

**В.Ф. Первушин**, канд. техн. наук, профессор

**М.З. Салимзянов**, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»

## КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РОТАЦИОННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ УХОДА ЗА РАСТЕНИЯМИ КАРТОФЕЛЯ

Основные показатели качества работы ротационных рабочих органов зависят от их геометрических и кинематических параметров. Геометрические параметры конструкции ротационной бороны определяются размерами профиля гребня, междурядьем растений, глубиной залегания клубней. Кинематические параметры устанавливают в зависимости от агротехнических требований к выполняемой технологической операции, гранулометрических свойств почвы, физико-механических свойств растительных материалов и др.

По расположению оси вращения в пространстве ротационные рабочие органы можно разделить на три группы и семь подгрупп класса А; Б; В; Г; Д; Е и Ж [1].

Ротаторы первой группы классов А, Б и В совершают плоско-параллельное движение. Общие уравнения движения их достаточно хорошо изучены во многих научных работах, а абсолютная траектория движения на плоскости, перпендикулярной оси вращения ротора, описывается циклоидой, которая может быть удлиненной ( $\lambda > 1$ ), обыкновенной ( $\lambda = 1$ ; характерно для катков и опорно-приводных колес сельскохозяйственных машин) или укороченной ( $\lambda < 1$ ; характерно для борон ротационно-реактивного типа).

Ротаторы классов Г, Д, Е и Ж совершают сложное движение в пространстве. Их кинематика и, в частности, абсолютная траектория движения пока недостаточно исследована.

Изучение кинематики ротора удобнее начать с рассмотрения движения точки, расположенной на расстоянии от оси вращения радиусом  $r$  и вращающейся с постоянной угловой скоростью  $\omega = 2\pi n/60$  вокруг оси в неподвижной системе координат  $OXYZ$  (рис. 1) при поступательной скорости машины  $v_n$  вдоль оси  $OX$ .

В относительном движении за время  $t_i$  любая точка поворачивается вокруг своей оси на угол  $\varphi_i = \omega t_i$ , а в переносном движении перемещается вдоль оси абсцисс на расстояние  $v_n t_i$  или  $v_n \varphi_i / \omega$ . По-

этому координаты точек абсолютной траектории движения рабочего органа складываются из их координат в переносном и относительном движении. За начало отсчета принята точка  $A$  рабочего органа в прямоугольной системе координат  $OXYZ$ .

Система уравнений, описывающих абсолютную траекторию движения рабочего органа, имеет вид

$$\begin{cases} x(\varphi) = v_n \varphi / \omega + r \sin \varphi \sin \alpha; \\ y(\varphi) = -r \sin \varphi \cos \alpha; \\ z(\varphi) = r \cos \alpha. \end{cases}$$

Используя математический пакет программ MathCAD 11 и уравнения абсолютной траектории движения материальной точки в параметрической форме, можно оперативно и быстро получить абсолютные траектории движения роторов каждого класса и проанализировать выполняемый ими технологический процесс.

Проанализируем уравнения, результаты расчетов (табл. 1) и абсолютные траектории движения роторов классов Г на примере ротационного рыхлителя (рис. 1, 2) с осью вращения, расположенной в плоскости  $XOY$  со следующими параметрами (исходными данными):

- расположение оси вращения ротационной бороны относительно осей координат  $OX$ ,  $OY$ ,

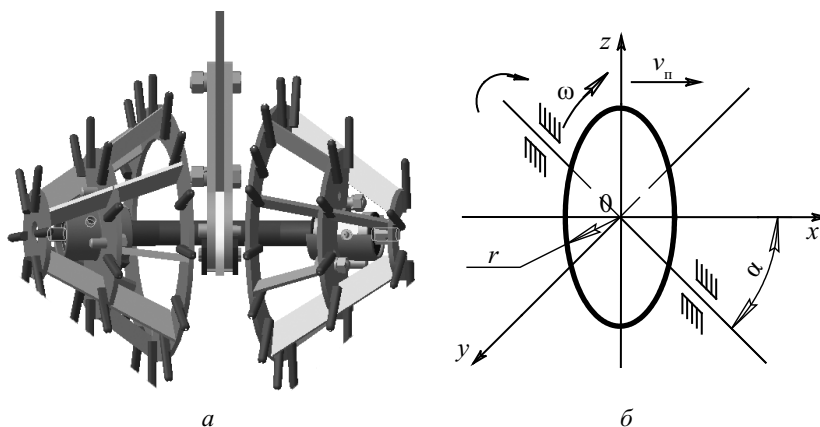


Рис. 1. Ротационный рыхлитель класса Г:

