

К АНАЛИЗУ КИНЕМАТИКИ РОТАЦИОННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА КОНУСНОЙ ФОРМЫ

Мухаметшин Ильшат Сулейманович, аспирант кафедры «Эксплуатация машин и оборудования»

Валиев Айрат Расимович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация машин и оборудования» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

420015, г. Казань, Карла Маркса, 65, тел.: (843) 567-46-10, e-mail: ilshat858@gmail.com

Ключевые слова: уравнение движения произвольной точки, ротационный, рабочий орган, конусный, глубокорыхлитель.

В статье рассмотрены кинематические параметры рабочего органа конусной формы для глубокого рыхления. При работе рабочий орган совершает переносное движение вместе с агрегатом, одновременно вращаясь вокруг собственной оси за счет воздействия на него почвы. На основании общих уравнений движения выведено уравнение движения любой произвольной точки ротационного рабочего органа конусной формы.

Введение

Определение оптимальных параметров почвообрабатывающих рабочих органов основано на исследовании процесса их взаимодействия с почвой [1, 2, 3]. Закономерности данного процесса обусловлены свойствами обрабатываемой почвы, геометрическими и кинематическими параметрами рабочих органов. Знание законов движения рабочих органов и их элементов позволяет полностью установить показатели, определяющие процесс перемещения режущих элементов рабочего органа в почве, что дает возможность обоснованно подходить к конструированию рабочего органа, а также к выбору режима его работы [4, 5].

Исследования, посвященные определению кинематических параметров ротационных рабочих органов, совершающих сложное движение (переносное движение вместе с почвообрабатывающим агрегатом и вращательное движение вокруг своей оси, часто распложенной под некоторым углом к горизонту и направлению движения), по состоянию на сегодняшний день, носят частный характер и описывают траекторию движения внешних точек режущего элемента ротационного рабочего органа [2, 6, 7].

Однако для остальных случаев, в частности, для рабочего органа, выполненного в форме конуса [8, 9], уравнения движения

произвольной точки его рабочей поверхности отсутствуют. Вывод таких уравнений позволит более полно отразить характер взаимодействия конусного рабочего органа с почвой [10, 11, 12].

Результаты исследований

К кинематическим параметрам рабочего органа, во многом определяющим качество и энергоемкость обработки почвы, относят величину и направление абсолютной скорости движения точек поверхности рабочего органа [6, 10].

Для вывода уравнения движения произвольной точки рыхлителя конусной формы рассмотрим его в системе координат OXYZ (рис. 1).

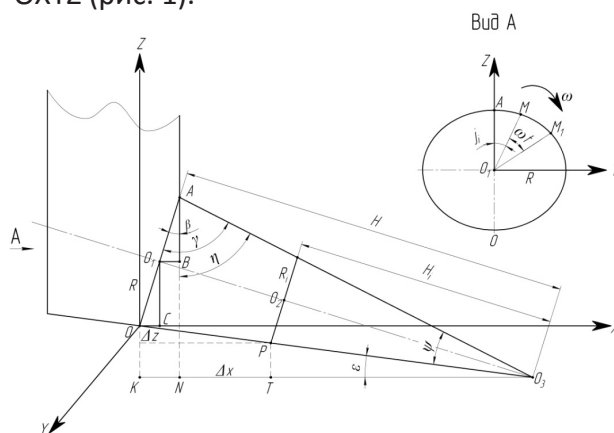


Рис. 1 – Схема движения конусного рабочего органа

Радиус основания конуса $R = 0,50A$. Угол при вершине конуса равен ψ . Пусть в относительном движении рабочий орган совершает вращение с постоянной частотой ω , а переносное равномерное движение рабочего органа со скоростью v_e происходит по оси X . Необходимо описать закономерность движения произвольной точки окружности основания конуса в неподвижной прямоугольной системе координат $OXYZ$. Введем обозначения: R_i – расстояние от оси вращения до рассматриваемой точки поверхности конуса; j_1 – угол, определяющий положение точки M на поверхности конуса в исходный момент, т.е. при $t = 0$. За начало отсчета текущего угла поворота радиус-вектора примем точку A .

В момент времени t точка M , вращаясь вокруг оси O_1O_3 , перемещается в точку M_1 и поворачивается на угол $\varphi = \omega \cdot t$.

Одновременно в переносном движении в неподвижной системе координат точка M проходит расстояние $v_e \cdot t$.

