

УДК 631.3(075.8)

**АНАЛИЗ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЗУБЬЕВ  
ПРИ СОЗДАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО  
РАБОЧЕГО ОРГАНА\***

**ANALYSIS OF THE TRAJECTORY OF THE TEETH  
TO CREATE A PILOT TILLAGE WORKING BODY**

Д. Ю. Карташов<sup>1</sup>, С. А. Васильев<sup>1</sup>, Е. П. Алексеев<sup>1</sup>, А. А. Васильев<sup>2</sup>, В. В. Алексеев<sup>3</sup>

D. Y. Kartashov<sup>1</sup>, S. A. Vasilyev<sup>1</sup>, E. P. Alekseev<sup>1</sup>, A. A. Vasilyev<sup>2</sup>, V. V. Alekseev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Чебоксары

<sup>2</sup>ГБОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»,  
Нижегородская область, г. Княгинино

<sup>3</sup>Чебоксарский кооперативный институт (филиал) АНО ВПО ЦС РФ  
«Российский университет кооперации», г. Чебоксары

**Аннотация.** Анализ траектории движения зубьев рабочих органов почвообрабатывающих орудий позволяет подобрать оптимальные конструкционные параметры, при которых воздействие на почву становится более эффективным и менее энергозатратным. Сконструированные с учетом полученных теоретических предпосылок экспериментальные рабочие органы в результате проверки в полевых условиях подтвердили высокие эксплуатационные характеристики.

**Abstract.** The analysis of the trajectory of the working bodies of the tillers teeth allows to choose the optimal design parameters with which the impact on the soil becomes more efficient and less energy-consuming. The experimental working bodies, which have been designed considering the theoretical assumptions, confirmed the high performance when being tested in the field.

**Ключевые слова:** анализ траектории, воздействие на почву, лабораторные и полевые испытания, ротационные рабочие органы, эффективность воздействия.

**Keywords:** trajectory analysis, impact on soils, laboratory and field tests, rotating working bodies, impact effectiveness.

**Актуальность исследуемой проблемы.** Возрастание требований к современной технике в отношении надежности и снижения эксплуатационных затрат вызывает необходимость постоянного поиска новых конструкционных решений. Взаимодействие активных рабочих органов почвообрабатывающих орудий с почвой сопровождается комплексом изменений взаимного расположения почвенных слоев и разрыхления почвы. На качество обработки почвы существенно влияют режимы работы и конструктивные пара-

---

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 13-05-97048-р\_поволжье\_а.

метры рабочих органов [1]. Поэтому при выборе оптимальных конструктивных параметров и режимов работы важно точно определять кинематику рабочих органов для учета различного рода нюансов, возникающих при их разработке.

**Материал и методика исследований.** В связи с поставленной целью для улучшения качества механического воздействия на почву нами предлагается использовать экспериментальный рабочий орган, спроектированный для значительного сокращения энергозатрат и повышения урожайности возделываемых культур. Уменьшение количества проходов такого орудия по полю снижает отрицательное уплотняющее воздействие движителей тракторов и сельскохозяйственных машин на почву.

Разработанный почвообрабатывающий рабочий орган (рис. 1) содержит стойку 1, плоскорежущую лапу 2, стабилизатор-рыхлитель 3, установленный шарнирно на оси 4, с закрепленной на нем поперечиной 5 с зубчатыми дисками: верхним 6 и нижним 7 на осях 8 и 9 соответственно [2].

При движении агрегата поперек склона плоскорежущая лапа 2 подрезает пласт на установленной глубине. Стабилизатор-рыхлитель 3, установленный шарнирно на оси 4, частично рыхлит подрезанный пласт, воспринимая боковые усилия, способствуя тем самым повышению устойчивости движения орудия в плоскости склона. Зубчатый диск 7, установленный на оси 9, вращается, взаимодействуя с дном борозды, производя ее рыхление и находясь во взаимном зацеплении с зубчатым диском 6, передает вращение ему. Тем самым происходит дополнительное рыхление подрезанного пласта почвы и его «подталкивание», т. е. исключается «сгуживание» почвы рабочим органом, которое возникает при его работе [3].

