

УДК 631.331.5

К ВОПРОСУ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КАТКА

*И.А. Шаронов, кандидат технических наук,
тел. 8(8422)55-95-95, ivanshar2009@yandex.ru*

*В.И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор,
тел. 8(8422) 55-95-95, vik@ugsha.ru*

*Ю.М. Исаев, доктор технических наук, профессор,
тел. 8 (8422) 55-95-49, physmath-dep@ugsha.ru*

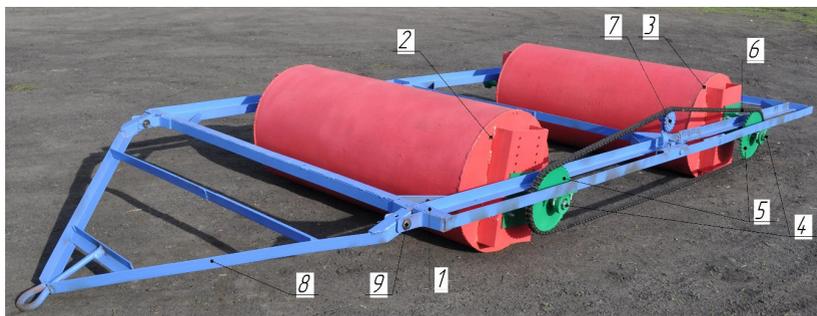
*Г.Л. Татаров, кандидат технических наук,
тел. 8(8422)55-95-95, tatarovgl@gmail.com
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ*

Ключевые слова: эксцентриковый каток, плотность почвы, деформация почвы, эксцентриситет.

Рассмотрен динамический процесс перекатывания пустотелого цилиндра со смещенным приложением силы относительно его центральной оси с ускорением и без скольжения. Определена сила воздействующую на ось пустотелого цилиндра.

Введение. В технологическом процессе возделывания сельскохозяйственных культур большое значение имеет поверхностная обработка почвы, обеспечивающая требуемую структуру почвы для высева семян, а также необходимые условия для дальнейшего развития растений [1, 2]. Одним из приемов поверхностной обработки является прикатывание почвы, которое обеспечивает дробление крупных почвенных комков, уплотнение верхнего слоя почвы и выравнивание поверхности поля. Уплотнение почвы происходит при изменении положения почвенных агрегатов и частиц, сопровождается повышением плотности сложения пласта почвы, восстановлением скважности и капилляров [3]. Однако на практике почвообрабатывающий каток осуществляет сложное деформационное воздействие на пласт почвы, сопровождающееся рядом физических процессов (образование тел скольжения, нароста и другое), в значительной степени определяющих характер ее напряженно-деформированного состояния и влияющих на сопротивление почвы уплотнению и разрушению крупных почвенных агрегатов [4].

Для обеспечения требуемого уплотнения почвы при посеве и интенсификацией процесса разрушения крупных почвенных комков нами



1 – рама; 2, 3 – катки; 4 – ось; 5 – звездочка; 6 – цепь; 7 – натяжной механизм; 8 – сцепка; 9 – шарнир

Рисунок 1 – Эксцентрикковый почвообрабатывающий каток

разработано орудие для прикатывания почвы (рисунок 1) [5, 6, 7, 8], содержащее раму 1, установленные на ней друг за другом пустотелые цилиндрические катки 2 и 3 равного диаметра. На осях 4 катков 2 и 3 с одной стороны установлены звездочки 5, соединенные цепью 6. Оси 4 катков 2 и 3 установлены эксцентрично и смещены от горизонтальных осей симметрии цилиндров на одинаковые расстояния, при этом ось катка 2 смещена от горизонтальной оси симметрии цилиндра в сторону, противоположную направлению смещения от горизонтальной оси симметрии цилиндра оси катка 3.

В общем случае уплотнение цилиндрическим катком сопровождается деформацией сжатия верхнего почвенного слоя. При этом крупные твердые почвенные агрегаты вдавливаются в более мягкий рыхлый слой почвы не разрушенными [9]. Для интенсификации разрушения почвенных комков не исключая деформацию сжатия при обработке почвы цилиндрическим катком, можно изменить баланс деформаций в пользу деформации растяжения. Это можно достичь за счет расположения оси цилиндрического катка с эксцентриситетом относительно оси вращения цилиндра. В этом случае при перекатывании катка точка на поверхности цилиндра будет перемещаться с изменяющимися угловыми ускорениями при различных углах поворота φ (рисунок 2).

