

УДК 622.23.054.522 + 515.2

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ФОРМ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ПЛАНЕТАРНО-ТОРОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГОРНОГО КОМБАЙНА

Довгаль Д. А., к. т. н.

Донецкий национальный технический университет»

Тел. (062)338-48-85

Аннотация – На основании геометрической модели рабочего процесса планетарно-торового исполнительного органа рассмотрены основные формы траектории пространственного движения единичного рабочего инструмента. Выявлены характерные особенности изменения формы траектории при варьировании значениями конструктивных и кинематических параметров исполнительного органа, определена их периодичность.

Ключевые слова – планетарный исполнительный орган; рабочий инструмент; траектория движения рабочего инструмента; геометрия резания; поверхность обработки.

Постановка проблемы. В планетарных исполнительных органах горных машин режущий инструмент совершает относительно забоя сложное пространственное (планетарное) движение, одновременно двигаясь относительно оси рабочего диска и относительно оси выработки.

Это дает возможность получить большое разнообразие способов разрушения и выбрать наиболее выгодные параметры органа.

Основным определяющим фактором условий взаимодействия режущего инструмента с горным массивом является характер его движения, т. е. формы траекторий, по которым точки инструмента осуществляют свое движение. Для исследования кинематики движения, параметров резания, характера взаимодействия с забоем, а также элементов геометрии рабочего инструмента планетарно-торового исполнительного органа необходимо, прежде всего, изучить возможные формы траекторий, а также выявить основные закономерности их изменения, при изменении параметров исполнительного органа.

Анализ последних исследований. Одними из первых работ по теории планетарных исполнительных органов были работы А. С. Архангельского [1] и В. Г. Унгефуга [2], в которых впервые были получены парамет-

рические уравнения движения рабочего инструмента различных типов планетарных исполнительных органов. Однако, как впоследствии было показано авторами В. В. Кизиловым [3] и А. Г. Рогожиным [4] эти уравнения не отображают действительной кинематики движения рабочего инструмента планетарного исполнительного органа, поскольку в них не учтен ряд параметров, существенно влияющих на процесс взаимодействия инструмента с разрушаемым массивом.

В работах [3, 4] были уточнены уравнения движения инструмента, а также детально исследованы основные формы траекторий и геометрия резания отдельных конструкций планетарного исполнительного органа (плоский, кольцевой, сферический).

Что же касается геометрического анализа форм кривых-траекторий рабочего инструмента, которые могут иметь место при варьировании значениями конструктивных и кинематических параметров планетарно-торового исполнительного органа, то глубоких и обоснованных исследований по данному вопросу не проводилось. Вследствие этого, до настоящего времени, отсутствовало полное и точное представление о геометрии взаимодействия режущего инструмента планетарно-торового исполнительного органа с разрушаемым массивом. В результате невозможно было установить согласованные значения конструктивных и кинематических параметров планетарно-торового исполнительного органа, обеспечивающие наиболее рациональную его работу.

Постановка задачи. В работе поставлена задача выявления возможных форм траекторий, порождаемых движением рабочего инструмента планетарно-торового исполнительного органа в процессе его работы, а также проанализировать влияние конструктивных и кинематических параметров исполнительного органа на форму траектории.

Основная часть. Схема работы планетарно-торового исполнительного органа приведена на рис. 1. Каждый режущий инструмент, установленный на рабочем диске данного исполнительного органа, описывает кривую-траекторию, которая определяется следующими параметрическими уравнениями [5]:

$$\begin{aligned}x &= [R - r \cos(\varphi i + \psi)] \cos \varphi - d \sin \varphi; \\y &= [R - r \cos(\varphi i + \psi)] \sin \varphi + d \cos \varphi; \\z &= \frac{h \varphi}{2\pi} \pm r \sin(\varphi i + \psi),\end{aligned}\tag{1}$$

где R – радиус водила; r – радиус рабочего диска; φ – угол поворота водила от начального положения ($0 \leq \varphi \leq 2\pi$); i – передаточное число планетарного механизма; ψ – угол установки инструмента на диске; d – величина смещения центра рабочего диска от плоскости пучка вращения

водила; h – величина подачи исполнительного органа на забой за один оборот водила.

