

ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИКИ МОЛОТКОВОГО ПЕРФОРИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КАТКА

Шаронов Иван Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

Исаев Юрий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математика и физика»

Курдюмов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, д. 1; тел.: 8 (8422) 55-95-95

e-mail: ugsha@yandex.ru

Ключевые слова: прикатывание, почвообрабатывающий каток, кинематические параметры, уравнение Лагранжа, угловая скорость, угловое ускорение

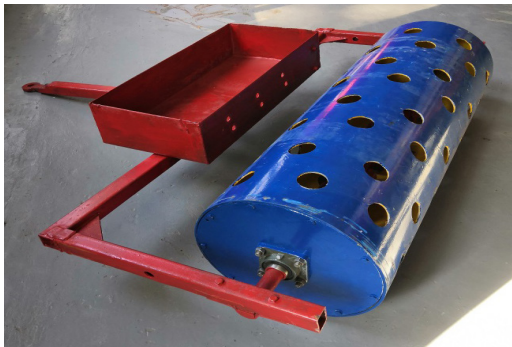
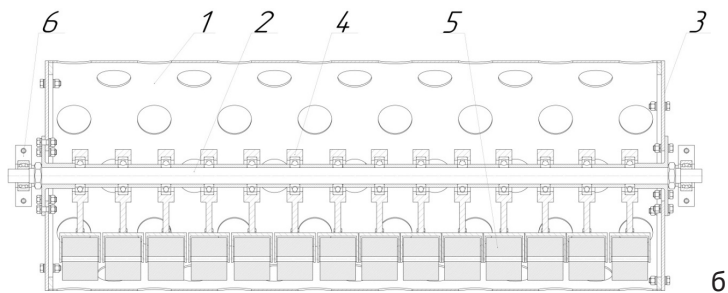
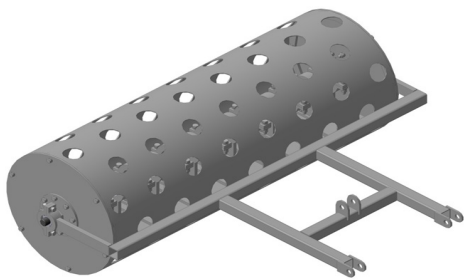
Задача улучшения качества работы агроорудий на основе совершенствования технологических процессов их функционирования с учетом кинематических особенностей комбинированного воздействия рабочих элементов орудий на почвенную среду является важной с научно-технической точки зрения. Для формирования требуемых структуры и плотности слоя почвы на глубине посева разработан молотковый перфорированный почвообрабатывающий каток (МППК). Целью исследования является повышение качества послепосевого уплотнения и структурирования слоя почвы в зоне расположения семян на основе разработки инновационной конструкции МППК, совмещающей разнохарактерные воздействия на обрабатываемую среду. В качестве объекта исследований принят кинематический режим работы МППК, оснащенного цилиндрическими молотками, установленными на концах поводков, которые, в свою очередь, радиально и шарнирно установлены на оси орудия. Особенностью работы предлагаемого МППК является возбуждение колебаний молотков, которое изменяет кинематические параметры почвообрабатывающего орудия в целом. Для описания процесса работы МППК, представленного в виде системы материальных объектов с несколькими степенями свободы, применены уравнения Лагранжа второго рода. Проведенные исследования позволили выявить периодический характер изменения силы воздействия МППК на почву. Полученные уравнения позволяют установить особенности движения МППК при различных массах пустотелого перфорированного цилиндра и цилиндрических молотков. Это имеет большое значение для повышения эффективности разрушения почвенных комков и создания структуры почвы, рекомендуемой для озимых культур, высеваемых в условиях Среднего Поволжья.