Рассмотрим случай перекатывания пустотелого цилиндра со смещенным приложением силы относительно его центра. Пустотелый цилиндр движется с ускорением $w(-w)$ (рисунок 2). Реакция от действия пустотелого цилиндра на почву равна N . Коэффициент трения колеса с

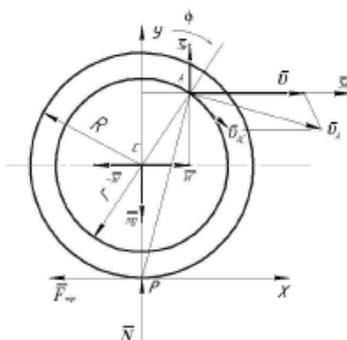


Рисунок 2 - Схема сил, приложенных к пустотелому цилиндру

почвой равен f , R – радиус пустотелого цилиндра, m – его масса. Определим горизонтальную составляющую силу S , воздействующую на ось пустотелого цилиндра. Условие движения – без скольжения.

Нормальная реакция на пустотелый цилиндр со стороны почвы равна N , горизонтальная реакция на пустотелый цилиндр со стороны оси равна S_x . Пусть вертикальная реакция со стороны оси на пустотелый цилиндр равна S_y . Запишем дифференциальные уравнения движения пустотелого цилиндра

$$\begin{cases} m\ddot{x}_c = S_x - F_{mp} \\ 0 = -mg + N + S_y \\ m\rho^2\ddot{\phi} = F_{mp}R + S_x r \cos \alpha - S_y r \sin \alpha \end{cases} \quad (1)$$

По условию движения без проскальзывания $\dot{x}_c = w$. Для дальнейших рассуждений понадобятся первое и третье уравнения из выражения (1):

$$\begin{cases} mw = S_x - F_{mp} \\ m\rho^2\ddot{\phi} = F_{mp}R + S_x r \cos \alpha - S_y r \sin \alpha \end{cases} \quad (2)$$

Следует рассмотреть два случая.

1. Пустотелый цилиндр катится без проскальзывания, т. е. точка

P – мгновенный центр скоростей и $\dot{x}_c = \dot{\phi}r$. Значит $\dot{\phi} = w/R$. Поэтому

$$\begin{cases} mw = S_x - F_{mp} \\ m\rho^2 \frac{w}{R} = F_{mp} R + S_x r \cos \alpha - S_y r \sin \alpha \end{cases}, \quad (3)$$

отсюда получаем, что

$$F_{mp} = \frac{m\rho^2}{R^2} w - \frac{r(S_x \cos \alpha - S_y \sin \alpha)}{R}, \quad (4)$$

$$S_x = mw + F_{mp} = mw + \frac{m\rho^2}{R^2} w - \frac{r(S_x \cos \alpha - S_y \sin \alpha)}{R}, \quad (5)$$

$$S_x = mw \left(1 + \frac{\rho^2}{r^2} \right) - \frac{r(S_x \cos \alpha - S_y \sin \alpha)}{R}. \quad (6)$$

Условие Кулона движения пустотелого цилиндра без скольжения:

$$|F_{mp}| \leq fN. \quad (7)$$

Максимальное значение F_{mp} принимает при $\alpha = \pi/2$ и равно:

$$F_{mp} = \frac{m\rho^2}{R^2} w_{\max} + \frac{S_y r}{R}. \quad (8)$$

Подставим $S_y = mg - N$, тогда

$$F_{mp} = \frac{m\rho^2}{R^2} w_{\max} + \frac{(mg - N)r}{R} \leq fN. \quad (9)$$

После преобразований получаем условия ускоренного движения пустотелого цилиндра без скольжения

$$w_{\max} \leq \left(f + \frac{r}{R} \right) \frac{N}{m} - \frac{gr}{R}. \quad (10)$$

При таком ускорении w_{\max} реакция

$$|S_x| = mw_{\max} \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right) + \frac{r(mg - N)}{R} \quad (11)$$

