

DOI  
УДК 631.171

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДПРУЖИНЕННОГО ЛЕМЕХА С ЧАСТИЦЕЙ ПОЧВЕННОГО ПЛАСТА ОСНОВАННОЕ НА РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ЛАГРАНЖА ВТОРОГО РОДА

Ю. А. Юдаев, Ю. Н. Абрамов, О. П. Иванкина, М. Б. Угланов, Е. И. Байгильдеева

**Реферат.** Уборка картофеля – важный процесс в технологии выращивания культуры. При его реализации необходимо не полное крошение поверхностного слоя почвы, а только разбивание ее комьев, что достигается путем введения в конструкцию лемеха пружины. При поступательном движении возникает сила, направленная в противоположную сторону, которая сжимает пружину. При уменьшении силы действующей на лемех она разжимается, при увеличении сжимается. Возникающие колебания передаются комьям почвы и, при достаточной силе воздействия, происходит их разрушение. Колебания лемеха приводят к изменению его кинетической энергии. Мгновенная энергия увеличивается и уменьшается, тогда, как средняя остается постоянной. Более полную информацию о взаимодействии лемеха с поверхностным слоем можно получить путем математического моделирования. Цель исследования – определение коэффициента сжатия пружины. Моделирование построено на решении уравнений Лагранжа второго рода в Декартовой системе координат с начальными и граничными условиями, определяемыми конструкцией лемеха. При составлении математической модели учитывали:  $\vec{G}_1$  – сила тяжести лемеха;  $\vec{G}_2$  – сила тяжести почвенного пласта;  $\vec{F}_{упр}$  – сила упругости пружины, которая создает дополнительные колебания;  $\vec{P}$  – сила резания почвенного пласта;  $\vec{F}_{тр}$  – сила трения почвенного пласта о поверхность лемеха,  $\vec{N}$  – нормальная реакция опорной поверхности лемеха и угол его входа в поверхностный слой. Моделирование позволило определить изменения мгновенного значения кинетической энергии, которое находится в диапазоне от 0 до 3,6 Дж. Оптимальная амплитуда колебаний лемеха при поступательном движении со скоростью 6 км/ч составила 0,02 м. Коэффициент жесткости пружины для суглинистых почв Рязанской области должен находиться в интервале 2200...3000 Н/м.

**Ключевые слова:** подпружиненный лемех, комки почвы, движение частицы почвы, почвенный пласт, колебания, энергия колебаний.

**Введение.** При движении лемеха разрушение поверхностного слоя почвы имеет не линейный характер, который сложно описать математическими формулами. Происходит постоянное изменение различных взаимодействующих сил, поэтому при моделировании процесса обработки почвы необходимо использовать значения средней и мгновенной энергий, которые затрачиваются на разрушение поверхностного слоя.

При выкапывании картофеля лемех картофелеуборочного комбайна движется

со скоростью до 6 км/ч, а для полного крошения почвы необходимо ее увеличение до 12...14 км/ч [1, 2, 3], что приведет к повышению тягового сопротивления и повреждению клубней [4, 5]. С учетом того, что при уборке картофеля необходимо не полное крошение поверхностного слоя почвы, а только разбивание ее комьев, энергия воздействия может быть уменьшена [6, 7, 8].

Крошение поверхностного слоя почвы и разбивание комьев достигается путем введения в конструкцию лемеха пружины (рис. 1).

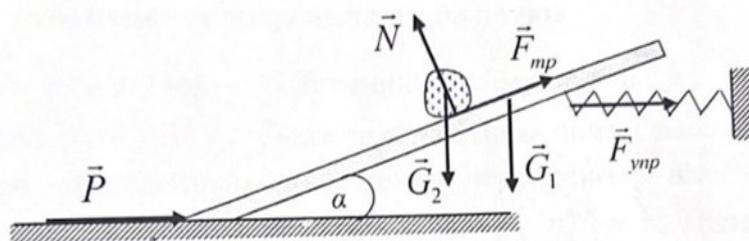


Рис. 1 – Схема расположения действующих сил на систему подпружиненного лемеха с

частицей почвенного пласта:  $\vec{G}_1$  – сила тяжести лемеха;  $\vec{G}_2$  – сила тяжести частицы почвенного пласта;  $\vec{F}_{упр}$  – сила упругости;  $\vec{P}$  – сила резания почвенного пласта;  $\vec{F}_{тр}$  – сила трения частицы почвенного пласта о поверхность лемеха,  $\vec{N}$  – нормальная реакция опорной поверхности лемеха для частицы почвенного пласта.

