Теоретический анализ работы модернизированного картофелекопателя

Иванкина Ольга Петровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Физика и прикладная механика» Рязанский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский государственный машиностроительный университет»), 390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская д.26/53, Рязанский институт (филиал) Университета машиностроения.

e-mail: ivankina25@yandex.ru

Ключевые слова: картофелеуборочная машина, модернизированный картофелекопатель, колеблющейся лемех, закон движения лемеха, закон движения частицы почвы.

В статье приведены теоретические исследования работы активного лемеха. Рассмотрена динамика лемеха и частицы почвы, находящейся на поверхности лемеха. Получены законы движения самоколеблющегося лемеха и частицы почвы.

Theoretical analysis of work of the modernized potato digger

Keywords: potato digger, modernization potato digger, the fluctuating ploughshare, the law of the movement of a ploughshare, the law of the movement of a particle of the soil

Theoretical researches of work of an active ploughshare are given in article. Fluctuations of a ploughshare and the particle of soil, which is located on the surface of a ploughshare, are considered. The obtained laws of motion of a vibrating plow and particle of soil

Подкапывающие рабочие органы картофелеуборочных машин выполняют начальную операцию в технологическом процессе работы картофелеуборочной машины. Широкое распространение получили пассивные лемеха, которые применяются на картофелекопателях. Но они имеют недостатки: часто происходит сгруживание почвенного пласта из-за неудовлетворительного продвижения по поверхности лемеха, происходит зависание ботвы и растительных остатков. Поэтому был разработан картофелекопатель с самоколеблющимися лемехами [1,2].

Для исследования движения самоколеблющегося лемеха рассмотрим систему, состоящую из лемеха и частицы почвы (рисунок 1).

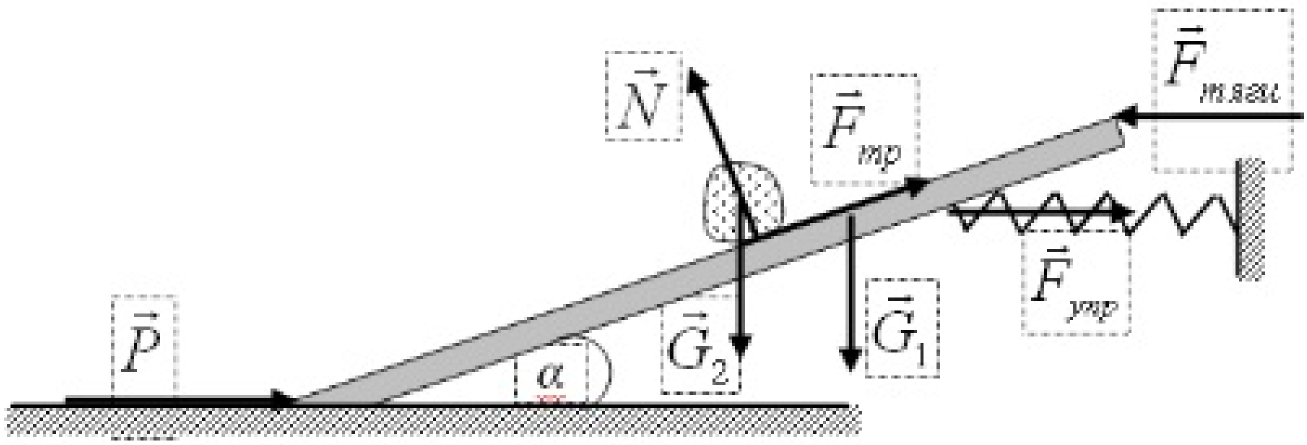

Рисунок 1- Силы, действующие на систему лемех - частица грунта

На систему действуют сила тяжести лемеха G_1 , сила тяжести частицы грунта G_2 , сила упругости $F_{упр}$, сила резания грунта P , сила трения $F_{тр}$ частицы грунта о поверхность лемеха, сила тяги $F_{тяги}$ картофелекопателя, нормальная реакция опорной поверхности лемеха N для частицы грунта.

Для описания движения системы используем уравнения Лагранжа второго рода. Система имеет две степени свободы, поэтому в качестве обобщенных координат примем: x – перемещение лемеха и y – перемещение частицы грунта по поверхности лемеха (рисунок 2).