Уравнения движения точки M поверхности рыхлителя конусной формы в принятой системе координат $OXYZ$ в произвольный момент времени можно вывести как частный случай от общих уравнений движения произвольной точки движения ротационных органов, выведенных профессором Макаровым П.И. [10]:

$$\begin{cases} X = v_e \cdot t \pm R_i \left[\cos \alpha \sin \theta \mp \left(\frac{R}{R_i} + \cos \theta \right) \cdot \sin \alpha \sin \beta \right] - y_i \cdot \sin \alpha \cos \beta; \\ Y = \mp R_i \left[\sin \alpha \sin \theta \pm \left(\frac{R}{R_i} + \cos \theta \right) \cdot \cos \alpha \sin \beta \right] - y_i \cdot \cos \alpha \cos \beta; \\ Z = R_i \cdot \cos \beta \cdot \left(\frac{R}{R_i} + \cos \theta \right) - y_i \cdot \sin \beta, \end{cases} \quad (1)$$

где верхний знак относят к случаю, когда рабочий орган вращается сверху вниз, а нижний – снизу вверх; α – угол атаки, град.; β – угол наклона рабочего органа в вертикали, град.; R_i – расстояние от оси вращения до рассматриваемой точки M , м; v_e – переносная скорость, м/с; t – момент времени, с, y_i – расстояние от плоскости вращения рассматриваемой точки до начала координат, м.

Для нашего рабочего органа рыхлителя конусной формы высотой H , радиусом основания R , с углом при вершине конуса ψ и задним углом резания ε , в принятой систе-

ме координат отдельные конструктивные параметры и технологические регулировки будут иметь следующие значения: $\Theta = \varphi$; $\alpha = 90^\circ$; $R_i = R$; $y_i = 0$.

Определим угол наклона β основания конуса к вертикали. Угол β представляет собой разницу углов γ и η . Из равнобедренного треугольника O_3AO :

$$\gamma = \frac{180^\circ - \psi}{2}.$$

Из треугольника O_3AN :

$$\eta = 180^\circ - 90^\circ - (\varepsilon + \varphi) = 90^\circ - (\varepsilon + \varphi).$$

Таким образом, угол наклона основания конуса к вертикали составит

$$\begin{aligned} \beta = \gamma - \eta &= \frac{180 - \psi}{2} - 90^\circ + \varepsilon + \varphi = \varepsilon + \frac{\psi}{2}; \\ \beta &= \varepsilon + \frac{\psi}{2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Подставив значение β в уравнения (1), получим уравнения движения точки M рабочей поверхности рыхлителя конусной формы в принятой системе координат:

$$\begin{cases} x = v_e \cdot t \mp R(1 + \cos \varphi) \cdot \sin \left(\varepsilon + \frac{\psi}{2} \right); \\ y = \mp R \cdot \sin \varphi; \\ z = R \cdot \cos \left(\varepsilon + \frac{\psi}{2} \right) (1 + \cos \varphi). \end{cases} \quad (3)$$

В уравнении (3) верхний знак относится к случаю, когда орган конусной формы вращается против часовой стрелки, а нижний знак – к его вращению по часовой стрелке.

Данная система уравнений определяет положение любой точки поверхности основания рыхлителя конусной формы.

Для того чтобы найти координаты аналогичной точки поверхности рыхлителя конусной формы при $R = R_p$, необходимо найти величину изменения координат X и Z , т.е. ΔX и ΔZ .

Рассмотрим ΔOO_1O_3 :

$$\frac{OO_1}{OO_3} = \cos \frac{\psi}{2}; \text{ отсюда } OO_3 = \frac{H}{\cos \frac{\psi}{2}}.$$

Из ΔOKO_3 :

$$\frac{OK}{OO_3} = \sin \varepsilon, \quad OK = OO_3 \sin \varepsilon = \frac{H \cdot \sin \varepsilon}{\cos \frac{\psi}{2}}.$$

Аналогично для другого сечения кону-

$$PT = \frac{H_i \cdot \sin \varepsilon}{\cos \psi / 2}.$$

са находим

$$\Delta Z = OK - PT = \frac{H \cdot \sin \varepsilon}{\cos(\psi / 2)} - \frac{H_i \cdot \sin \varepsilon}{\cos(\psi / 2)} = \frac{\sin \varepsilon (H - H_i)}{\cos(\psi / 2)}. \quad (4)$$

Из ΔPO_2O_3 :

$$H_i = \frac{R_i}{\operatorname{tg}(\psi / 2)}. \quad (5)$$

Изменение координаты X при переходе на радиус R_i :

$$\Delta X = KT = (O_3O - O_3P) \cdot \cos \varepsilon,$$

$$O_3P = \frac{H_i}{\cos(\psi / 2)}; \quad (6)$$

$$\Delta X = KT = \left(\frac{H}{\cos(\psi / 2)} - \frac{H_i}{\cos(\psi / 2)} \right) \cos \varepsilon = \frac{(H - H_i) \cos \varepsilon}{\cos(\psi / 2)}. \quad (7)$$

Следовательно, координаты любой точки поверхности рыхлителя конусной формы в принятой декартовой системе координат с учетом формул (3), (4), (7) описываются системой уравнений:

$$\begin{cases} x = v_e \cdot t \mp R_i(1 + \cos \varphi) \cdot \sin(\varepsilon + \psi / 2) + \frac{(H - H_i) \cos \varepsilon}{\cos(\psi / 2)}; \\ y = \mp R_i \cdot \sin \varphi; \\ z = R_i \cdot \cos \varepsilon (1 + \cos \varphi) - \frac{\sin \varepsilon (H - H_i)}{\cos(\psi / 2)}. \end{cases} \quad (8)$$

Исследуем полученные уравнения движения точки винтовой линии рыхлителя конусной формы. Для этого, задавая параметрам ε , ψ и φ различные значения, сравним получаемые уравнения с известными уравнениями движения точек различных почвообрабатывающих машин.