При поступательном движении возникает сила, направленная в сторону противоположную направлению движения, которая сжимает пружину. При уменьшении силы действующей на лемех она разжимается, при увеличении сжимается. Возникающие колебания передаются комьям почвы и, при достаточной силе воздействия, происходит их разрушение. Колебания лемеха приводят к изменению его кинетической энергии. Мгновенная энергия увеличивается и уменьшается, тогда, как средняя остается постоянной. Более полную информацию о взаимодействии лемеха с поверхностным слоем почвы можно получить путем математического моделирования.

Цель исследования – определение коэффициента жесткости пружины при уборке картофеля на суглинистых почвах Рязанской области.

**Условия, материалы и методы.** Для увеличения эффективности обработки почвы необходимы инновационные способы и

рабочие органы, которые не только сжимают поверхностный слой, но и используют другие принципы механического воздействия [9, 10, 11]. Более полного понимания протекающих при этом процессов можно достичь при использовании методов математического моделирования [12, 13, 14]. Для удаления комков почвы пригодных методы, основанные, в том числе, на вибрации [15]. При выкапывании картофеля по лемеху движется поверхностный пласт почвы (рис. 1).

Для составления уравнений, на основании которых будет проводиться моделирование, выберем оси координат (рис. 2) следующим образом: для переносного движения – ось  $x$ , для относительного движения – ось  $y$ . Для описания движения системы, в которой имеется две степени свободы, воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода, в качестве обобщенных координат возьмем:  $x$  – перемещение лемеха,  $y$  – перемещение частицы почвенного пласта по лемеху.

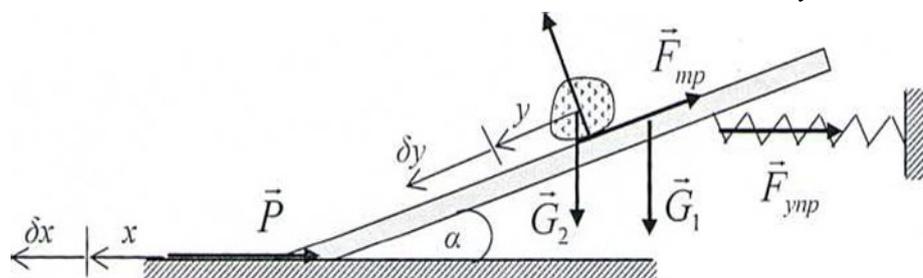


Рис. 2 – Схема для составления уравнения взаимодействия подпружиненного лемеха с частицей почвенного пласта

В выбранных осях уравнения Лагранжа будет иметь следующий вид:

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

где  $T$  – кинетическая энергия, Дж;  $t$  – время, с; с точкой обозначено дифференцирование по времени, м/с;  $Q$  – обобщенная сила, Н;  $x, y$  – координаты, м.

Кинетическая энергия  $T$  будет складываться из энергии поступательного движения лемеха  $T_1$  и энергии частицы почвенного пласта  $T_2$ :

$$T = T_1 + T_2, \quad (2)$$

Тогда:

$$T_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2, \text{ а } T_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

где  $m_1, m_2$  – массы лемеха и частицы почвенного пласта, кг;  $v_1, v_2$  – скорости лемеха и частицы почвенного пласта м/с. Через обобщенные скорости

$$\dot{x} \text{ и } \dot{y}$$

можно выразить  $v_1$  и  $v_2$ :  $v_1 = \dot{x}$   $v_2 = \dot{y}$

Рассмотрим движение частицы почвенного пласта: по поверхности лемеха, как относительно, вместе с движением подпружиненного лемеха, который совершает переносное движение. В этом случае скорость