Введение

При реализации любой технологии возделывания агрокультур производители растениеводческой продукции неизбежно сталкиваются с известным негативным аспектом: всхожесть семян в реальных условиях поля значительно (иногда до 36 %) ниже по сравнению с всхожестью семян, определенной в лабораторных условиях. Проблема устранения этого несоответствия остается актуальной до настоящего времени [1, 2]. Такое негативное явление значительно снижает урожайность и, как следствие, приводит к недополучению дохода от производственной деятельности. Одним из достоверно установленных факторов снижения разницы во всхожести семян является послепосевная поверхностная обработка поля с целью уплотнения и структурирования почвы. Обработка почвы прикатывающими орудиями обеспечивает

необходимую для семян агрокультур уплотненность семенного слоя и подъем влаги из нижних слоев почвы за счет формирования капиллярной структуры [3, 4, 5]. Прикатывающие агроорудия должны качественно измельчать крупные почвенные агрегаты и эффективно сглаживать микрорельеф поля. Следовательно, операции послепосевого уплотнения и структурирования слоя почвы в зоне расположения семян очень важны при возделывании агрокультур, так как обеспечивают не только равномерность и дружность всходов, но и повышение полевой всхожести семян [6, 7, 8].

При изобретении и моделировании агромашин обеспечить высокую эффективность их эксплуатации возможно на основе механико-технологического обоснования новых принципов воздействия рабочих органов машин на почву, изменения последовательности взаимо-



а – 3D-модель катка; б – разрез катка; в – экспериментальная модель МППК; г – молотковый рабочий элемент; 1 – пустотелый перфорированный цилиндр; 2 – ось; 3 – диск; 4 – подшипниковая опора с поводком; 5 – молоток; 6 – сцепной механизм

Рис. 1 – Молотковый перфорированный почвообрабатывающий каток

действия рабочих органов агроорудий с почвой, а также «комбинирования разнородных воздействий рабочих органов на обрабатываемую среду для обеспечения ее требуемых технологических свойств» [9, 10, 11].

Изложенные выше доводы позволяют сформулировать цель исследования - повышение качества послепосевного уплотнения и структурирования слоя почвы в зоне расположения семян на основе разработки инновационной конструкции молоткового перфорированного почвообрабатывающего катка (МППК), совмещающего разнохарактерные воздействия на обрабатываемую среду.

Материалы и методы исследований

Объектом исследований выбран кинематический режим работы МППК, оснащенного цилиндрическими молотками, установленными на оси шарнирно за счет радиальных поводков.

МППК, выполненный по патенту № 2672491, разработан на основе анализа конструкций ротационных рыхлящих и уплотняющих рабочих органов агроорудий (рисунок 1). Каток представляет собой пустотелый перфорированный цилиндр 1, установленный на оси 2. Боковая поверхность пустотелого цилиндра 1 имеет перфорацию при шахматном расположении отверстий 3. На оси 2 пустотелого цилиндра 1 радиально с помощью и шарнирно установлены поводки 4. На наружных концах поводков 4 находятся выполненные в форме цилиндров молотки 5 с возможностью вращения вокруг своей оси и оси 2 пустотелого перфорированного цилиндра 1.

Принцип работы МППК следующий. При своем вращении перфорированный цилиндр 1 одновременно с прикатыванием почвы крошит почвенные комки. При этом некоторые комки почвы разрушаются вследствие воздействия на них сплошной поверхности цилиндра 1, а другие – из-за действия кромок отверстий цилиндра 1. Отдельные комки почвы через перфорацию попадают во внутренне пространство пустотелого цилиндра 1, где их измельчают молотки 5. Комки почвы разрушаются при защемлении между внутренней поверхностью цилиндра 1 и молотками 5 в случае, если сила, действующая на комки почвы со стороны молотка больше, чем силы внутреннего сцепления частиц почвы в комке. Затем измельченные до требуемого размера комки, перемещаясь по внутренней поверхности пустотелого перфорированного цилиндра 1 через отверстия высыплются на поверхность почвы.

Особенностью разработанного катка является то, что в процессе взаимодействия цилиндрических молотков 5 с комками почвы, попавшими во внутреннее пространство пустотелого перфорированного цилиндра 1, происходит отклонение молотков от первоначального положения. Это вызывает колебание молотков, которое изменяет кинематические параметры почвообрабатывающего орудия в целом. Для решения задачи динамики материальной системы с несколькими степенями свободы применим уравнения Лагранжа второго рода. «Этот метод является универсальным при составлении дифференциальных уравнений движения

совокупности материальных объектов» [12, 13]. «Уравнения Лагранжа второго рода представляют собой систему дифференциальных уравнений второго порядка относительно неизвестных обобщенных координат q_1, q_2, \dots, q_k , описывающих движение механической системы, подчиненной идеальным связям» [14, 15, 16, 17, 18].