а — общий вид (модель); б — кинематическая схема

Таблица 1

Результаты расчета в программе Mathcad 11 координат траектории движения точки, расположенной на расстоянии  $r = 0,065$  м от оси вращения

| $\varphi$    | 0     | $\pi/12$ | $\pi/6$ | $\pi/4$ | $\pi/3$ | $5\pi/12$ | $\pi/2$ | $7\pi/12$ | $2\pi/3$ | $3\pi/4$ | $5\pi/6$ | $11\pi/12$ | $\pi$  |
|--------------|-------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|-----------|----------|----------|----------|------------|--------|
| $x(\varphi)$ | 0     | 0,061    | 0,121   | 0,179   | 0,233   | 0,284     | 0,331   | 0,373     | 0,411    | 0,446    | 0,477    | 0,506      | 0,534  |
| $y(\varphi)$ | 0     | -0,003   | -0,006  | -0,008  | -0,01   | -0,011    | -0,011  | -0,011    | -0,01    | -0,008   | -0,006   | -0,003     | 0      |
| $z(\varphi)$ | 0,065 | 0,063    | 0,056   | 0,046   | 0,033   | 0,017     | 0       | -0,017    | -0,032   | -0,046   | -0,056   | -0,063     | -0,065 |

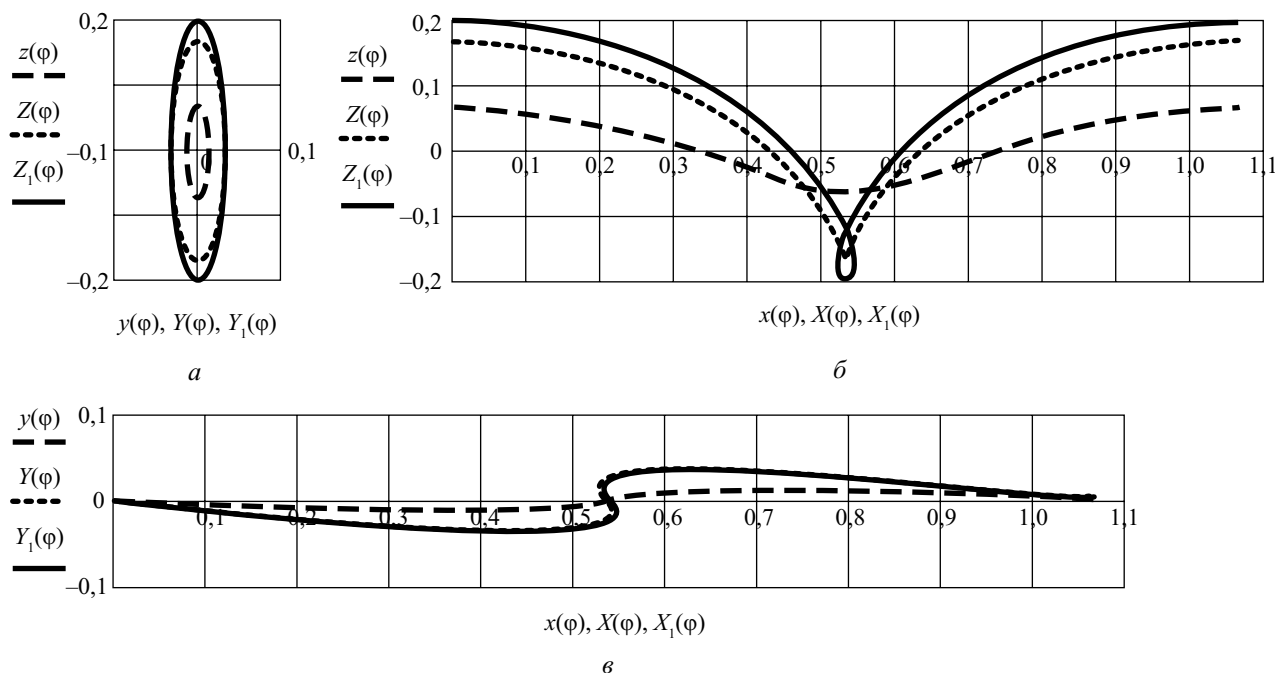


Рис. 2. Проекция абсолютной траектории движения ротационного рабочего органа класса Г на прямоугольные плоскости пространственной системы координат:

а — поперечно-вертикальную; б — продольно-вертикальную; в — горизонтальную

$OZ$  характеризуется соответственно углами  $\alpha = 4\pi/9 = 80^\circ$ ,  $\beta = \pi/18 = 10^\circ$ ;  $\gamma = \pi/2 = 90^\circ$ ;

- поступательная скорость машины  $v_n = 2,14$  м/с;
- частота вращения ротационного рыхлителя  $n = 120$  мин $^{-1}$ ;
- число оборотов  $k = 1$ ;
- интервал угла поворота ротора для координат  $\varphi = 0, \pi/12 \dots 2\pi k$ ;
- радиусы расстояния от центра вращения рассматриваемых точек рабочего органа  $r = 0,065$ ;  $0,170$ ;  $0,020$  м.