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_2^{omn} + \vec{v}_2^{nep}, \text{ где } v_2^{omn} = \dot{y} \text{ } v_2^{nep} = \dot{x} \text{ (рис. 3).}$$

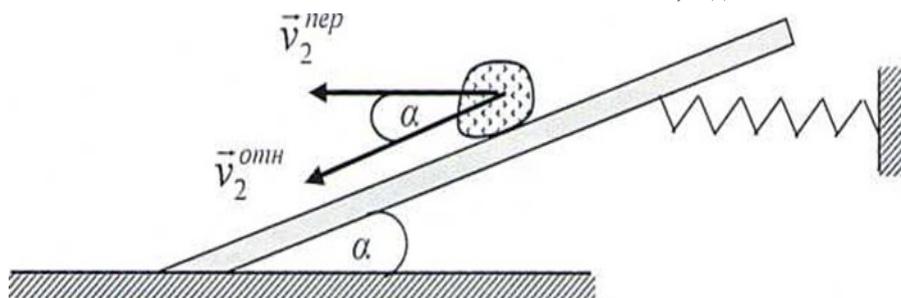


Рис. 3 – Схема для определения характера движения частицы почвенного пласта

Модуль скорости  $v_2$  частицы почвенного пласта будет равен:

$$v_2 = \sqrt{(v_2^{omn})^2 + (v_2^{nep})^2 + 2 \cdot v_2^{omn} \cdot v_2^{nep} \cdot \cos \alpha},$$

после преобразования

$$v_2^2 = (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + 2\dot{x} \cdot \dot{y} \cdot \cos \alpha)$$

В этом случае кинетическая энергия системы будет равна

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

Первые производные кинетической энергии по координатам и по скоростям будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} &= m_1 \dot{x} + m_2 \dot{x} + m_2 \dot{y} \cos \alpha, \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} &= m_2 \dot{y} + m_2 \dot{x} \cos \alpha, \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= \frac{\partial T}{\partial y} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Найдем проекции обобщенных сил системы  $Q_x$  и  $Q_y$ . Для определения  $Q_x$  необходимо придать системе такое перемещение, чтобы координата  $x$  получила приращение  $\delta x > 0$ , а приращение  $y$  будет  $\delta y = 0$  (рис. 2)

Изменение работы  $A$  при этом перемещении определяется по формуле:

$$\delta A = -P(x) \delta x - F_{yup} \delta x,$$

где  $P$  – сила резания почвенного пласта,  $H$  (рис. 1).

Допустим, что сила упругости  $F_{yup}$  подчиняется закону Гука, таким образом:

$$F_{yup} = c |x|,$$

где  $c$  – жесткость пружины  $H/m$ ,  $x$  – изменение размера пружины,  $m$ .

Следовательно:

$$\delta A = -P(x) \delta x - cx \delta x$$

Тогда:

$$Q_x = -P(x) - cx \quad (4)$$

Работу всех сил при этом перемещении можно определить по формуле:

$$\delta A = -F_{yup} \delta y + G_2 \sin \alpha \delta y$$

Обобщенная сила  $Q_y$ , которая соответствует обобщенной координате  $y$  определяется следующим образом:

$$Q_y = -F_{mp} + G_2 \sin \alpha$$

Если

$$G_2 = m_2 g, \text{ а } F_{mp} = N \cdot f = G_2 \cdot \cos \alpha \cdot f = m_2 g \cos \alpha \cdot f$$

тогда

$$Q_y = m_2 g \sin \alpha - m_2 g \cos \alpha \cdot f = m_2 g (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot f) \quad (5)$$

где  $f$  – коэффициент трения.

В конечном итоге преобразований получим систему уравнений движения системы «лемех – частица почвенного пласта»:

$$\begin{cases} (m_1 + m_2) \ddot{x} + m_2 \cos \alpha \cdot \ddot{y} = -P(x) - cx, \\ m_2 \ddot{y} + m_2 \cos \alpha \cdot \ddot{x} = m_2 g (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha). \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы (6) приводит к дифференциальному уравнению движения подпружиненного лемеха. Получим дифференциальное уравнение движения подпружиненного лемеха:

$$\ddot{x} + k^2 x = -a + b \left( \sin nx + \frac{1}{2} \sin 2nx + \frac{1}{3} \sin 3nx + \frac{1}{4} \sin 4nx \right) \quad (7)$$

Для решения этого уравнения воспользуемся операционным методом. Возьмем  $t=0$ ,  $x=0$ ,  $v_x=v_y=0$  как начальные и граничные условия. Для решения необходимо составить вспомогательное уравнение:

$$F(p)(p^2 + k^2) = -\frac{a}{p} + b \left( \frac{n}{p^2 + n^2} + \frac{1}{2} \frac{2n}{p^2 + 4n^2} + \frac{1}{3} \frac{3n}{p^2 + 9n^2} + \frac{1}{4} \frac{4n}{p^2 + 16n^2} \right)$$

В процессе расчета получим:

$$F(p) = -\frac{a}{p(p^2 + k^2)} + bn \cdot \quad (8)$$

$$\left( \frac{1}{(p^2 + k^2)(p^2 + n^2)} + \frac{1}{(p^2 + k^2)(p^2 + 4n^2)} + \frac{1}{(p^2 + k^2)(p^2 + 9n^2)} + \frac{1}{(p^2 + k^2)(p^2 + 16n^2)} \right)$$

Воспользуемся операторным методом решения и найдем оригиналы, соответствующих изображениям функций (8).

Для этого разложим дробь  $\frac{a}{p(p^2 + k^2)}$

на простейшие уравнения:

$$\frac{a}{p(p^2 + k^2)} = \frac{A}{p} + \frac{Bp + C}{p^2 + k^2},$$

$$\frac{a}{p(p^2 + k^2)} = \frac{A}{p} + \frac{Bp + C}{p^2 + k^2},$$

$$a = (A + B)p^2 + Cp + Ak^2,$$

$$\begin{cases} A + B = 0, \\ C = 0, \\ Ak^2 = a. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} B = -A = -\frac{a}{k^2}, \\ C = 0, \\ A = \frac{a}{k^2}. \end{cases}$$

Исходя из расчета, делаем вывод, что

$$\frac{a}{p(p^2 + k^2)} = \frac{a}{k^2 \cdot p} - \frac{a}{k^2} \cdot \frac{p}{p^2 + k^2} = \frac{a}{k^2} \left( \frac{1}{p} - \frac{p}{p^2 + k^2} \right)$$

Этому изображению будет соответствовать оригинал

$$\frac{a}{k^2} \left( \frac{1}{p} - \frac{p}{p^2 + k^2} \right) \div \frac{a}{k^2} (t - \sin kt) \quad (9)$$

После ряда преобразований получим уравнение движения подпружиненного лемеха картофелеуборочного комбайна:

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

**Результаты и обсуждение.** Анализ полученного выражения свидетельствует о том, что колебания лемеха носят гармонический характер с переменной амплитудой и частотой. Для достоверности моделирования и учета неоднородности почвы расчет

по формуле (10) необходимо проводить на компьютере с учетом случайного изменения коэффициентов  $a, b, c, k$  в диапазоне, определяемыми начальными и граничными условиями. После начала движения пружина, соединенная с лемехом, сжимается и по достижению некоторой величины силы сжатия начинает разжиматься. При изменении силы действующей на лемех изменяется скорость сжатия. В случае постоянной силы действующей со стороны почвы устанавливаются гармонические затухающие колебания (рис. 4). Такие временные характеристики возможны при жесткости пружины, находящейся в диапазоне 2200...3000 Н/м. При ее увеличении уменьшается амплитуда колебаний и возрастает их частота.