«Обобщенными координатами механической системы являются независимые между собой параметры q_1, q_2, \dots, q_k , при помощи которых можно определить в каждый данный момент положение этой системы и через которые можно выразить декартовы координаты всех ее точек» [19].

«С учетом количества z независимых обобщенных координат исследуемой механической системы, которое равно числу ее степеней свободы, запишем для этой системы уравнения Лагранжа второго рода» [20]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы, Дж; Q_j – обобщенная сила, Н, соответствующая обобщенной координате q_j ; \dot{q}_j – первая производная обобщенной координаты – обобщенная скорость; ($j = 1, 2, \dots, z$), м/с.

Результаты исследований

Рассмотрим механическую систему тел (рисунок 2), включающую пустотелый цилиндр массой m_1 , перемещающийся по горизонтальной плоскости, и молоток массой m_2 , который соединен с осью пустотелого цилиндра поводком O_1B постоянной длины l . Поводок O_1B установлен с возможностью свободного вращения относительно O_1 оси пустотелого цилиндра, перпендикулярной плоскости xOy . Массой поводка пренебрегаем вследствие ее незначительности по сравнению с массами m_1 и m_2 .

«Рассматриваемая система имеет две степени свободы. Положения всех ее точек в любой момент времени можно определить, задав два независимых параметра: координату x , характеризующую положение пустотелого цилиндра на плоскости, и угол φ , который показывает угловое перемещение молотка относительно оси пустотелого цилиндра» [20].

Используем параметры x и φ в качестве обобщенных координат, следовательно, $q_1 = x$, $q_2 = \varphi$. Тогда система уравнений Лагранжа примет вид:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi, \end{cases} \quad (2)$$

где x – первая производная координаты, определяющей положение пустотелого цилиндра – поступательная скорость движения, м/с; φ – первая производная координаты, характеризующей угловое перемещение цилиндрического молотка, с-1.

«Для вычисления обобщенных сил зафиксируем одну координату ($\varphi = \text{const}$), а другой координате x сообщим некоторое приращение δx . Силы тяжести цилиндра и молотка (реакции от них на рисунке 1 отсутствуют, поскольку на систему материальных объектов наложены идеальные связи) перпендикулярны возможному перемещению системы, которое соответствует приращению δx . Поэтому элементарная работа $\delta A_x = 0$, а обобщенная сила Q_x , соответствующая обобщенной координате x , также равна нулю» [20].

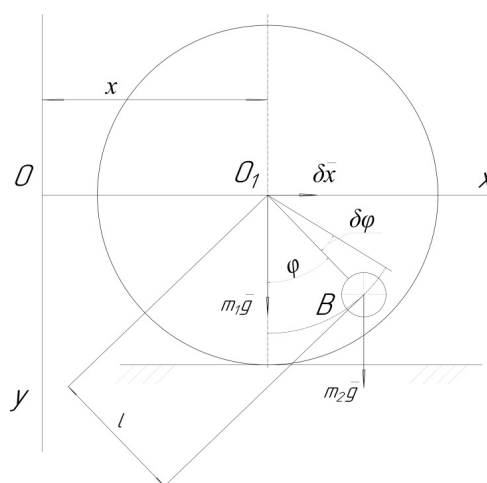


Рис. 2 – К определению кинетической энергии системы

Если сообщить исследуемой системе перемещение $\delta \varphi$ при $x = \text{const}$, то $\delta x = 0$. В этом случае элементарная работа активных сил

$$\delta A_\varphi = \delta \varphi M = -\delta \varphi m_2 g l \sin \varphi, \quad (3)$$

где M – момент силы тяжести цилиндрического молотка относительно оси пустотелого цилиндра, Н·м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Тогда

$$Q_\varphi = -m_2 g l \sin \varphi. \quad (4)$$

Кинетическая энергия T системы равна

сумме кинетических энергий пустотелого цилиндра T1 и молотка T2 соответственно.