Из анализа траекторий движения следует, что для роторов классов Г, Д и Е абсолютная траектория движения представляет собой винто-

вую линию, ее проекции на горизонтальную  $XOY$  (рис. 2) и продольно-вертикальную  $XOZ$  плоскости — сжатые циклоиды, а на поперечно-вертикальную плоскость — эллипс (рис. 2, а).

Для третьей группы роторов класса Ж (рис. 3), ось вращения которых расположена произвольно в пространстве, т. е. установлена афронтально и наклонно, общая система уравнений, описывающая траекторию любой точки ротора, имеет вид:

$$\begin{cases} x(\varphi) = v_n \varphi / \omega + r \cos \varphi \sin \beta + \cos \alpha - r \sin \varphi \sin \alpha; \\ y(\varphi) = r \cos \varphi \sin \beta \sin \alpha - r \sin \varphi \cos \alpha \cos \beta; \\ z(\varphi) = r \cos \varphi \cos \beta. \end{cases} \quad (1)$$

Таблица 2

Результаты расчета в программе Mathcad 11 координат траектории движения точки, расположенной на расстоянии  $r = 0,065$  м от оси вращения

| $\varphi$    | 0     | $\pi/12$ | $\pi/6$ | $\pi/4$ | $\pi/3$ | $5\pi/12$ | $\pi/2$ | $7\pi/12$ | $2\pi/3$ | $3\pi/4$ | $5\pi/6$ | $11\pi/12$ | $\pi$  |
|--------------|-------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|-----------|----------|----------|----------|------------|--------|
| $x(\varphi)$ | 0,002 | 0,063    | 0,123   | 0,18    | 0,234   | 0,285     | 0,331   | 0,373     | 0,411    | 0,444    | 0,475    | 0,504      | 0,532  |
| $y(\varphi)$ | 0,011 | 0,008    | 0,004   | 0       | -0,004  | -0,008    | -0,011  | -0,014    | -0,015   | -0,016   | -0,015   | -0,014     | -0,011 |
| $z(\varphi)$ | 0,064 | 0,062    | 0,055   | 0,045   | 0,032   | 0,017     | 0       | -0,017    | -0,032   | -0,045   | -0,055   | -0,062     | -0,064 |

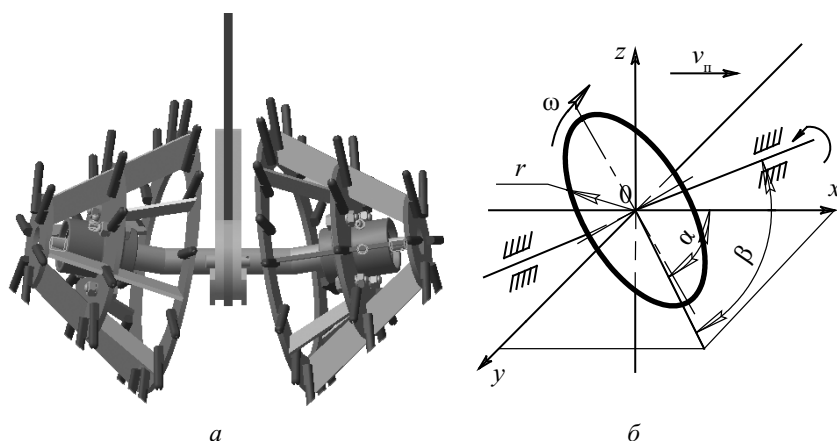


Рис. 3. Ротационный рыхлитель класса Ж:  
а — общий вид (модель); б — кинематическая схема

роторов класса Г несложно получить координаты траектории движения для третьей группы роторов класса Ж на примере ротационного рыхлителя (рис. 3) и построить их на плоскости.