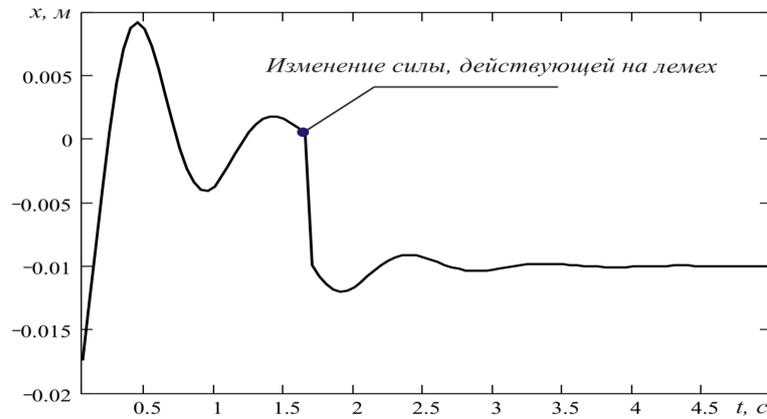


Рис. 4 – Один из вариантов движения подпружиненного лемеха

Аналогично определяется движение почвенного пласта, который находится на поверхности подпружиненного лемеха.

$$\begin{aligned}
 y(t) = & g(\sin \alpha - f \cos \alpha) \frac{t^2}{2} - \frac{a \cdot \cos \alpha}{k^2}(t - \sin kt) + \frac{b \cdot \cos \alpha}{k(n+k)}\sin\left(\frac{k+n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-n}{2}t\right) + \\
 & + \frac{b \cdot \cos \alpha}{k(n-k)}\sin\left(\frac{k-n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+n}{2}t\right) + \frac{b \cdot \cos \alpha}{2k(2n+k)}\sin\left(\frac{k+2n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-2n}{2}t\right) + \\
 & + \frac{b \cdot \cos \alpha}{2k(2n-k)}\sin\left(\frac{k-2n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+2n}{2}t\right) + \frac{b \cdot \cos \alpha}{3k(3n+k)}\sin\left(\frac{k+3n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-3n}{2}t\right) + \\
 & + \frac{b \cdot \cos \alpha}{3k(3n-k)}\sin\left(\frac{k-3n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+3n}{2}t\right) + \frac{b \cdot \cos \alpha}{4k(4n+k)}\sin\left(\frac{k+4n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k-4n}{2}t\right) + \\
 & + \frac{b \cdot \cos \alpha}{4k(4n-k)}\sin\left(\frac{k-4n}{2}t\right)\cos\left(\frac{k+4n}{2}t\right).
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

На лемехе возникают знакопеременные нагрузки, которые воздействуют на клубеносный пласт и способствуют его разрушению.

Скорость перемещения почвы по поверхности лемеха из-за его колебательных движений изменяется (рис. 5) в диапазоне примерно от 1,5 до 2 м/с (от 5,4 до 7 км/ч). Это складывается с поступательным движением самого лемеха (6 км/ч).

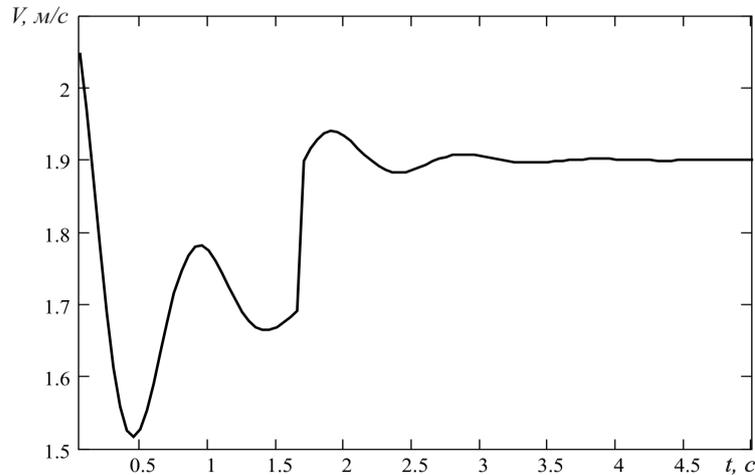


Рис. 5 – Движение частицы почвы по лемеху с учетом поступательного движения картофелеуборочного комбайна

В результате суммарная скорость перемещения почвенного пласта создает надежные условия для разрушения комьев.

Изменение скорости движения почвенного

пласта по лемеху приводит к изменению кинетической энергии (рис. 6). Происходят вибрационные процессы, которые разрушают комья почвы.

