text{снл}}^2 + \Delta s^2)} + \\
&+ \frac{(\Delta s \cdot \Delta s)' \cdot \sqrt{R_{\text{снл}}^2 + \Delta s^2} - \Delta s \cdot \Delta s' \cdot \left(\sqrt{R_{\text{снл}}^2 + \Delta s^2}\right)'}{4(R_{\text{снл}}^2 + \Delta s^2)} + 0,5h_1' \cdot \psi_{\text{сн}} + 0,5h_1' \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' + 0,5h_1' \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - \\
&- 0,5h_1 \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 4H^2 + 0,5h_1 \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}'' \cdot \varphi_s \cdot \varphi_{\text{сн}} - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - \\
&- 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} + 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} - \\
&- 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_c \cdot \left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)' \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' + \\
&+ 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 4H^2 - 0,5R_{\text{сп}}' \cdot \varphi_s \cdot \psi_{\text{сн}} \cdot 2H' + \left(\frac{(\Delta s - t_n)' \cdot \sin \delta - (\Delta s - t_n) \cdot \cos \delta}{2\sin^2 \delta}\right)' \quad ; (8)
\end{aligned}$$

где  $\psi_{\text{сн}} = \sin\left(2\frac{h_{4,\text{лб}}}{R_{\text{сп}}} + 2\sin\left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)\right)$ ;  $\psi_{\text{сн}} = \cos\left(2\frac{h_{4,\text{лб}}}{R_{\text{сп}}} + 2\sin\left(\arctg\left(\frac{\Delta s}{2R_{\text{сп}}}\right)\right)\right)$ .

**Результаты и обсуждение.** Согласно дифференциальным уравнениям (1-4), средние линейные ускорения проходowych частиц при движении влево имеют линейную и

квадратичную зависимости от величины радиуса соответствующего решета, от расстояния между решетками, от положения точки понижения. Дифференциальные уравнения (5-8) показывают, что средние линейные ускорения проходных частиц при движении вправо имеют удвоенную линейную и квадратичную зависимости от величины радиуса соответствующего решета, от расстояния между решетками, от положения точки повышения. Увеличение толщины частиц обрабатываемого материала будет снижать средние линейные ускорения. А величина угла отклонения решет, определяемая положением горизонтального элемента каркаса, существенно будет изменять средние линейные скорости только при увеличении времени обработки.

### **Выводы**

1. Впервые разработана математическая модель средних линейных ускорений проходных частиц, учитывающая движение обрабатываемого материала в виде положения крайних левых точек – точки понижения и положения крайних правых точек – точки повышения.
2. Полученные дифференциальные уравнения позволяют определить влияние конструктивно-установочных параметров классификатора на кинематику семян.
3. Согласно полученной математической модели оптимизировать процесс обработки семян на конусном классификаторе можно путем изменения его конструктивных особенностей.

### **Список литературы**

1. Вахнина Г.Н. Теоретические исследования законов движения семян в процессе сортирования / ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2010. – 16 с. – 1 л. Библиогр. : 5 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ. 23.06.2010. № 394-В2010.
2. Вахнина Г.Н. Ресурсосберегающая технология комплексной предпосевной обработки лесных семян // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции / под общей редакцией Е.А. Памфилова. – Брянск : БГИТА, 2012. – Вып. 31. – С. 118-120.
3. Вахнина Г.Н. Вероятностная скорость семян на решетках усовершенствованных классификаторов // I международная научно-практическая конференция «Технические науки: современные проблемы и перспективы развития», 10 дек. 2012 г. : [материалы] / Г.Н. Вахнина, Д.Д. Вахнин; Приволжский научно-исследовательский центр. – Йошкар-Ола: Коллоквиум, 2013. – С. 202-205.
4. Вахнина Г.Н. Геометрические характеристики конусного классификатора // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции / под общей редакцией Е.А. Памфилова. – Брянск : БГИТА, 2013.

5. Вахнина Г.Н. Среднее линейное ускорение непроходных частиц (с верхним положением горизонтального элемента каркаса) // Материали за 9-а международна научна практична конференция, «Achievement of high school». - София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2013. – Т. 40. Математика. Физика. - С. 22-31.
6. Драпалюк М.В. Исследование кинематики разгона роторов с цепью в горизонтальной и вертикальной плоскостях / М.В. Драпалюк, Л.Д. Бухтояров, Д.С. Сергиенко // Лесотехнический журнал. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2012. - № 4 (8). – С. 101-105.
7. Пат. № 2478446 РФ, МПК В07В 1/46. Конусный классификатор / Г.Н. Вахнина, Ф.В. Пошарников, Е.В. Кондрашова, Р.Г. Боровиков ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – № 2011140912/06 ; заявл. 07.10.2011 ; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10. – 3 с. : ил.
8. Пошарников Ф.В. Результаты полевых исследований по высеву крупных лесных семян лесопитомниковой сажалкой с новым высевальным аппаратом / Ф.В. Пошарников, В.С. Попов // Лесотехнический журнал. –2012. - № 4 (8). – С. 120-127.

**Рецензенты:**

Бартенев И.М., д.т.н., профессор кафедры «Механизация лесного хозяйства и проектирование машин» ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж.

Попиков П.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Механизация лесного хозяйства и проектирование машин» ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж.