

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РЕШЕТА
ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ КЕДРОВОГО ВОРОХА**

S.N. Dyrdin

MATHEMATICAL MODELING OF HORIZONTAL SIEVE MOTION FOR CEDAR HEAP SEPARATION

Дырдин С.Н. – канд. техн. наук, доц. каф. автомобилей, тракторов и лесных машин Сибирского государственного университета науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. E-mail: sergdirdin@gmail.com

Dyrdin S.N. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Cars, Tractors and Forestry Machinery, Siberian University of Science and Technologies named after Acad. M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk. E-mail: sergdirdin@gmail.com

В технологических процессах в лесном хозяйстве необходимо очищать семенные материалы от посторонних примесей. Проведен анализ технологий очистки семян сосны сибирской кедровой на решетках. Одним из способов очистки является просеивание семенного материала на различных (наклонных, цилиндрических) решетках. На решетках, установленных наклонно, вероятность попадания семени в отверстия решета снижается. Для улучшения качества очистки семян показана необходимость использования всей поверхности решета для рационального распределения просеиваемого материала по его поверхности. Возникает задача оптимизации данного технологического процесса. При оптимальном технологическом процессе отделения семян от примесей критериями могут быть выбраны производительность оборудования, качество разделения, снижение потерь семенного материала при просеивании. В связи с большими потерями семенного материала при просеивании на наклонных решетках возникла необходимость разработать математическую модель движения горизонтального решета. В статье описано движение горизонтального решета, описание основано на графике скорости, что предполагает конструкцию механизма привода горизонтального решета, используемого в данных исследованиях. В результате проведенного теоретического исследования получена математическая модель движения решета при просеивании кедрового вороха. На основании моделирования можно утверждать, что разность ускорений в

прямом и обратном направлении позволит задать вороху движение по всей поверхности решета, отделить семена от примесей и снизить потери. Данным исследованием определены наилучшие режимы движения горизонтального решета. На практике это позволит снизить потери семенного материала и повысить качество очистки. Методика рекомендована для проектирования оборудования по очистке семенного материала сосны сибирской кедровой.

Ключевые слова: решето, скорость, ускорение, перемещение, просеивание.

In technological processes in forestry it is necessary to clear seed materials from foreign impurity. The analysis of technologies of cleaning of seeds of Siberian cedar pine on sieves is carried out. One of the ways of cleaning is sifting of seed material on various (inclined, cylindrical) sieves. On the sieves established obliquely the probability of seed damage in sieve openings decreases. It is shown that for the improvement of the quality of seeds cleaning it is necessary to use the whole surface of the sieve for rational distribution of sifted material on its surface. There is a problem of optimization of this technological process. At optimum technological process of separation of seeds from impurity as criteria of the equipment productivity, the quality of division, decrease in losses of seed material when sifting can be chosen. Due to big losses of seed material when sifting on inclined sieves there was a need of developing mathematical model of the movement of horizontal sieve. In the study the movement of horizontal sieve is de-

scribed, the description is based on the schedule of speed assuming that the design of the mechanism of the drive of horizontal sieve is used in these researches. As a result of conducted theoretical research mathematical model of the movement of the sieve when sifting cedar lots is received. On the basis of modeling it is possible to claim that the difference of accelerations in the direct and opposite direction will allow setting lots movements on the whole surface of the sieve, to separate seeds from impurity and to reduce losses. The research defined the best modes of the movement of horizontal sieve. In practice it will allow to reduce losses of seed material and to increase the quality of cleaning. The technique is recommended for the design of the equipment for the purification of seed material of Siberian cedar pine.

Keywords: sieve, speed, acceleration, movement, sifting.

Введение. В лесном хозяйстве широко используются решета различных конструкций для очистки семенных материалов сосны сибирской кедровой. Наиболее распространены решета, установленные с наклоном, применение данных решет приводит к потерям части семенного материала. Рабочий процесс на решетных станах складывается из ряда составляющих: 1) перемещение решета; 2) движение слоя кедрового вороха по поверхности решета; 3) проникновение частиц сквозь отверстия решета; 4) сход шелухи с решета. Для снижения потерь при просеивании возникла необходимость разработать математическую модель движения горизонтального решета, которая учитывала бы все желаемые качества проектируемого оборудования. Математическая модель составляет основу расчета и оптимизации процесса просеивания. Математическое моделирование движения горизонтального решета обусловлено необходимостью улучшения процесса разделения и снижения потерь семенного материала при просеивании [1]. Установленную зависимость можно использовать для обоснования конструктивных параметров при создании просеивающего оборудования.

Цель исследования: обоснование принципов и методов очистки семенных материалов сосны сибирской кедровой в лесном хозяйстве на горизонтальных решетках.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующую **задачу:** разработать математическую модель движения горизонтального решета для разделения кедрового вороха.

Методы и результаты исследования. Основное необходимое условие для выполнения поставленной задачи – это неодинаковое перемещение вперед – назад колеблющегося решета. Если удаляемый ворох отходов (шелуха) должен удаляться вправо относительно колеблющегося (вправо – влево) решета, то решето должно перемещаться вправо с ускорением и скоростью значительно меньшим, чем при перемещении влево [2, 3].

Предположения о движении решета:

1. Поступательно-возвратное движение вдоль одной прямой с обязательным возвращением в исходную точку. Решето движется как абсолютно твердое тело, т. е. все его точки в рассматриваемой задаче движутся одинаково, движение периодически.

2. Отношение времени движения туда и обратно всегда одинаково (в данной задаче оно равно двум).

3. Движение решета при разгоне и торможении моделируется как движение равноускоренное и равнозамедленное соответственно.

Все движения рассматриваем относительно Земли (инерциальная система отсчета).

$$a_{1x} = \frac{V_{1x}}{\frac{T_1}{2}} = \frac{2V_{1x}}{T_1} = 2 \cdot \frac{V_1}{T_1} = a_1, \quad (1)$$

$$a_{2x} = -a_{1x} = -2 \cdot \frac{V_1}{T_1} = -a_1, \quad (2)$$

где T_1 – первая доля полного периода, с;

$\frac{T_1}{2}$ – вторая доля полного периода, с;

V_1 – максимальная (по абсолютной величине) скорость решета, м/с;

$2V_1$ – максимальная скорость при перемещении влево, м/с;

V_{1x} – проекция максимальной скорости при движении решета вправо (рис. 1).

Далее – повторы (из-за периодичности):

$$a_{5x} = a_{1x}, \quad (3)$$

$$a_{6X} = a_{2X}, \quad (4)$$

$$a_{7X} = a_{3X}, \quad (5)$$

$$a_{8X} = a_{4X}. \quad (6)$$

Теперь исследуем проекцию скорости решета (см. рис. 1) на соответствующих этапах.

$$\text{Начальное условие: } \mathcal{G}_{1X} \Big|_{t=0} = 0,$$

$$\mathcal{G}_{1X} = 0 + \int_0^t a_{1X} dt = \int_0^t \frac{2V_1}{T_1} dt = \frac{2V_1}{T_1} t \Big|_0^t = \frac{2V_1}{T_1} t. \quad (7)$$

В частности, на концах интервала:

$$\mathcal{G}_{1X} \Big|_{t=0} = 0; \mathcal{G}_{1X} \Big|_{t=\frac{T_1}{2}} = V_1, \quad (8)$$

$$\mathcal{G}_{2X} = V_1 + \int_{\frac{T_1}{2}}^t a_{2X} dt = V_1 + \left(-2\frac{V_1}{T_1}\right) t \Big|_{\frac{T_1}{2}}^t = 2V_1 - 2\frac{V_1}{T_1} \cdot t. \quad (9)$$

В частности, на концах интервала:

$$\mathcal{G}_{2X} \Big|_{t=\frac{T_1}{2}} = V_1; \mathcal{G}_{2X} \Big|_{t=T_1} = 0, \quad (10)$$

$$\mathcal{G}_{3X} = 0 + \int_{T_1}^t a_{3X} dt = -8\frac{V_1}{T_1} t \Big|_{T_1}^t = -8\frac{V_1}{T_1} t + 8V_1 = 8V_1 - 8\frac{V_1}{T_1} \cdot t. \quad (11)$$

В частности, на концах интервала:

$$\mathcal{G}_{3X} \Big|_{t=T_1} = 0; \mathcal{G}_{3X} \Big|_{t=\frac{5}{4}T_1} = -2V_1, \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_{4X} &= -2V_1 + \int_{\frac{5}{4}T_1}^t a_{4X} dt = -2V_1 + 8\frac{V_1}{T_1} t \Big|_{\frac{5}{4}T_1}^t = \\ &= -2V_1 + 8\frac{V_1}{T_1} t - 10V_1 = -12V_1 + 8\frac{V_1}{T_1} \cdot t. \end{aligned} \quad (13)$$

В частности, на концах интервала:

$$\mathcal{G}_{4X} \Big|_{t=\frac{5}{4}T_1} = -2V_1; \mathcal{G}_{4X} \Big|_{t=\frac{3}{2}T_1} = 0. \quad (14)$$

Далее – повторы (из-за периодичности) ($t \rightarrow t + \frac{3}{2}T_1$):

$$\mathcal{G}_{5X} = 0 + \int_{\frac{3}{2}T_1}^t a_{5X} dt = \frac{2V_1}{T_1} t \Big|_{\frac{3}{2}T_1}^t = \frac{2V_1}{T_1} t - 3V_1. \quad (15)$$

В частности, на концах интервала:

$$\mathcal{G}_{5X} \Big|_{t=\frac{3}{2}T_1} = 0; \mathcal{G}_{5X} \Big|_{t=2T_1} = V_1, \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_{6X} &= V_1 + \int_{2T_1}^t a_{6X} dt = V_1 - 2\frac{V_1}{T_1} t \Big|_{2T_1}^t = V_1 - 2\frac{V_1}{T_1} t + 4V_1 = \\ &= 5V_1 - 2\frac{V_1}{T_1} \cdot t. \end{aligned} \quad (17)$$

В частности, на концах интервала:

$$\mathcal{G}_{6X} \Big|_{t=2T_1} = V_1; \mathcal{G}_{6X} \Big|_{t=\frac{5}{2}T_1} = 0, \quad (18)$$

$$\mathcal{G}_{7X} = 0 + \int_{\frac{5}{2}T_1}^t a_{7X} dt = -8\frac{V_1}{T_1} t \Big|_{\frac{5}{2}T_1}^t = -8\frac{V_1}{T_1} t + 20V_1 = 20V_1 - \frac{8V_1}{T_1} \cdot t. \quad (19)$$

В частности, на концах интервала:

$$\mathcal{G}_{7X} \Big|_{t=\frac{5}{2}T_1} = 0; \mathcal{G}_{7X} \Big|_{t=\frac{11}{4}T_1} = -2V_1, \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_{8X} &= -2V_1 + \int_{\frac{11}{4}T_1}^t a_{8X} dt = -2V_1 + 8\frac{V_1}{T_1} t \Big|_{\frac{11}{4}T_1}^t = -2V_1 + 8\frac{V_1}{T_1} t - 22V_1 = \\ &= -24V_1 + 8\frac{V_1}{T_1} \cdot t. \end{aligned} \quad (21)$$

В частности, на концах интервала:

$$\mathcal{G}_{8X} \Big|_{t=\frac{11}{4}T_1} = -2V_1; \mathcal{G}_{8X} \Big|_{t=3T_1} = 0. \quad (22)$$

Теперь исследуем проекцию перемещения решета на соответствующих этапах (рис. 3)

(начальное условие $S_{1X} \Big|_{t=0} = 0$), имеем

$$S_{1X} = 0 + \int_0^t \mathcal{G}_{1X} dt = \int_0^t 2\frac{V_1}{T_1} t dt = \frac{V_1}{T_1} t^2 \Big|_0^t = \frac{V_1}{T_1} t^2. \quad (23)$$

В частности, на концах интервала:

$$S_{1X} \Big|_{t=0} = 0; S_{1X} \Big|_{t=\frac{T_1}{2}} = \frac{1}{4} V_1 T_1, \quad (24)$$

$$S_{2X} = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \int_{\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} g_{2x} dt = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \int_{\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} \left(2V_1 - \frac{2V_1}{T_1} t \right) dt = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \left(2V_1 \cdot t - \frac{V_1 t^2}{T_1} \right) \Big|_{\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} = \frac{1}{4} V_1 T_1 + 2V_1 t - \frac{V_1 t^2}{T_1} - V_1 T_1 + \frac{1}{4} V_1 T_1 = -\frac{1}{2} V_1 T_1 + 2V_1 t - \frac{V_1 t^2}{T_1}, \quad (25)$$

В частности, на концах интервала:

$$S_{2X} \Big|_{t=\frac{T_1}{2}} = \frac{1}{4} V_1 T_1; S_{2X} \Big|_{t=T_1} = \frac{1}{2} V_1 T_1. \quad (26)$$

$$S_{3X} = \frac{1}{2} V_1 T_1 + \int_{\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} g_{3x} dt = \frac{1}{2} V_1 T_1 + \int_{\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} \left(8V_1 - \frac{8V_1}{T_1} t \right) dt = \frac{1}{2} V_1 T_1 + \left(8V_1 \cdot t - \frac{4V_1}{T_1} t^2 \right) \Big|_{\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} = \frac{1}{2} V_1 T_1 + 8V_1 t - \frac{4V_1}{T_1} t^2 - (8V_1 T_1 - 4V_1 T_1) = -\frac{7}{2} V_1 T_1 + 8V_1 t - 4 \frac{V_1}{T_1} t^2. \quad (27)$$

В частности, на концах интервала:

$$S_{3X} \Big|_{t=T_1} = \frac{1}{2} V_1 T_1; S_{3X} \Big|_{t=\frac{5}{4} T_1} = \frac{1}{4} V_1 T_1, \quad (28)$$

$$S_{4X} = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \int_{\frac{3}{4} T_1}^{\frac{3}{4} T_1} g_{4x} dt = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \int_{\frac{3}{4} T_1}^{\frac{3}{4} T_1} \left(-12V_1 + 8 \frac{V_1}{T_1} t \right) dt = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \left(-12V_1 t + 4 \frac{V_1}{T_1} t^2 \right) \Big|_{\frac{3}{4} T_1}^{\frac{3}{4} T_1} = \frac{1}{4} V_1 T_1 - 12V_1 t + 4 \frac{V_1}{T_1} t^2 + 15V_1 T_1 - \frac{25}{4} V_1 T_1 = 9V_1 T_1 - 12V_1 t + 4 \frac{V_1}{T_1} t^2. \quad (29)$$

В частности, на концах интервала:

$$S_{4X} \Big|_{t=\frac{5}{4} T_1} = \frac{1}{4} V_1 T_1; S_{4X} \Big|_{t=\frac{3}{2} T_1} = 0. \quad (30)$$

Далее – повторы (из-за периодичности) $(t \rightarrow t + \frac{3}{2} T_1)$:

$$S_{5X} = 0 + \int_{\frac{3}{2} T_1}^{\frac{3}{2} T_1} g_{5x} dt = \int_{\frac{3}{2} T_1}^{\frac{3}{2} T_1} \left(-3V_1 + 2 \frac{V_1}{T_1} t \right) dt = \left(-3V_1 t + \frac{V_1}{T_1} t^2 \right) \Big|_{\frac{3}{2} T_1}^{\frac{3}{2} T_1} = -3V_1 t + \frac{V_1}{T_1} t^2 + \frac{9}{2} V_1 T_1 - \frac{9}{4} V_1 T_1 = \frac{9}{4} V_1 T_1 - 3V_1 t + \frac{V_1}{T_1} t^2, \quad (31)$$

В частности, на концах интервала:

$$S_{5X} \Big|_{t=\frac{3}{2} T_1} = 0; S_{5X} \Big|_{t=2T_1} = \frac{1}{4} V_1 T_1, \quad (32)$$

$$S_{6X} = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \int_{\frac{5}{2} T_1}^{\frac{5}{2} T_1} g_{6x} dt = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \int_{\frac{5}{2} T_1}^{\frac{5}{2} T_1} \left(5V_1 - 2 \frac{V_1}{T_1} t \right) dt = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \left(5V_1 t - \frac{V_1}{T_1} t^2 \right) \Big|_{\frac{5}{2} T_1}^{\frac{5}{2} T_1} = \frac{1}{4} V_1 T_1 + 5V_1 t - \frac{V_1}{T_1} t^2 - 10V_1 T_1 + 4V_1 T_1 = -\frac{23}{4} V_1 T_1 + 5V_1 t - \frac{V_1}{T_1} t^2. \quad (33)$$

В частности, на концах интервала:

$$S_{6X} \Big|_{t=2T_1} = \frac{1}{4} V_1 T_1; S_{6X} \Big|_{t=\frac{5}{2} T_1} = \frac{1}{2} V_1 T_1, \quad (34)$$

$$S_{7X} = \frac{1}{2} V_1 T_1 + \int_{\frac{5}{2} T_1}^{\frac{5}{2} T_1} g_{7x} dt = \frac{1}{2} V_1 T_1 + \int_{\frac{5}{2} T_1}^{\frac{5}{2} T_1} \left(20V_1 - 8 \frac{V_1}{T_1} t \right) dt = \frac{1}{2} V_1 T_1 + \left(20V_1 t - 4 \frac{V_1}{T_1} t^2 \right) \Big|_{\frac{5}{2} T_1}^{\frac{5}{2} T_1} = \frac{1}{2} V_1 T_1 + 20V_1 t - 4 \frac{V_1}{T_1} t^2 - 50V_1 T_1 + 25V_1 T_1 = -\frac{49}{2} V_1 T_1 + 20V_1 t - \frac{4V_1}{T_1} t^2. \quad (35)$$

В частности, на концах интервала:

$$S_{7X} \Big|_{t=\frac{5}{2} T_1} = \frac{1}{2} V_1 T_1; S_{7X} \Big|_{t=\frac{11}{4} T_1} = \frac{1}{4} V_1 T_1, \quad (36)$$

$$S_{8X} = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \int_{\frac{11}{4} T_1}^{\frac{11}{4} T_1} g_{8x} dt = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \int_{\frac{11}{4} T_1}^{\frac{11}{4} T_1} \left(-24V_1 + 8 \frac{V_1}{T_1} t \right) dt = \frac{1}{4} V_1 T_1 + \left(-24V_1 t + 4 \frac{V_1}{T_1} t^2 \right) \Big|_{\frac{11}{4} T_1}^{\frac{11}{4} T_1} = \frac{1}{4} V_1 T_1 + (-24V_1) t + 4 \frac{V_1}{T_1} t^2 + 66V_1 T_1 - \frac{121}{4} V_1 T_1 = 36V_1 T_1 - 24V_1 t + 4 \frac{V_1}{T_1} t^2. \quad (37)$$

В частности, на концах интервала:

$$S_{8X} \Big|_{t=\frac{11}{4} T_1} = \frac{1}{4} V_1 T_1; S_{8X} \Big|_{t=3T_1} = 0. \quad (38)$$

По результатам выполненных расчетов построены графики проекций скорости, ускорения и перемещения горизонтального решета в разные моменты времени, представленные на рисунках 1–3.

По оси абсцисс время отложено в единицах величины $T_1 \approx 0,21$ с. По оси ординат скорость в единицах величины $V_1 \approx 0,28$ м/с (рис. 1).

По оси абсцисс время отложено в единицах величины $T_1 \approx 0,21$ с. По оси ординат – ускорение в единицах величины $\frac{V_1}{T_1} \approx 1,33$ м/с² (рис. 2).

По оси абсцисс время отложено в единицах величины $T_1 \approx 0,21$ с. По оси ординат – скорость в единицах величины $V_1 = 0,06$ м/Т₁ (рис. 3).