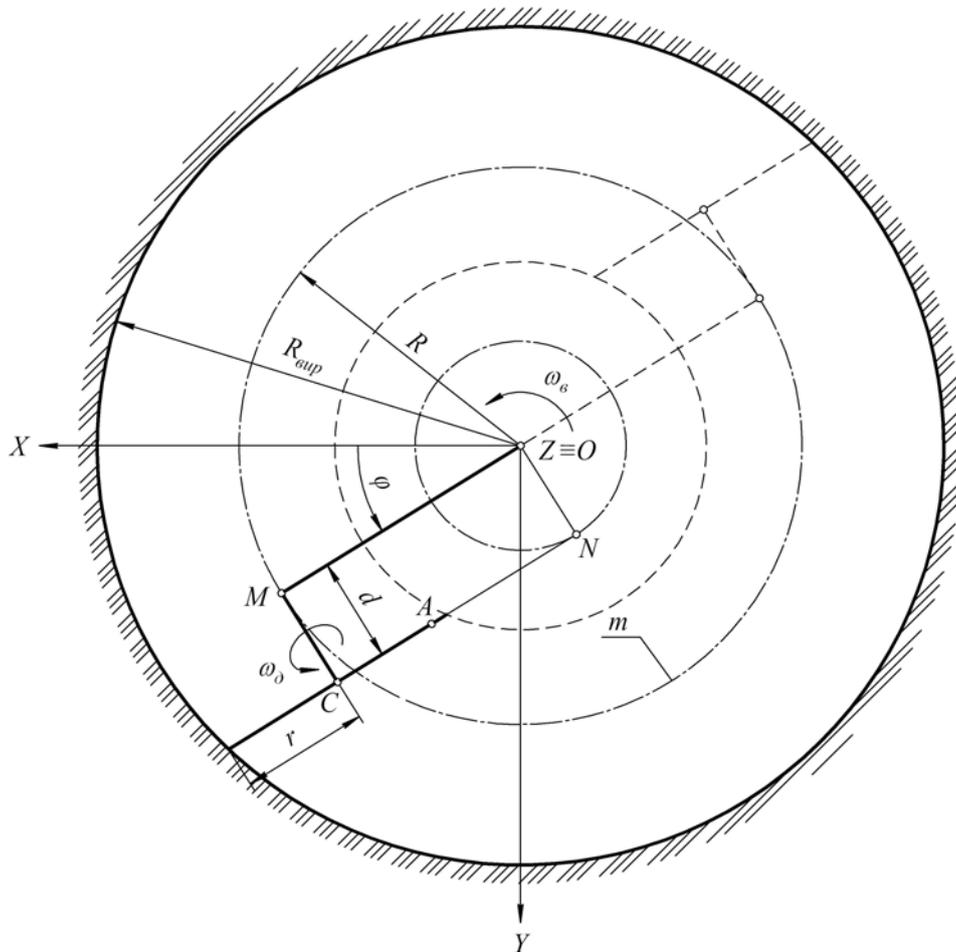


Рис. 1. Схема работы планетарно-торового исполнительного органа

В уравнениях (1) верхний знак соответствует вращению рабочего диска в направлении против часовой стрелки (суммирующая схема), нижний знак соответствует обратному направлению вращения диска (вычитающая схема).

Форма траектории определяется набором величин, которые являются конструктивными (R , r , d) и кинематическими (i , h) параметрами исполнительного органа.

Связь между конструктивными параметрами – радиусом водила R и радиусом рабочего диска r исполнительного органа выражается коэффициентом пропорциональности $k = R/r$.