Так как пустотелый цилиндр вращается и движется поступательно, то

$$T_1 = 0,5m_1v_{O1}^2 + 0,5J\omega^2 = 0,5m_1\dot{x}^2 + 0,5m_1r^2\dot{x}^2 / r^2 = m_1\dot{x}^2 \quad (5)$$

где v_{O1} – поступательная скорость движения пустотелого цилиндра, м/с; $J = m_1r^2$ – момент инерции пустотелого цилиндра, кг·м²; r – радиус пустотелого цилиндра, м; $\omega = \dot{x} / r$ – угловая скорость вращения цилиндра, с⁻¹.

Кинетическая энергия цилиндрического молотка, перемещающегося в вертикальной плоскости,

$$T_2 = 0,5m_2v_B^2 = 0,5m_2(\dot{x}_B^2 + \dot{y}_B^2), \quad (6)$$

где v_B – скорость движения цилиндрического молотка, м/с; \dot{x}_B и \dot{y}_B – производные от координат x_B и y_B точки B, представляющие собой соответственно горизонтальную и вертикальную составляющие скорости этой точки, м/с.

Координаты $x_B = x + l \sin \varphi$, $y_B = l \cos \varphi$. Продифференцировав эти выражения по времени, получим:

$$\begin{aligned} \dot{x}_B &= \dot{x} + l\dot{\varphi} \cos \varphi, \\ \dot{y}_B &= -l\dot{\varphi} \sin \varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

С учетом выражений (7) формула (6) примет вид:

$$T_2 = 0,5m_2(\dot{x}^2 + 2\dot{x}l\dot{\varphi} \cos \varphi + l^2\dot{\varphi}^2). \quad (8)$$

Тогда кинетическую энергию системы тел с учетом выражений (5) и (8), а также после соответствующих упрощений можно определить следующим образом:

$$T = T_1 + T_2 = 0,5(2m_1 + m_2)\dot{x}^2 + 0,5m_2(l^2\dot{\varphi}^2 + 2\dot{x}l\dot{\varphi} \cos \varphi). \quad (8)$$

Вычислим производные от T по обобщенным координатам x и φ , а также по обобщенным скоростям \dot{x} и $\dot{\varphi}$:

$$\begin{aligned} \partial T / \partial x &= 0, \\ \partial T / \partial \varphi &= -m_2l\dot{\varphi}\dot{x} \sin \varphi, \quad (9) \\ \partial T / \partial \dot{x} &= (2m_1 + m_2)\dot{x} + m_2l\dot{\varphi} \cos \varphi, \\ \partial T / \partial \dot{\varphi} &= m_2l^2\dot{\varphi} + m_2\dot{x}l \cos \varphi. \quad (10) \end{aligned}$$

Подставим выражения (9) и (10), а также значения обобщенных сил Q_x и Q_φ в уравнение Лагранжа (2):

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}[(2m_1 + m_2)\dot{x} + m_2l\dot{\varphi} \cos \varphi] = 0; \\ \frac{d}{dt}(l\dot{\varphi} + \dot{x} \cos \varphi) + \dot{x}\dot{\varphi} \sin \varphi = -g \sin \varphi. \end{cases} \quad (11)$$

Таким образом, система уравнений (11) включает в себя дифференциальные уравнения движения МППК, состоящего из перфорированного поступательно движущегося пустотелого цилиндра с закрепленными на концах шарнирно установленных на оси поводков цилиндрическими молотками.

Выявлено, что при интегрировании первого уравнения системы (11), выражение, которое находится в квадратных скобках, постоянно:

$$(2m_1 + m_2)\dot{x} + m_2l\dot{\varphi} \cos \varphi = C_1. \quad (12)$$

Проинтегрировав выражение (12), получим:

$$(m_1 + m_2)x + m_2l \sin \varphi = C_1t + C_2, \quad (13)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

Проанализировав выражение (13) и выполнив соответствующие вычисления, можно записать выражение для определения координаты x_c центра инерции рассматриваемой системы:

$$x_c = (\sum m_i x_i) / (\sum m_i) = [(m_1 + m_2)x + m_2l \sin \varphi] / (m_1 + m_2). \quad (14)$$

Следовательно, в рассматриваемом случае «центр инерции механической системы равномерно движется вдоль оси x , однако на характер этого движения влияют начальные условия, определяемые постоянными интегрирования C_1 и C_2 » [20].