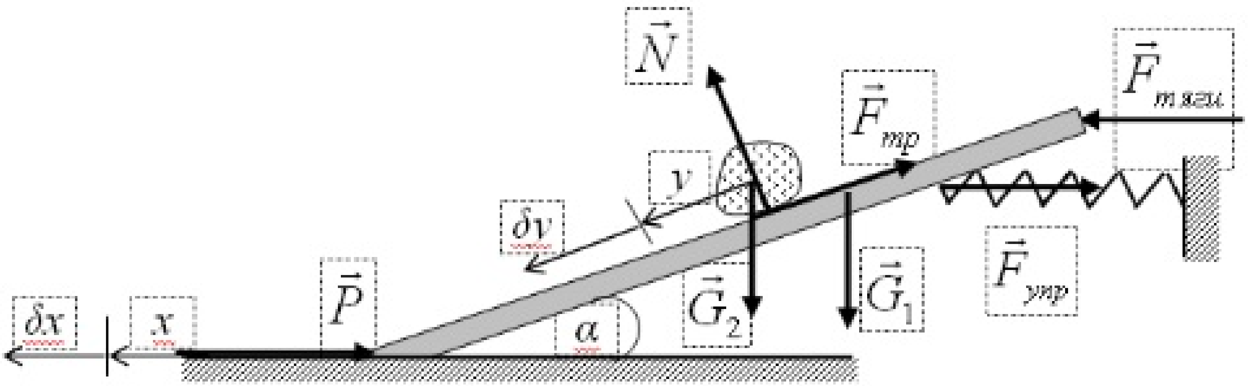

Рисунок 2- Схема для составления уравнения движения лемеха с частицей грунта

Тогда уравнения Лагранжа будут иметь вид [3]

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\left(\dfrac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) - \dfrac{\partial T}{\partial x} = Q_x, \\ \dfrac{d}{dt}\left(\dfrac{\partial T}{\partial \dot{y}}\right) - \dfrac{\partial T}{\partial y} = Q_y. \end{cases} \quad (1)$$

Кинетическая энергия системы равна $T = T_1 + T_2$,

где $T_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$ - кинетическая энергия поступательного движения лемеха; $T_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$ - кинетическая энергия частицы почвы.

Скорости v_1 и v_2 в обобщенных координатах имеют вид:

$$v_1 = \dot{x} \text{ и } v_2 = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + 2\dot{x} \cdot \dot{y} \cdot \cos\alpha} \ .$$

Тогда кинетическая энергия системы будет равна

$$T = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_2 \left(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + 2\dot{x}\dot{y}\cos\alpha\right) \ . \quad (2)$$

Обобщенная сила соответствующая обобщенной координате x равна

$$Q_x = -P(x) - cx + F_{тяги} \text{ . (3)}$$

Обобщенная сила соответствующая обобщенной координате y равна

$$Q_y = m_2 g\sin\alpha - m_2 g\cos\alpha\cdot f = m_2 g(\sin\alpha - \cos\alpha\cdot f) \text{ . (4)}$$

Подставляя (2), (3) и (4) в (1), получим систему уравнений, описывающих движение системы лемех – частица грунта.

$$\begin{cases}(m_1+m_2)\ddot{x} + m_2\cos\alpha\cdot\ddot{y} = -P(x) - cx + F_{тяги},\\ m_2\ddot{y} + m_2\cos\alpha\cdot\ddot{x} = m_2 g(\sin\alpha - f\cdot\cos\alpha).\end{cases} \quad (5)$$

Из второго уравнения системы (5) найдем

$$\ddot{y} = g(\sin\alpha - f\cos\alpha) - \ddot{x}\cos\alpha \text{ , (6)}$$

подставим в первое уравнение системы (5), и после преобразования, получим:

$$(m_1 + m_2 - m_2\cos^2\alpha)\ddot{x} + cx = -m_2 g\cos\alpha(\sin\alpha - f\cos\alpha) - P(x) + F_{тяги}$$

Обозначая $M = (m_1 + m_2 - m_2\cos^2\alpha) = m_1 + m_2\sin^2\alpha$ и, учитывая, что сила резания имеет вид [4]

$$P(x) = P_B + \frac{P_C}{2} - \frac{P_C}{\pi}\left(\sin\frac{\pi}{l}x + \frac{1}{2}\sin\frac{2\pi}{l}x + \frac{1}{3}\sin\frac{3\pi}{l}x + \ldots + \frac{1}{n}\sin\frac{n\pi}{l}x\right) \text{, (7)}$$

получим для четырех гармоник дифференциальное уравнение движения лемеха

$$\ddot{x} + k^2 x = -a + b\left(\sin nx + \frac{1}{2}\sin 2nx + \frac{1}{3}\sin 3nx + \frac{1}{4}\sin 4nx\right) \text{, (8)}$$

Где

$$\frac{c}{M} = k^2, \quad \frac{F_{тяги}}{M} + \frac{P_B}{M} + \frac{P_C}{2M} + \frac{m_2}{M}g\cos\alpha(\sin\alpha - f\cos\alpha) = a, \quad \frac{P_C}{M\cdot\pi} = b, \quad \frac{\pi}{l} = n, \text{ (9)}$$

Решив полученное дифференциальное уравнение операционным методом, получим закон движения лемеха

$$\begin{aligned} x(t) = &-\frac{a}{k^2}(t - \sin kt) + \frac{b}{k(n+k)}\sin\left(\frac{k+n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-n}{2}t\right) + \frac{b}{k(n-k)}\sin\left(\frac{k-n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+n}{2}t\right) + \\ &+ \frac{b}{2k(2n+k)}\sin\left(\frac{k+2n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-2n}{2}t\right) + \frac{b}{2k(2n-k)}\sin\left(\frac{k-2n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+2n}{2}t\right) + \\ &+ \frac{b}{3k(3n+k)}\sin\left(\frac{k+3n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-3n}{2}t\right) + \frac{b}{3k(3n-k)}\sin\left(\frac{k-3n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+3n}{2}t\right) + \\ &+ \frac{b}{4k(4n+k)}\sin\left(\frac{k+4n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-4n}{2}t\right) + \frac{b}{4k(4n-k)}\sin\left(\frac{k-4n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+4n}{2}t\right). \end{aligned} \quad (10)$$

Постоянные a, b, n и k определяются формулами (9).

Закон движения лемеха при a = 0,05 м/с^2, b = 100 м/с, n = 40 м$^{-1}$ и

k = 20 с$^{-1}$ показан на рисунке 4.

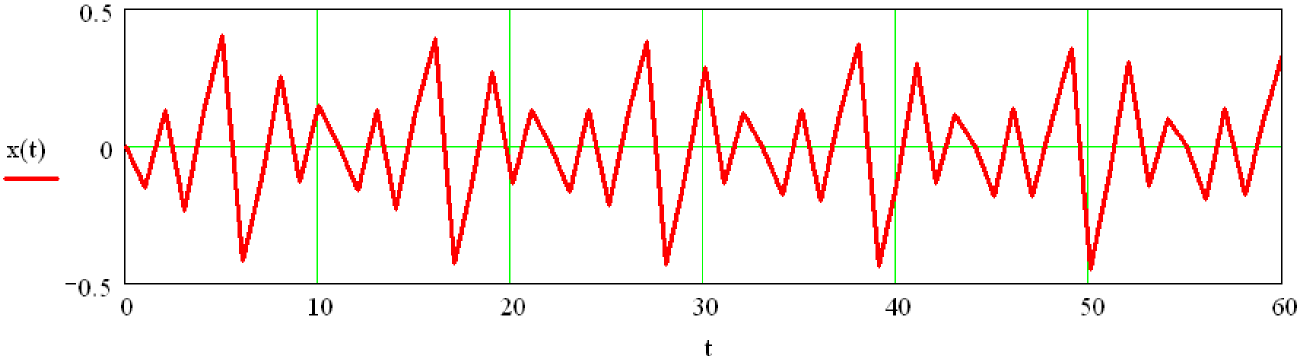

Рисунок 4 – Закон движения лемеха

Найдем закон движения частицы почвы, находящейся на поверхности лемеха. В результате интегрирования уравнения (6), получим

$$y = g(\sin\alpha - f\cos\alpha)\frac{t^2}{2} - x(t)\cos\alpha, \quad (11)$$

где x(t) – закон движения лемеха (10).