Рассматривая планетарно-торовый исполнительный орган с геометрической точки зрения, при нулевой подаче на забой ($h = 0$), окруж-

ность рабочего диска и окружность вокруг которой она обкатывается можно определить как подвижную и неподвижную центроиды. Тогда, рабочий инструмент, жестко связанный с окружностью диска, в своем движении будет описывать пространственные циклоидальные кривые, которые лежат на некоторой поверхности. При введении в систему величины подачи $h > 0$, рабочий инструмент будет участвовать в трех элементарных движениях – вращательном вокруг оси вращения водила OZ ; вращательном рабочего диска вокруг оси MC и поступательном в направлении оси OZ на величину h за один рабочий цикл (оборот водила).

Водило OM является образующей прямого коноида, а точка B опишет цилиндрическую винтовую линию радиуса R . Рабочий диск опишет циклическую поверхность, линией центров которой является траектория движения точки C . В свою очередь, резец опишет пространственную винтовую линию, которая навивается на циклическую торообразную поверхность [6].

Рассмотрим некоторые основные формы траекторий, описываемых единичным рабочим инструментом, закрепленным на диске планетарноторового исполнительного органа за один рабочий цикл, рассматривая отдельно влияние каждого параметра на форму траектории.

а) Определим характерные особенности изменения формы траектории при варьировании значениями параметра k . Рассмотрим траектории при $k \geq 1$:

- при $k = 1, i = 3, h = 30$ мм, $d = 0$ инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 2 (слева представлено пространственное изображение, на котором сплошной линией показана траектория инструмента при вычитающей схеме работы исполнительного органа, а точечной – при суммирующей; справа – изображение траектории в проекции на поперечное сечение выработки). Траектория представляет собой пространственную циклоидальную кривую, проекция которой замыкается за один оборот водила. Инструмент при этом обрабатывает всю поверхность забоя.

- при $k = 1,5, i = 3, h = 30$ мм, $d = 0$ инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 3. Траектория аналогична предыдущей, однако отличается тем, что резец обрабатывает не всю площадь выработки, т. е. центральная часть остается необработанной.

- при $k = 2, i = 3, h = 30$ мм, $d = 0$ инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 4. Форма траектории остается неизменной, но дисками исполнительного органа обрабатывается еще меньшая площадь забоя, чем во втором случае.