Продифференцировав уравнения системы (11), получим:

$$\begin{cases} (2m_1 + m_2)\ddot{x} + m_2l\ddot{\varphi} \cos \varphi - m_2l\dot{\varphi}^2 \sin \varphi = 0; \\ l\ddot{\varphi} + \ddot{x} \cos \varphi = -g \sin \varphi. \end{cases} \quad (15)$$

Выразим из второго уравнения системы (15)

$$\ddot{x} = (-l\ddot{\varphi} - g \sin \varphi) / \cos \varphi \quad (16)$$

и затем подставим его в первое уравнение этой системы. В результате получим дифференциальное уравнение колебательного движения молотков:

$$(2m_1 + m_2)(-l\ddot{\varphi} - g \sin \varphi) / \cos \varphi + m_2l\ddot{\varphi} \cos \varphi - m_2l\dot{\varphi}^2 \sin \varphi = 0. \quad (17)$$

В результате преобразований получим:

$$(2m_1 + m_2 \sin^2 \varphi)l\ddot{\varphi} + m_2 l \dot{\varphi}^2 \sin \varphi \cos \varphi + (2m_1 + m_2)g \sin \varphi = 0. \quad (18)$$

Обсуждение

На рис. 3 изображены результаты решения дифференциального уравнения (18) колебательного движения молотков с характеристиками: $m_1 = 80$ кг – масса катка; $m_2 = 15$ кг – масса молотка; $l = 0,25$ м – длина поводка; $u = 3$ м/с – скорость перемещения катка.

Далее, решив уравнение (16), найдем изменения скорости u и перемещения x катка от времени t . Соответствующие зависимости показаны на рис. 4.

Из системы дифференциальных уравнений движения МППК (15) можно определить изменение силы воздействия катка на почву в зависимости от времени:

$$P(t) = m_1 g + (m_2 l \omega(t)^2 + m_2 g \cos \varphi(t)) \cos \varphi(t). \quad (19)$$

Графическая интерпретация уравнения (19) при различной массе молотков показана на рисунке 5.

Заключение

Таким образом, изменение силы воздействия катка на почву имеет периодический характер, что имеет большое значение для повышения эффективности разрушения почвенных комков и создания структуры почвы, рекомендуемой для озимых культур, высеваемых в условиях Среднего Поволжья.

Полученные уравнения позволяют установить особенности движения МППК при различных массах пустотелого перфорированного цилиндра и цилиндрических молотков. Это дает возможность при обеспечении оптимальных конструктивных параметров почвообрабатывающего орудия получить требуемые структуру и плотность поверхностного слоя почвы после прикатывания при лучшем, по сравнению с аналогами, качестве разрушения почвенных комков.

Библиографический список

1. Руденко, Н. Е. Новые технологии и средства механизации в растениеводстве / Н. Е. Руденко, Е. В. Кулаев, В. Н. Руденко. – Ставрополь : Издательство Ставропольского ГАУ, 2018. – 380 с.
2. Сельскохозяйственная техника и технологии / И. А. Спицын, А. Н. Орлов, В. В. Ляшенко [и др.] ; под редакцией И. А. Спицына. – Москва : Колос, 2006. – 647 с.

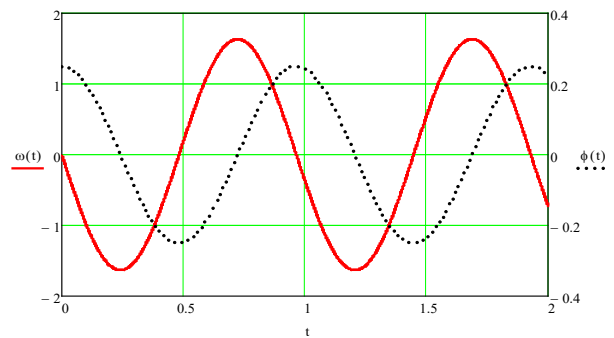


Рис. 3 - Зависимости угловой скорости $\omega(t)$ и углового перемещения $\varphi(t)$ молотка от времени t относительно оси катка