Подставляя (10) в (11), получим закон движения частицы почвы, находящейся на поверхности лемеха.

$$\begin{aligned} y(t) = {} & g(\sin\alpha - f\cos\alpha)\frac{t^2}{2} - \frac{a\cdot\cos\alpha}{k^2}(t - \sin kt) + \frac{b\cdot\cos\alpha}{k(n+k)}\sin\left(\frac{k+n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-n}{2}t\right) + \\ & + \frac{b\cdot\cos\alpha}{k(n-k)}\sin\left(\frac{k-n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+n}{2}t\right) + \frac{b\cdot\cos\alpha}{2k(2n+k)}\sin\left(\frac{k+2n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-2n}{2}t\right) + \\ & + \frac{b\cdot\cos\alpha}{2k(2n-k)}\sin\left(\frac{k-2n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+2n}{2}t\right) + \frac{b\cdot\cos\alpha}{3k(3n+k)}\sin\left(\frac{k+3n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-3n}{2}t\right) + \quad (12) \\ & + \frac{b\cdot\cos\alpha}{3k(3n-k)}\sin\left(\frac{k-3n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+3n}{2}t\right) + \frac{b\cdot\cos\alpha}{4k(4n+k)}\sin\left(\frac{k+4n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-4n}{2}t\right) + \\ & + \frac{b\cdot\cos\alpha}{4k(4n-k)}\sin\left(\frac{k-4n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+4n}{2}t\right). \end{aligned}$$

Закон движения частицы почвы при a = 0,05 м/с^2, b = 100 м/с, n = 40 м$^{-1}$ и k = 20 с$^{-1}$ f = 0,5 и α = 30^0 показан на рисунке 5.

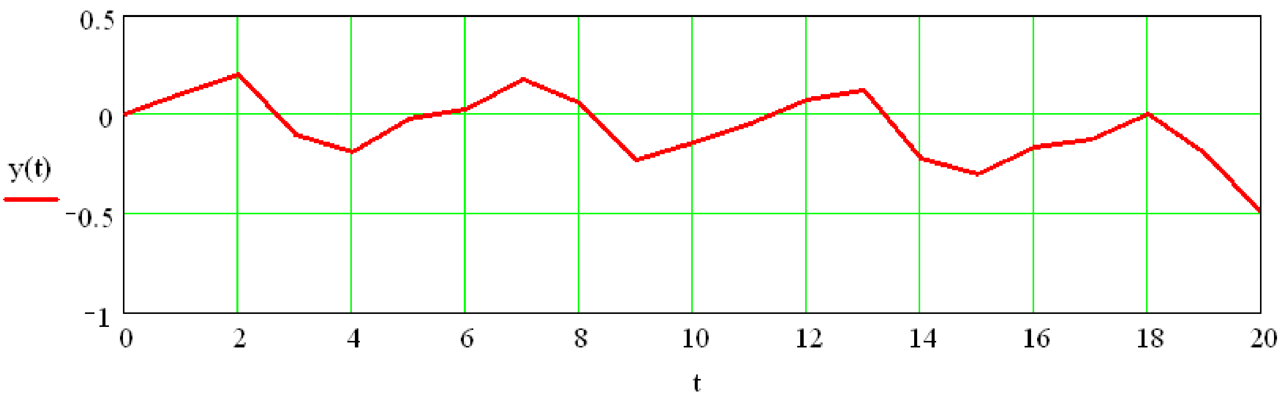

Рисунок 5 - Закон движения частицы почвы

Выводы. 1. Теоретические исследования показали, что лемех, модернизированный с помощью цилиндрической пружины, совершает колебательные движения.

2. Частица почвы, находящаяся на самоколеблющемся лемехе, подвергается вибрациям со стороны лемеха, что позволяет улучшить процесс первичной сепарации почвы.

3. Полевые испытания [5] подтверждают достоверность теоретического исследования.

Литература

1. Иванкина О.П., Угланов М.Б., Чхетиани А.А. Подпружиненный лемех картофелеуборочной машины // Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства: сб. науч. тр. ГНУ ВНИМС Россельхозакадемии: - Рязань, 2013, С 159-163.

2. Иванкина О.П., Угланов М.Б., Чхетиани А.А. Теоретическое исследование движения самоколеблющегося лемеха картофелеуборочной машины// Техника и оборудование для села.. № 12, 2012, С. 8 – 10.

3.Яблонский А.А. Курс теоретической механики: учебник – 15 – е изд., стер. –М.: КНОРУС, 2010. – 608 с.

4. Иванкина О.П., Угланов М.Б., Чхетиани А.А. Теоретическое определение усилия резания усовершенствованного подкапывающего лемеха картофелекопателя // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии № 1, 2012, С. 143 – 144

5. Иванкина О.П., Угланов М.Б., Чхетиани А.А. Полевые испытания экспериментального картофелекопателя с самоколеблющимися лемехами. // Аграрная наука Евро – Северо – Востока. № 2 (27) 2012, С. 64-68.