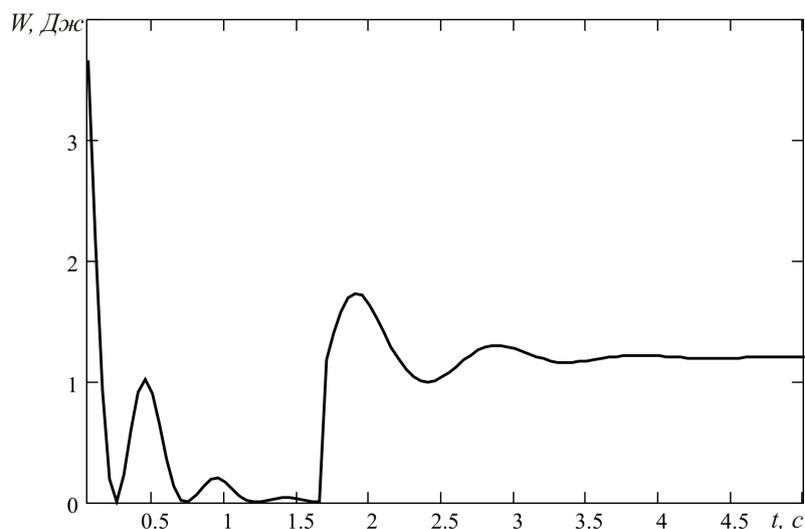


Рис. 6 – Изменение кинетической энергии частицы грунта относительно поверхности лемеха

**Выводы.** В результате построенной математической модели, основанной на решении уравнений Лагранжа второго рода, были проведены численные исследования движения подпружиненного лемеха и пласта почвы. Установлено, что использования подпружиненного лемеха позволяет увеличить мгновенную скорость движения почвенного пласта,

при жесткости пружины 2200...3000 Н/м, до 1,9...3,4 м/с, что соответствует скорости 6,8...12,2 км/ч. Диапазон скорости достаточен для надежного разбивания крупных комьев почвенного слоя на различных суглинках Рязанской области.

Для реализации указанных условий амплитуда колебаний может не превышать 0,02 м.

#### Литература

1. Лабораторно-полевые исследования модернизированной ботвоуборочной машины БД-4М / М. Б. Угланов, О. П. Иванкина, А. С. Попов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 78. – С. 403-412.
2. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна / И. А. Успенский, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, Р. В. Безносюк // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 1(49). – С. 262-269. – DOI 10.32786/2071-9485-2018-01-262-269.
3. Математическое моделирование работы подпружиненного лемеха картофелеуборочного комбайна / Ю. Н. Абрамов, М. Ю. Костенко, М. Б. Угланов, Ю. А. Юдаев // Вестник Рязанского государственного агро-технологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 106-113. – DOI 10.36508/RSATU.2022.75.73.015.
4. Optimization of the energy consumption of the shredder of the tops for the sustainable development of agriculture / Y. N. Abramov, S. N. Borychev, M. Y. Kostenko [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volgograd, 12–14 мая 2021 года. – Volgograd, 2022. – P. 012001. – DOI 10.1088/1755-1315/965/1/012001.
5. Обоснование и определение параметров бороздообразователя картофелесажалки / М. Н. Калимуллин, Д. Т. Халиуллин, И. Х. Гайфуллин, Р. Р. Хамитов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 3(67). – С. 84-89. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-84-89.
6. Development and theoretical study of the impact of the working body on the soil / M. N. Kalimullin, M. Z. Salimzyanov, V. F. Pervushin [et al.] // BIO Web of Conferences : International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources", Kazan, 26–28 мая 2022 года. Vol. 52. – Kazan: EDP Sciences, 2022. – P. 00056.
7. Evaluation of the significance of the contact model particle parameters in the modelling of wet soils by the discrete element method / S. Mudarisov, I. Farkhutdinov, R. Khamaletdinov [et al.] // Soil & Tillage Research. – 2022. – Vol. 215. – P. 105228. – DOI 10.1016/j.still.2021.105228.
8. Методика расчета и проектирование дозатора-распределителя почвы / И. Х. Гайфуллин, Д. Т. Халиуллин, М. Н. Калимуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 1(69). – С. 45-51. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-45-51.
9. К вопросу развития и экономической эффективности мелиоративной отрасли Республики Татарстан / М. М. Хисматуллин, А. Р. Валиев, М. М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 2(70). – С. 199-205. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-199-205.
10. Методический инструментарий оценки эффективности бюджетного финансирования вложений в обновление сельскохозяйственной техники и оборудования / Д. В. Кондратьев, Г. Я. Остаев, Г. С. Клычова

[и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 2(70). – С. 178-190. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-178-190.