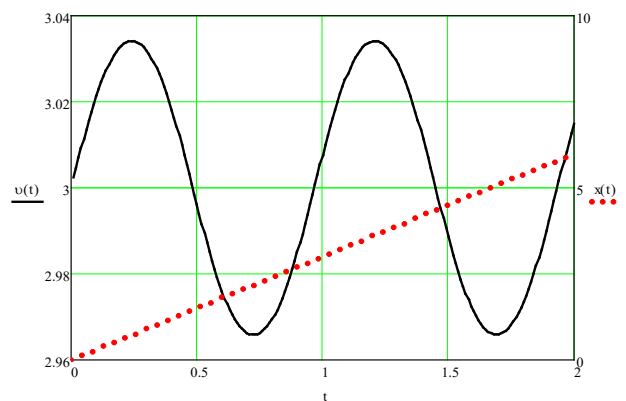
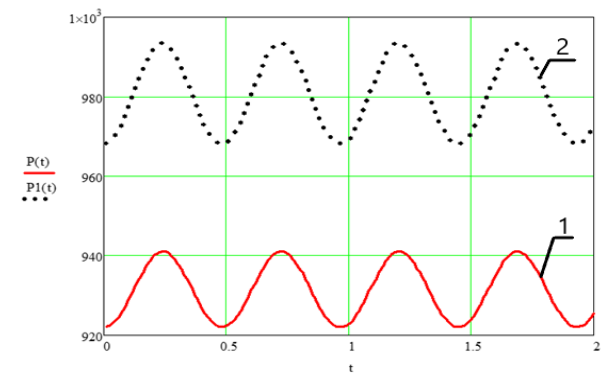


Рис. 4 - Зависимости скорости u и перемещения x катка от времени t



1 – при массе молотка $m_2 = 15$ кг; 2 – при массе молотка $m_2 = 20$ кг

Рис. 5 - Зависимости силы воздействия катка на почву P, H , от времени t, c , при различной массе молотка m_2

3. Эффективные технологические приёмы в земледелии, обеспечивающие оптимальное влагонакопление в почве и влагопотребление / ВА. Милюткин, В. В. Орлов, Г. В. Кнурова, В. С. Стеновский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2015. - №56(6). - С. 69-72.

4. Патент 2508618 РФ, МПК А01В 29/00. Почвообрабатывающий каток : № 2012131723/13 : заявл. 24.07.2012 : опубл. 10.03.2014 / Савельев Ю. А., Милюткин В. А., Ишкин П. А., Рашевских А. А. ; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».
5. Шелфраст, В. В. Основы проектирования машин / В. В. Шелфраст. – Москва : АПМ, 2000. – 472 с.
6. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I. Kurdyumov, Y. S. Zykin // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – 9(15). – P. 1945-1955.
7. Quality control indicators of soil ridges at sowing cultivated crops / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I. Kurdyumov, Y. S. Zykin // International journal of Pharmacy & Technology. – 2016. – Vol. 8, № 3. – P. 14965 -14972.
8. Совершенствование почвообрабатывающих машин для ресурсосберегающих технологий / А. Д. Кормщиков, С. С. Храмцов, А. Ю. Шмагин, Н. Г. Зяблицев // Тракторы и сельхозмашины. – 2008. – №2. – С. 29-32.
9. Семенихина, Ю. А. Анализ ротационных устройств для выравнивания и уплотнения почвы / Ю. А. Семенихина // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : сборник научных докладов XVIII Международной научно-практической конференции. – Тамбов : Р. В. Першина, 2015. – С. 157-169.
10. Оценка результативности технологических процессов / Н. Е. Руденко, Е. В. Кулаев, В. Н. Руденко, И. А. Носов // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 3. – С. 91-94.
11. Козырев, Б. М. Почвообрабатывающие машины с коноидальными ротационными рабочими органами / Б. М. Козырев. – Казань : Издательство Казанского университета, 2001. – 328 с.
12. Руденко, Н. Е. Как эффективно воздействовать на почву при поверхностной обработке / Н. Е. Руденко // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 6. – С. 3-8.
13. Уравнения движения ротационных (винтовых) рабочих органов в почве / Р. Г. Юнусов, Г. Г. Булгариев, Г. В. Пикмуллин, В. П. Данилов // Вестник Казанского ГАУ. – 2012. – №4. – С. 88-90.
14. Математическое описание мульчирования прутковым катком / Н. К. Мазитов, Р. Л. Сахапов, С. М. Архипов, Н. Х. Галяутдинов // Техника в сельском хозяйстве. – 2005. – № 4. – С. 24-26.
15. Локтионов, А. В. Расчет уравнения движения малых колебаний эллиптического маятника с заданной начальной угловой скоростью его движения / А. В. Локтионов, С. А. Сеньков // Теоретическая и прикладная механика : Международный научно-технический журнал - 2011. – № 26. – С. 138-143.
16. Роль различных типов колебаний в почвообработке / Г. Г. Булгариев, Г. В. Пикмуллин, Р. Г. Юнусов, В. П. Данилов // Актуальные вопросы совершенствования технологий и технического обеспечения с.-х. производства : материалы международной научной конференции Института механизации и технического сервиса. – Казань, 2012. – с.46.49.
17. Булгариев, Г. Г. К обоснованию и определению колебательного процесса спирально-пластинчатого рабочего органа / Г. Г. Булгариев, Г. В. Пикмуллин, Р. Г. Юнусов // Вестник Казанского ГАУ. – 2014. – №2(32) – С. 63-67.
18. Сахапов, Р.Л. Теоретические основы колебательных рабочих органов культиваторов / Р. Л. Сахапов. – Казань : КФЭИ, 2001. – 193 с.
- 19.. Modeling the technological process of tillage / S. G. Mudarisov, I. I. Gabitov, Y. P. Lobachevsky, N. K. Mazitov, R. S. Rakhimov, R. R. Khamaletdinov, I. R. Rakhimov, I. M. Farkhutdinov, A. M. Mukhametdinov, R. T. Gareev // Soil & Tillage Research. – 2019. – Т. 190. – P. 70-77.
20. Артемов, И. И. Применение уравнений Лагранжа второго рода для решения задач динамики: методические указания / И. И. Артемов, В. Н. Плешаков, А. А. Елисеева. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – 30 с.