Практический интерес представляет траектория движения точек ротационного рыхлителя в зоне контакта их с почвой. Согласно результатам анализа траекторий движения все точки барабана внутри окружности обода почвозацепов описывают укороченную циклоиду с  $\lambda < 1$ . Следо-

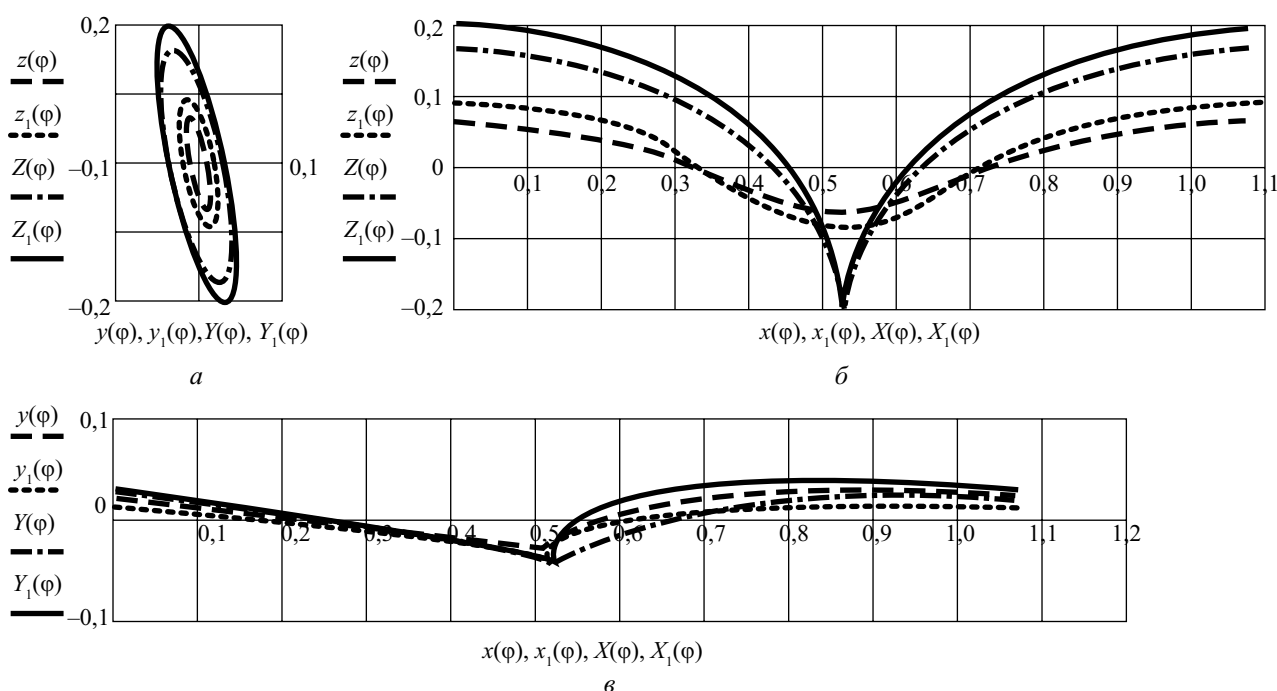


Рис. 4. Проекция абсолютной траектории движения ротационного рабочего органа класса Ж на прямоугольные плоскости пространственной системы координат:  
а — поперечно-вертикальную; б — продольно-вертикальную; в — горизонтальную

Используем кинематический параметр  $\lambda = v_{\text{окр}}/v_{\text{п}}$  и выразим поступательную скорость через окружную:  $v_{\text{п}} = v_{\text{окр}}/\lambda$ , учитывая, что  $v_{\text{окр}} = \omega r$ . Тогда  $v_{\text{п}} = \omega r/\lambda$ . В этом случае система уравнений (1) примет вид

$$\begin{cases} x(\varphi) = r(\varphi/\lambda + \cos \varphi \sin \beta \cos \alpha - \sin \varphi \sin \alpha); \\ y(\varphi) = r(\cos \varphi \sin \beta \sin \alpha - \sin \varphi \cos \alpha \cos \beta); \\ z(\varphi) = r \cos \varphi \cos \beta. \end{cases} \quad (2)$$

Используя математический пакет программ Mathcad 11 при тех же исходных данных, что и для

вательно, в зоне контакта с почвой рабочие элементы ротационного рыхлителя протаскивают верхний слой почвы, уничтожая при этом сорняки и разрыхляя почву.

#### Список литературы

1. Канарев, Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф.М. Канарев. — М.: Машиностроение, 1983. — 142 с.
2. Матяшин, Ю.И. Расчет и проектирование ротационных почвообрабатывающих машин / Ю.И. Матяшин, И.М. Гринчук, Г.М. Егоров. — М.: Агропромиздат, 1988. — 176 с.
3. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 11 / Д.В. Кирьянов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 560 с.