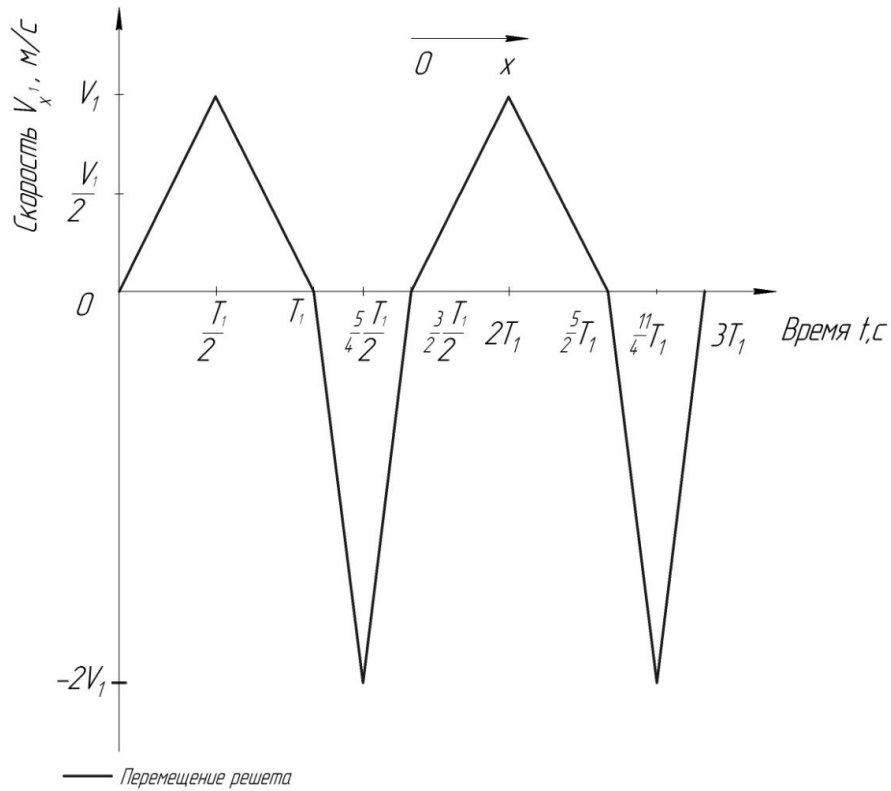


Рис. 1. Проекция скорости решетки в разные моменты времени

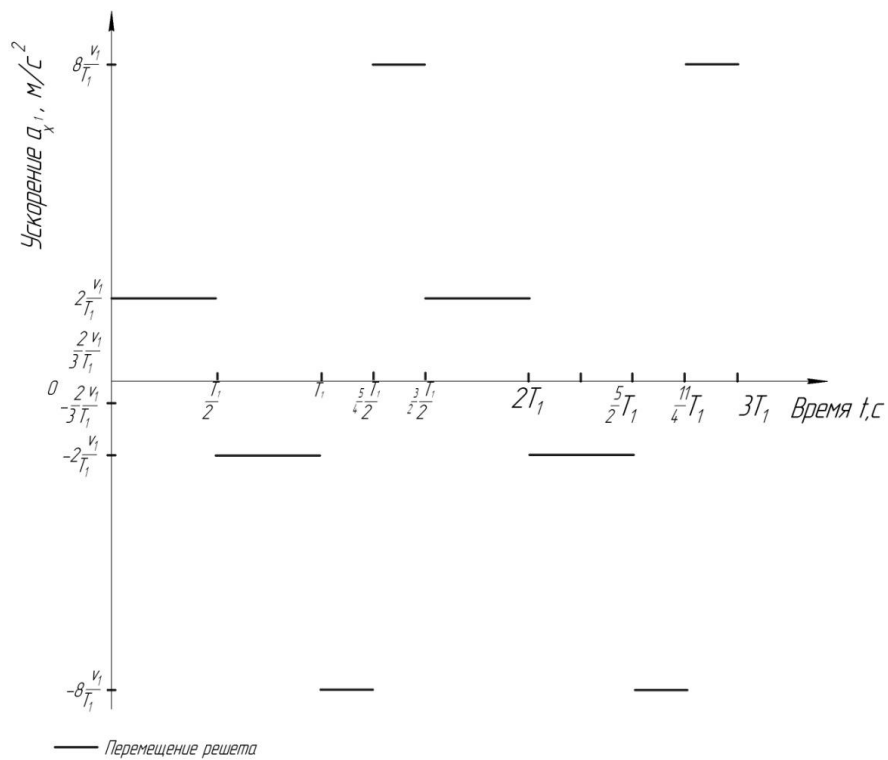


Рис. 2. Проекция ускорения решетки в разные моменты времени

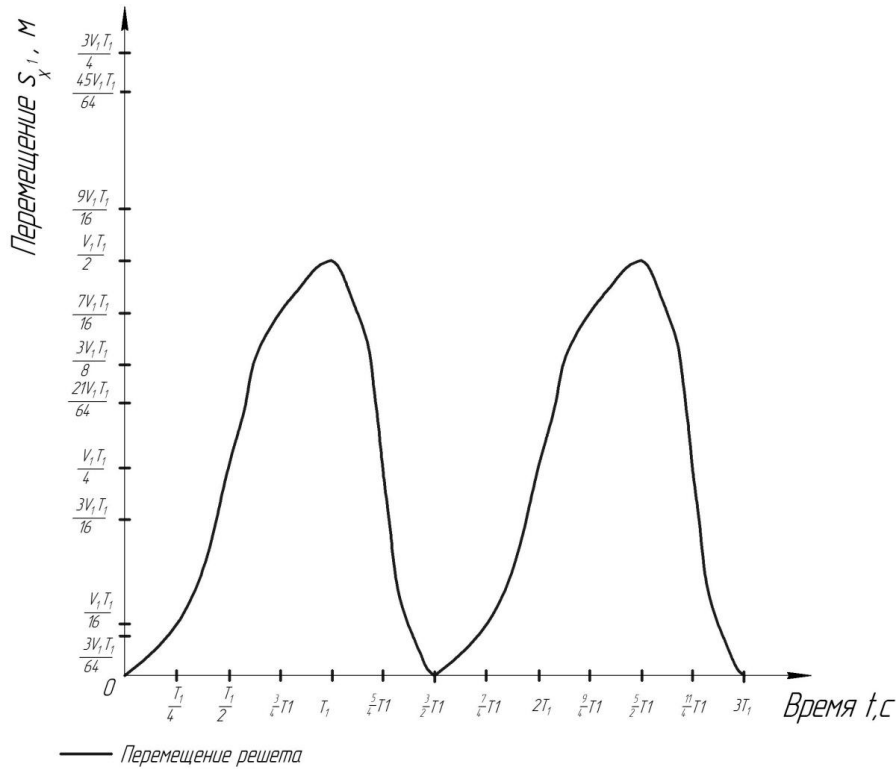


Рис. 3. Проекция перемещения решета в разные моменты времени

Выводы. Данным исследованием определены режимы движения горизонтального решета. На практике это позволит снизить потери семенного материала и повысить качество очистки.

Модель рекомендована для проектирования оборудования по очистке семенного материала сосны сибирской кедровой.

Литература

- 1 Дырдин С.Н. Результаты исследования динамики горизонтального решета для сепарации кедрового ореха // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – № 12. – С. 19–22.
- 2 Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике // Справочное пособие: в 7 т. Т. 5. Кулачковые и фрикционные механизмы. Механизмы с гибкими звеньями. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1981.– 400 с.

- 3 Кленин Н.И., Попов И.Ф., Сакун В.А. Сельскохозяйственные машины. Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы. – М: Колос, 1970. – 495 с.

Literatura

1. Dyrdin S.N. Rezul'taty issledovaniya dinamiki gorizontalnogo resheta dlja separacii kedrovogo oreha // Vestn. KrasGAU. – 2012. – № 12. – S. 19–22.
2. Artobolevskij I.I. Mehanizmy v sovremennoj tehnike // Spravochnoe posobie: v 7 t. T. 5. Kulachkovye i frikcionnye mehanizmy. Mehanizmy s gibkimi zven'jami. – 2-e izd., pererab. – M.: Nauka, 1981.– 400 s.
3. Klenin N.I., Popov I.F., Sakun V.A. Sel'skohozjajstvennye mashiny. Jelementy teorii rabochih processov, raschet regulirovochnyh parametrov i rezhimov raboty. – M: Kolos, 1970. – 495 s.