KINEMATICS FEATURES OF HAMMER PERFORATED TILLAGE ROLL

Sharonov I. A., Isaev Yu. M., Kurdyumov V. I.

FSBEI HE Ulyanovsk SAU

432017, Ulyanovsk, Novy Venets boulevard, 1; tel.: 8 (8422) 55-95-95

E-mail: ugsha@yandex.ru

Key words: rolling, tillage roller, kinetic parameters, Lagrange equation, angular velocity, angle acceleration

The task of improving the quality of agricultural tools by improving the technological processes of their functioning, taking into account the kinematic features of the combined impact of working elements of tools on the soil environment is important from a scientific and technical point of view. To form the required structure and density of the soil layer at the depth of sowing, a hammer perforated tillage roller (HPTR) has been developed. The study aim is to improve the quality of post-sowing compaction and structuring of the soil layer in the seed location zone based on the development of an innovative design of HPTR that combines different effects on the treated environment. The object of research is the kinematic mode of operation of the HPTR, equipped with cylindrical hammers installed at the ends of the rod, which, in turn, are radially and pivotally installed on the axis of the gun. Feature of offered HPTR is the excitation of hammer vibrations, which changes the kinematic parameters of the tillage tool as a whole. Lagrange equations of the second kind are used to describe the process of HPTR operation, which is represented as a system of material objects with several degrees of freedom. The conducted studies revealed the periodic nature of changes in the strength of the impact of HPTR on the soil. The obtained equations allow us to determine the features of the HPTR movement at different masses of a hollow perforated cylinder and cylindrical hammers. This is of great importance for increasing the efficiency of soil bolter destruction and creating the soil structure recommended for winter crops sown in the Middle Volga region.