Из выражения (3) и (8) при $\varepsilon = 0$ (что характерно для ножей почвообрабатывающих машин, осуществляющих прореживание всходов) система уравнений (8) примет следующий вид:

$$\begin{cases} x = v_e \cdot t; \\ y = \mp R_i \cdot \sin \varphi; \\ z = R_i \cdot (1 + \cos \varphi), \end{cases} \quad (9)$$

что соответствует уравнениям движения произвольной точки ножа ротационных почвообрабатывающих машин [5].

При $\varepsilon = 0$ и $\psi = 0$ (т.е. $R_i = 0$) рабочий орган превращается в плоский нож, уравнение движения которого по оси OX имеет вид:

$$x = v_e \cdot t. \quad (10)$$

При $\varphi = \omega t = 0$, получим уравнения движения точек верхней направляющей рабочей поверхности пассивного конического кротователя, которые имеют следующий вид:

$$\begin{cases} x = v_e \cdot t + 2R_i \cdot \sin(\varepsilon + \psi / 2) + \frac{(H - H_i) \cos \varepsilon}{\cos(\psi / 2)}; \\ y = 0; \\ z = 2R_i \cdot \cos \varepsilon - \frac{\sin \varepsilon (H - H_i)}{\cos(\psi / 2)}. \end{cases} \quad (11)$$

Выводы Таким образом, из полученных уравнений движения произвольной точки рабочей поверхности рыхлителя конусной формы можно вывести достоверные уравнения движения точек рабочей поверхности известных почвообрабатывающих органов.

Используя полученные уравнения можно определить скорости воздействия на почву, а также ускорения различных точек рабочей поверхности рабочего органа конусной формы, которые в дальнейшем могут быть использованы для анализа процесса взаимодействия орудия с почвой и обоснования его конструктивно-технологических параметров.

Библиографический список

1. Горячкин В. П. Собрание сочинений.

В 3 т / В.П. Горячкин. – 2-е изд. – М.: Колос, 1968. – Т. 1. – 1968. – 720 с.

2. Матяшин Ю.И. Теория и расчет ротационных почвообрабатывающих машин / Ю.И. Матяшин. – Казань: Таткнигоиздат, 1999. – 186 с.

3. Нартов П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия / П.С. Нартов. – Воронеж: Издательство ВГУ, 1972. – 184 с.

4. Мухаметшин, И.С. Совершенствование орудий для основной комбинированной обработки почвы / И.С. Мухаметшин, А.Р. Валиев // *Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: Труды международной научно-практической конференции.* – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2015. – С. 71–77.

5. Мухаметшин, И.С. Обзор почвообрабатывающих рабочих органов для глубокого рыхления / И.С. Мухаметшин, А.Р. Валиев // *Студенческая наука – аграрному производству: Материалы 71-ой студенческой (региональной) научной конференции.* Том 1. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2013. – С. 124–126.

6. Гайнанов Х.С., Макаров П.И. Об уравнениях движения ротационных органов почвообрабатывающих машин // *Труды ЧИМЭСХ.* Вып. 167. – Челябинск, 1981. – С. 95–98.

7. Булгариев, Г.Г. Ротационный рабочий орган для почвообрабатывающих орудий / Г.Г. Булгариев., Г.В. Пикмуллин И.С. Мухаметшин // «Scientific horizons – 2014»: Materials of the I International scientific and

practical conference, 30.09.2014–07.10.2014 [«Научные горизонты – 2014»: Материалы I-ой международной научно-практической конференции, 30.09.2014–07.10.2014]. – Sheffield (UK): Science and Education Ltd, 2014. – p. 47–49.

8. Патент РФ на изобретение 2553380, МПК7 А01В 79/00, 3/28. Способ противоэрозионной обработки почвы на склонах и устройство для его осуществления / И.С. Мухаметшин, П.И. Макаров, А.Р. Валиев, заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ. – № 2013151723/13(080641). – Заявл. 20.11.2013; опубл. 10.06.2015. – Бюлл. № 16. – 10 с.

9. Патент РФ на изобретение 2522320, МПК7 А01В 13/08, 33/06, 49/02. Комбинированный плуг для гладкой вспашки / И.С. Мухаметшин, А.Р. Валиев, П.И. Макаров; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ. – Заявл. 12.02.2013; опубл. 10.07.2014. – Бюлл. № 19. – 10 с.

10. Макаров, П.И. Научные основы технологии и ротационных машин для гладкой обработки почвы: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. – Москва, 2000. – 48 с.

11. Нартов, П.С. О величине заднего угла резания у дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин / П.С. Нартов // *Известия ВУЗов.* Изд-во МВТУ им. Баумана. – 1970. – № 6. – С. 142–146.

12. Канарёв, Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф.М. Канарёв. – М.: Машиностроение, 1983. – 142 с.