11. Повышение эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения на основе совершенствования правового механизма (на примере республики Татарстан) / И. Г. Гайнутдинов, М. М. Хисматуллин, Н. М. Асадуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 1(69). – С. 102-111. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-102-111.

12. Ибяттов, Р. И. О моделировании случайных процессов в агропромышленном комплексе / Р. И. Ибяттов, Б. Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 1(65). – С. 50-55. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-50-55.

13. Инновационные машинные технологии в картофелеводстве России / С. С. Туболев, Н. Н. Колчин, Н. В. Бышов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 10. – С. 3-5.

14. Разработка и обоснование конструктивных и режимных параметров картофелесажалки / М. Н. Калимуллин, Р. Р. Багаутдинов, Р. Р. Хамитов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 1(65). – С. 62-66. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-62-66.

15. Substantiation of flat blade parameters for soil loosening / Y. N. Syromyatnikov, A. F. Mozgovsky, M. N. Kalimullin [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2021 года. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 042043. – DOI 10.1088/1755-1315/981/4/042043.

**Сведения об авторах:**

Юдаев Юрий Алексеевич - доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения, e-mail: yu.yudaev@mail.ru

Абрамов Юрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, e-mail: urijabramov78@mail.ru

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

Иванкина Ольга Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленное и гражданское строительство, e-mail: 89156061109@yandex.ru

Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, г. Рязань, Россия

Угланов Михаил Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, e-mail: university@rgatu.ru

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

Байгильдеева Екатерина Игоревна - кандидат технических наук, доцент кафедры переработки древесных материалов, e-mail: baigildeeva\_e\_i@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

**STUDY OF THE INTERACTION OF A SPRING-LOADED PLOUGHSHARE WITH SOIL LAYER PARTICLE BASED ON THE SOLUTION OF THE LAGRANGE EQUATION OF THE SECOND TYPE**

**Yu. A. Yudaev, Yu. N. Abramov, O. P. Ivankina, M. B. Uglanov, E. I. Baygildeeva**

**Abstract.** Potato harvesting is an important process in crop growing technology. When implementing it, it is not necessary to completely crumble the surface layer of the soil, but only to break up its clods, which is achieved by introducing a spring into the design of the ploughshare. During translational movement, a force arises directed in the opposite direction, which compresses the spring. When the force acting on the ploughshare decreases, it expands, and when it increases, it contracts. The resulting vibrations are transmitted to the soil clods and, with sufficient force, their destruction occurs. Vibrations of the share lead to a change in its kinetic energy. Instantaneous energy increases and decreases, while the average energy remains constant. More complete information about the interaction of the ploughshare with the surface layer can be obtained through mathematical modeling. The purpose of the study is to determine the compression coefficient of the spring. The simulation is based on solving Lagrange equations of the second type in the Cartesian coordinate system with initial and boundary conditions determined by the design of the ploughshare. When compiling a mathematical model, the following were taken into account: – the gravity of the ploughshare; – gravity of the soil layer; – the elastic force of the spring, which creates additional vibrations; – cutting force of the soil layer; – the friction force of the soil layer on the surface of the ploughshare, – the normal reaction of the supporting surface of the ploughshare and the angle of its entry into the surface layer. Modeling made it possible to determine changes in the instantaneous value of kinetic energy, which ranges from 0 to 3.6 J. The optimal amplitude of oscillation of the share during forward motion at a speed of 6 km/h was 0.02 m. The spring stiffness coefficient for loamy soils of the Ryazan region should be in the range of 2200...3000 N/m.