Bibliography

1. Rudenko, N. E. New technologies and means of mechanical equipment in crop production / N. E. Rudenko, E. V. Kulaev, V. N. Rudenko. – Stavropol : Publshin house of Stavropol SAU, 2018. – 380 p.
2. Agricultural equipment and technologies / I. A. Spitsyn, A. N. Orlov, V. V. Lyashenko [et al.] ; edited by I. A. Spitsyn. – Moscow : Kolos, 2006. – 647 p.
3. Effective technological methods in agriculture that provide optimal moisture accumulation in the soil and water consumption / V.A. Milyutkin, V. V. Orlov, G. V. Knurova, V. S. Stenovskiy // Izvestiya of Orenburg state agrarian university. - 2015. - №56(6). - P. 69-72.
4. Patent 2508618 RF, MPC A01B 29/00. Soil cultivating roll : № 2012131723/13 : applic. 24.07.2012 : published 10.03.2014 / Savelyev Yu. A., Milyutkin V. A., Ishkin P. A., Rashevskiy A. A. ; applicant and patent holder Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Samara state agricultural academy".
5. Shelfrast, V. V. Design baseline of machine / V. V. Shelfrast. – Moscow : ADW, 2000. – 472 p.
6. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A. K. Subaeva, A. A. Zamaldinov, V. I. Kurdyumov, Y. S. Zykin // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. - 9(15). - P. 1945-1955.
7. Quality control indicators of soil ridges at sowing cultivated crops / A. K. Subaeva, A. A. Zamaldinov, V. I. Kurdyumov, Y. S. Zykin // International journal of Pharmacy & Technology. – 2016. – Vol. 8, № 3. - P. 14965 -14972.
8. Improvement of soil cultivating machines for resource-saving technologies / A. D. Korshikov, S. S. Khramtsov, A. Yu. Shmagin, N. G. Zybaltsev // Tractors and agricultural machinery. - 2008. - №2. – P. 29-32.
9. Semenikhina, Yu. A. Analysis of rotary devices for smoothing and compacting the soil / Yu. A. Semenikhina // Improving the efficiency of resource use in agricultural production – new technologies and equipment of a new generation for crop production and animal husbandry: collection of scientific papers of the XVIII International research to practice conference. – Tambov : R. V. Pershina, 2015. – P. 157-169.
10. Evaluating the effectiveness of technological processes / N. E. Rudenko, E. V. Kuleyev, V. N. Rudenko, I. A. Nosov // Tractors and agricultural machinery. - 2019. - № 3. - P. 91-94.
11. Kozyrev, B. M. Tillage machines with conoid rotary working elements / B. M. Kozyrev. – Kazan : Publishing house of Kazan university, 2001. – 328 p.
12. Rudenko, N. E. How to effectively affect the soil during surface treatment / N. E. Rudenko // Tractors and agricultural machinery. - 2017. - № 6. - P. 3-8.
13. Equations of motion of rotary (screw) working elements in the soil / R. G. Yunusov, G. G. Bulgariev, G. V. Pikhullina, V. P. Danilov // Vestnik of Kazan SAU. - 2012. - №4. - P. 88-90.
14. Mathematical description of mulching with a bar roller / N. K. Mazitov, R. L. Sakhapov, S. M. Arkhipov, N. Kh. Galyautdinov // Machinery in agriculture. – 2005. – № 4. – P. 24-26.
15. Loktionov, A. V. Calculation of the equation of motion of small oscillations of an elliptical pendulum with a given initial angular velocity of its motion / A. V. Loktionov, S. A. Senkov // Theoretical and applied mechanics : international scientific and technical journal - 2011. - № 26. - P. 138-143.
16. The role of different types of oscillating in tillage / G. G. Bulgariev, G. V. Pikhullina, R. G. Yunusov, V. P. Danilov // Actual issues of improving technologies and technical support for agricultural production: materials of the international scientific conference of the Institute of mechanization and technical service. - Kazan, 2012. - p.46.49.
17. Bugariev, G. G. To justification and determination of the oscillatory process of a spiral-plate working tool / G. G. Bulgariev, G. V. Pikhullina, R. G. Yunusov // Vestnik of Kazan SAU. - 2014. - №2(32) - P. 63-67.
18. Sakhapov, R.L. Theoretical bases of oscillating working tools of cultivators / R. L. Sakhapov. – Kazan : KFEI, 2001. - 193 p.
19. Modeling the technological process of tillage / S. G. Mudarisov, I. I. Gabitov, Y. P. Lobachevsky, N. K. Mazitov, R. S. Rakhimov, R. R. Khamaletdinov, I. R. Rakhimov, I. M. Farkhutdinov, A. M. Mukhametdinov, R. T. Gareev // Soil & Tillage Research. – 2019. - V. 190. – P. 70-77.
20. Artemev, I. I. Application of Lagrange equations of the second kind for solving problems of dynamics: guidelines / I. I. Artemev, V. N. Pleshakov, A. A. Eliseeva. – Krasnodar : KubSAU, 2013. – 30 p.