2. В случае замедленного движения $\ddot{x}_c = -w$

$$\begin{cases} -mw = S_x + F_{mp} \\ m\rho^2 \ddot{\varphi} = -F_{mp}R + S_x r \cos \alpha - S_y r \sin \alpha \end{cases} \quad (12)$$

Пустотелый цилиндр катится без проскальзывания, т. е. точка P -

мгновенный центр скоростей и $\dot{x}_c = \dot{\varphi}r$. Значит $\ddot{\varphi} = -w/R$. Поэтому

$$\begin{cases} -mw = S_x + F_{mp} \\ -m\rho^2 \frac{w}{R} = -F_{mp}R + S_x r \cos \alpha - S_y r \sin \alpha \end{cases} \quad (13)$$

Отсюда получаем, что в случае равномерного распределения массы пустотелого цилиндра по его поверхности при $\rho = R$ при условии ускоренного движения без скольжения

$$w_{\min} \leq \left(f + \frac{r}{R} \right) \frac{N}{m} - \frac{gr}{R} \quad (14)$$

При ускорении w_{\min} реакция

$$|S_x| = mw_{\min} \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right) + \frac{r(mg - N)}{R} \quad (15)$$

Анализ данных выражений показал, что горизонтальная реакция на пустотелый цилиндр со стороны оси зависит от его радиуса и величины эксцентриситета, массы цилиндра и коэффициента его трения о почву. Кроме того, значение реакции S_x влияет на движение пустотелого цилиндра в горизонтальной плоскости.

Библиографический список

1. Зыкин Е.С. Оптимизация режимных параметров катка-гребнеобразователя [Текст] / Е.С. Зыкин, В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов // Доклады российской академии сельскохозяйственных наук. – 2013. – № 1. – С. 58-60.
2. Курдюмов В.И. Экспериментальные исследования универсального катка-гребнеобразователя [Текст] / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.А. Шаронов, В.П.

- Зайцев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 4. – С. 107-112.
3. Курушин В.В. Определение конструктивных параметров катка-гребнеобразователя [Текст] / Курушин В.В., Шаронов И.А., Курдюмов В.И. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 131-135.
 4. Падальцин К.Д. Обоснование вида поверхности почвообрабатывающего катка [Текст] / К.Д. Падальцин, Н.Е. Руденко // Сборник научных докладов XI Международная научно-практическая конференция, посвященная 65-летию факультета механизации сельского хозяйства, в рамках XVII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2015». - Издательство «АГРУС» (Ставрополь), 2015. – С. 244-246.
 5. Патент 2567207 Российская Федерация, МПК А01В 29/02 (2006.01). Орудие для прикатывания почвы / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, А.С. Егоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - 2014146182/13, заявл. 17.11.2014; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
 6. Патент 2567208 Российская Федерация, МПК А01В 29/02 (2006.01). Орудие для прикатывания почвы / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, А.С. Егоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - 2014146180/13, заявл. 17.11.2014; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
 7. Патент 2585075 Российская Федерация, МПК А01В 29/02 (2006.01). Орудие для прикатывания почвы / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, А.С. Егоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - 2014146145/13, заявл. 17.11.2014; опубл. 27.05.2016 Бюл. № 15.
 8. Патент 2582988 Российская Федерация, МПК А01В 29/02 (2006.01). Орудие для прикатывания почвы / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, А.С. Егоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - 2014152584/13, заявл. 24.12.2014; опубл. 27.04.2016 Бюл. № 12.
 9. Руденко Н.Е. Как снизить энергозатраты и повысить качественные показатели при сплошной обработке почвы // Н.Е. Руденко, К.Д. Падальцин // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – № 1(13). – С. 66-68.

TO THE ISSUE OF DYNAMIC CALCULATION ECCENTRIC TILLAGE RINK

Sharonov I.A., Kurdyumov V.I., Isaev Yu. M., Tatarov G. L.

Key words: *eccentric roller, soil density, soil deformation, eccentricity.*

The dynamic process of rolling a hollow cylinder with a shifted force application relative to its Central axis with acceleration and without sliding is considered. The force acting on the axis of the hollow cylinder is determined.