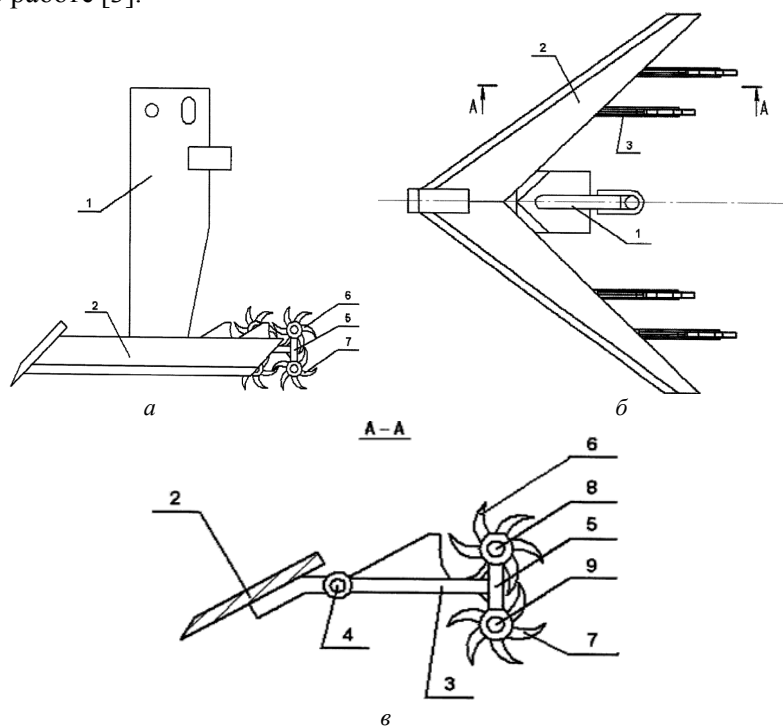


Рис. 1. Схема почвообрабатывающего рабочего органа:  
а – вид сбоку; б – вид сверху; в – сечение А-А

Форма зуба дисков 6 и 7, выполненная по абсолютной траектории движения, позволяет дискам заглубляться в почву при минимальном вертикальном усилии и обеспечивает надежное сцепление зубьев диска 7 с дном борозды.

Рассмотрим возможность наклона звездочки к вертикали и к направлению движения рабочего органа (рис. 2).

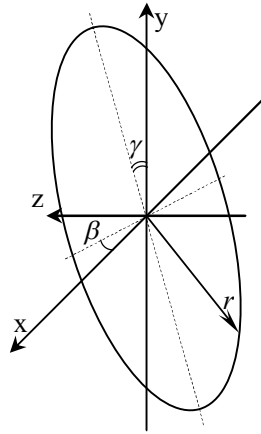


Рис. 2. Схема наклона звездочки

Запишем уравнения траекторий движения для конца 1-го нижнего зуба  $F_{н1}$ :

$$\begin{aligned} x &= r \cos\beta (\sin t + kt), \\ y &= r \cos\gamma \cos t, \end{aligned} \quad (1)$$

для конца 1-го верхнего зуба  $F_{в1}$ :

$$\begin{aligned} x &= r \cos\beta (-\sin(t + \pi/6) + kt), \\ y &= r \cos\gamma \cos(t + \pi/6) + d, \end{aligned} \quad (2)$$

для конца 2-го нижнего зуба  $F_{н2}$ :

$$\begin{aligned} x &= r \cos\beta (\sin(t + \pi/3) + kt), \\ y &= r \cos\gamma \cos(t + \pi/3), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $t \in [0, 2\pi]$ ,  $r$  – радиус звездочки, м;  $\gamma, \beta$  – углы отклонения от вертикали и прямого направления, град.;  $d$  – расстояние между звездочками, м;  $k$  – коэффициент проскальзывания (для данного орудия  $k \geq 1$ ).

Кинематическое зацепление зубьев, как и предполагается, приводит к дополнительному рыхлению, подрезанию и «подталкиванию» пласта, исключая «сгуживание» почвы. Идеализированной траекторией в данном случае является растянутая циклоида, поскольку присутствует некоторое проскальзывание звездочки в почве (избавляться от данного проскальзывания нерационально, поскольку звездочка вращается не от вала отбора мощности, а от сцепления с почвой). В случае, когда проскальзывания нет,  $k = 1$ , но если почва рыхлая, нетвердая, то  $k \geq 1$ . Этот факт позволяет сделать достаточно важный (не количественный, а на данном этапе только качественный) вывод – чем меньше твердость, тем больше  $k$ .