**Key words:** spring-loaded share, soil lumps, movement of soil particles, soil layer, vibrations, vibration energy.

**References**

1. Uglanov MB, Ivankina OP, Popov AS. [Laboratory and field research of the modernized tops harvesting machine BD-4M]. Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012; 78. 403-412 p.

2. Uspenskiy IA, Rembalovich GK, Kostenko MYu, Beznosyuk RV. [Assessment of a promising technological scheme for a potato harvester]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018; 1(49). 262-269 p. – DOI 10.32786/2071-9485-2018-01-262-269.

3. Abramov YuN, Kostenko MYu, Uglanov MB, Yudaev YuA. [Mathematical modeling of the operation of a spring-loaded ploughshare of a potato harvester]. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A.Kostycheva. 2022; Vol.14. 4. 106-113 p. – DOI 10.36508/RSATU.2022.75.73.015.

4. Abramov YuN, Borychev SN, Kostenko MY. Optimization of the energy consumption of the shredder of the tops for the sustainable development of agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volgograd, 12-14 maya 2021 goda. Volgograd. 2022; 012001 p. – DOI 10.1088/1755-1315/965/1/012001.

5. Kalimullin MN, Khaliullin DT, Gayfullin IKh, Khamitov RR. [Justification and determination of the parameters of the furrow former of the potato planter]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 3 (67). 84-89 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-84-89.

6. Kalimullin MN, Salimzyanov MZ, Pervushin VF. Development and theoretical study of the impact of the working unit on the soil. BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”, Kazan, 26-28 maya 2022 goda. Vol.52. Kazan: EDP Sciences. 2022; 00056 p.

7. Mudarisov S, Farkhutdinov I, Khamaletdinov R. Evaluation of the significance of the contact model particle

parameters in the modelling of wet soils by the discrete element method. Soil & Tillage Research. 2022; Vol.215. 105228 p. – DOI 10.1016/j.still.2021.105228.

8. Gayfullin IKh, Khaliullin DT, Kalimullin MN. [Methodology for calculation and design of a soil dispenser/distributor]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 1(69). 45-51 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-45-51.

9. Khismatullin MM, Valiev AR, Khismatullin MM. [On the issue of development and economic efficiency of the reclamation industry of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2(70). 199-205 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-199-205.

10. Kondrat'ev DV, Ostaev GYa, Klychova GS. [Methodological tools for assessing the effectiveness of budget financing of investments in updating agricultural machinery and equipment]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2(70). 178-190 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-178-190.

11. Gaynutdinov IG, Khismatullin MM, Asadullin NM. [Increasing the efficiency of use of agricultural land based on improving the legal mechanism (using the example of the Republic of Tatarstan)]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 1(69). 102-111 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-102-111.

12. Ibyatov RI, Ziganshin BG. [On modeling random processes in the agro-industrial complex]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 50-55 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-50-55.

13. Tubolev SS, Kolchin NN, Byshov NV. [Innovative machine technologies in potato growing in Russia]. Traktory i sel'khoz mashiny. 2012; 10. 3-5 p.

14. Kalimullin MN, Bagautdinov RR, Khamitov RR. [Development and justification of the design and operating parameters of a potato planter]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 62-66 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-62-66.

15. Syromyatnikov YN, Mozgovsky AF, Kalimullin MN. Substantiation of flat blade parameters for soil loosening. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18-20 noyabrya 2021 goda. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. 042043 p. – DOI 10.1088/1755-1315/981/4/042043.

**Authors:**

Yudaev Yuriy Alekseevich - Doctor of Technical Sciences, Professor of Power Supply Department, e-mail: yu.yudaev@mail.ru

Abramov Yuriy Nikolaevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Machine and Tractor Fleet Operation Department, e-mail: urijabramov78@mail.ru

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A.Kostychev, Ryazan, Russia

Ivankina Olga Petrovna – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Industrial and Civil Engineering Department, e-mail: 89156061109@yandex.ru

Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia

Uglanov Mikhail Borisovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Machine and Tractor Fleet Operation Department, e-mail: university@rgatu.ru

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

Baygildeeva Ekaterina Igorevna – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Wood Materials Processing Department, e-mail: baigildeeva\_e\_i@mail.ru

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.