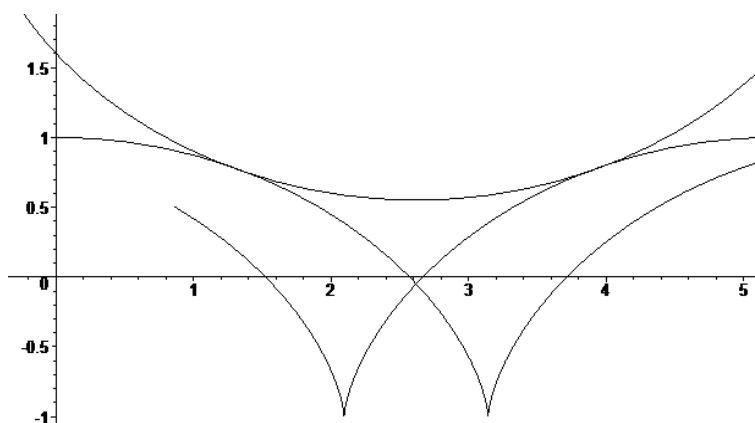


Рис. 3. Траектории концов верхних и нижних зубьев по уравнениям (1), (2), (3)

**Результаты исследований и их обсуждение.** Определим минимальное расстояние между осями звездочек. В первом приближении пренебрежем формой зубьев. Численно решая системы уравнений (1)–(2) и (2)–(3), увеличиваем значение расстояния между звездочками до тех пор, пока корни не исчезнут. Исчезновение корней говорит о том, что траектории больше не пересекаются и конструктивно вращение звездочек становится возможным.

Рассмотрим частный случай, когда  $r = 0,1$  м,  $\cos\beta = 1$ ,  $k=1$ ,  $\cos\gamma = 1$ . Анализ численных решений показывает, что траектории перестают пересекаться при расстоянии между звездочками  $d \geq 1,56$ ,  $r=0,156$  м. Расстояние между осями при необходимости можно сократить увеличением углов  $\beta$  и  $\gamma$ .

Кинематическое зацепление зубьев, как и описано в [2], приводит к дополнительному рыхлению, подрезанию и «подталкиванию» пласта, исключая «сгруживание» почвы, и, таким образом, повышает качество и эффективность ее обработки.

**Резюме.** Расчет траекторий движения зубьев рабочих органов почвообрабатывающих орудий и их анализ позволили сконструировать экспериментальные рабочие органы, подобрать оптимальные конструкционные и эксплуатационные параметры, при которых воздействие на почву становится более эффективным и менее энергозатратным. Весенние и осенние полевые испытания 2013 г. подтвердили высокие эксплуатационные характеристики, позволившие сэкономить средства при обработке почвы, снизить вследствие сокращения количества проходов техники, техногенное воздействие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев, В. В.* Оценка механического воздействия на почву фрезы ФБН-1,5 с модифицированными рабочими органами / В. В. Алексеев, В. И. Максимов, И. И. Максимов, А. Н. Михайлов, И. В. Сякаев // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – 2012. – № 4 (76). – С. 3–6.
2. *Патент* 2475006 Российская Федерация. Почвообрабатывающий рабочий орган / И. И. Максимов, Д. Ю. Карташов, С. А. Васильев, В. И. Максимов, А. А. Васильев ; патентообладатель Чуваш. гос. с.-х. академ. – № 2010152113/13 ; заявл. 20.12.10 ; опубл. 20.02.13, Бюл. № 5.
3. *Патент* 2360391 Российская Федерация. Почвообрабатывающий рабочий орган / В. И. Максимов, А. В. Прошкин, И. И. Максимов, С. А. Васильев, А. А. Васильев ; патентообладатель Чуваш. гос. с.-х. академ. – № 20008105187/12 ; заявл. 11.02.08 ; опубл. 10.07.09, Бюл. № 19.