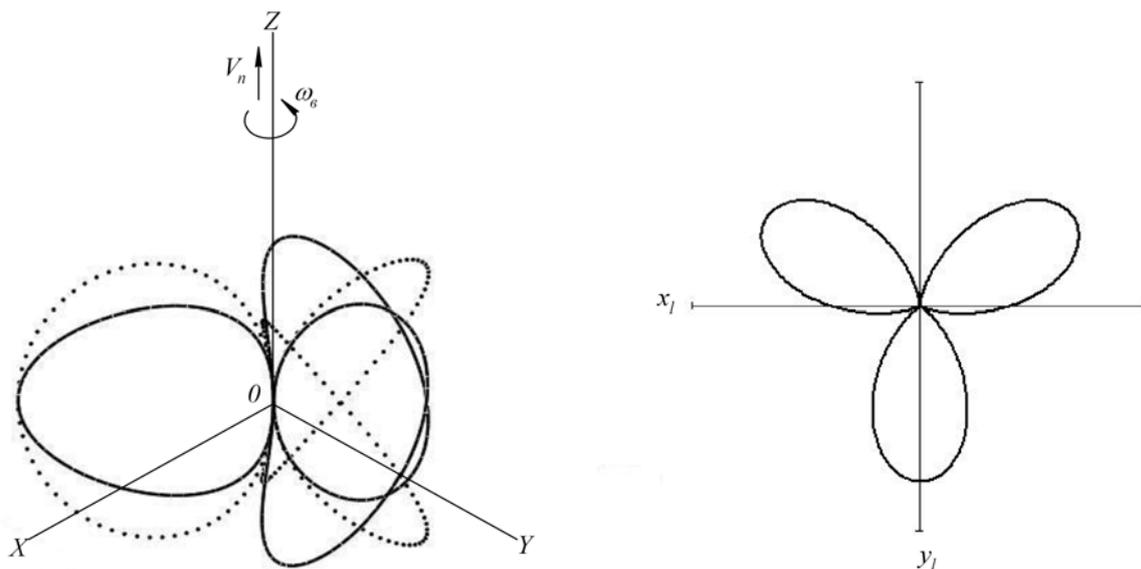


Рис. 2. Траектория движения инструмента ($k = 1, i = 3, h = 30 \text{ мм}, d = 0$)

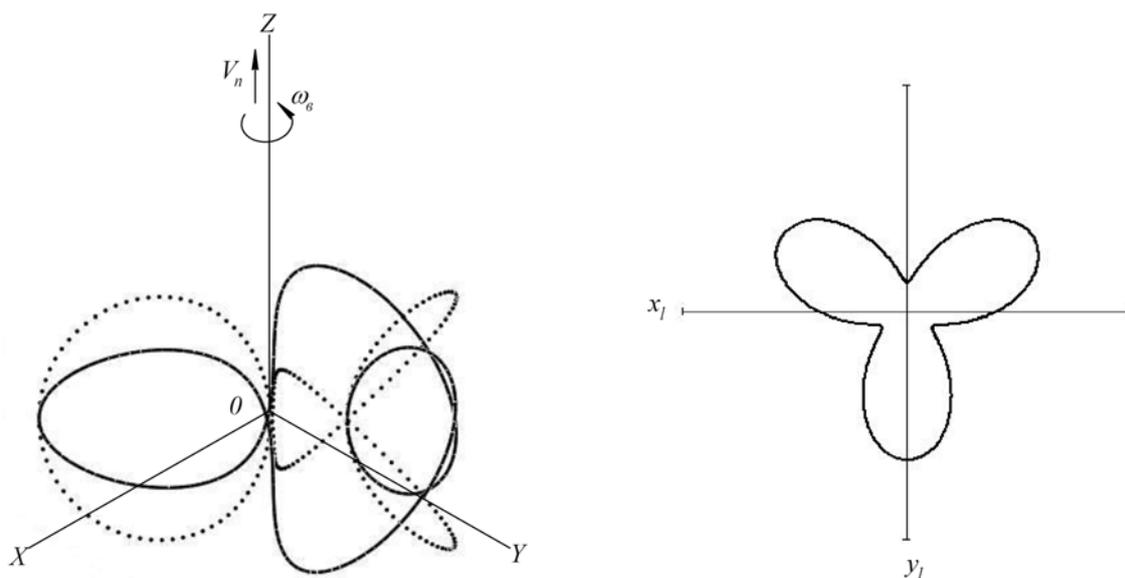


Рис. 3. Траектория движения инструмента ($k = 1,5, i = 3, h = 30 \text{ мм}, d = 0$)

Рассмотрим формы траекторий при значениях $k < 1$:

- при $k = 0,5, i = 4, h = 30 \text{ мм}, d = 0$ инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 5. Форма траектории изменилась, что обусловлено увеличением радиуса рабочего диска r до размеров, бóльших чем радиус водила R . Траектория приближается к циклоидальной кривой на поверхности сферы. Рабочий инструмент обрабатывает

всю поверхность забоя.

- при $k \rightarrow 0$, $i = 4$, $h = 30$ мм, $d = 0$ инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 6. Данный случай отличается от предыдущих значением $R \rightarrow 0$, т. е. отсутствием водила исполнительного органа как такового. При таком значении коэффициента k , рабочий диск вращается вокруг двух своих осей во взаимно перпендикулярных плоскостях. Из этого следует, что траектория инструмента будет лежать на винтовой поверхности, образующей которой является окружность рабочего диска. При этом обрабатывается весь забой.

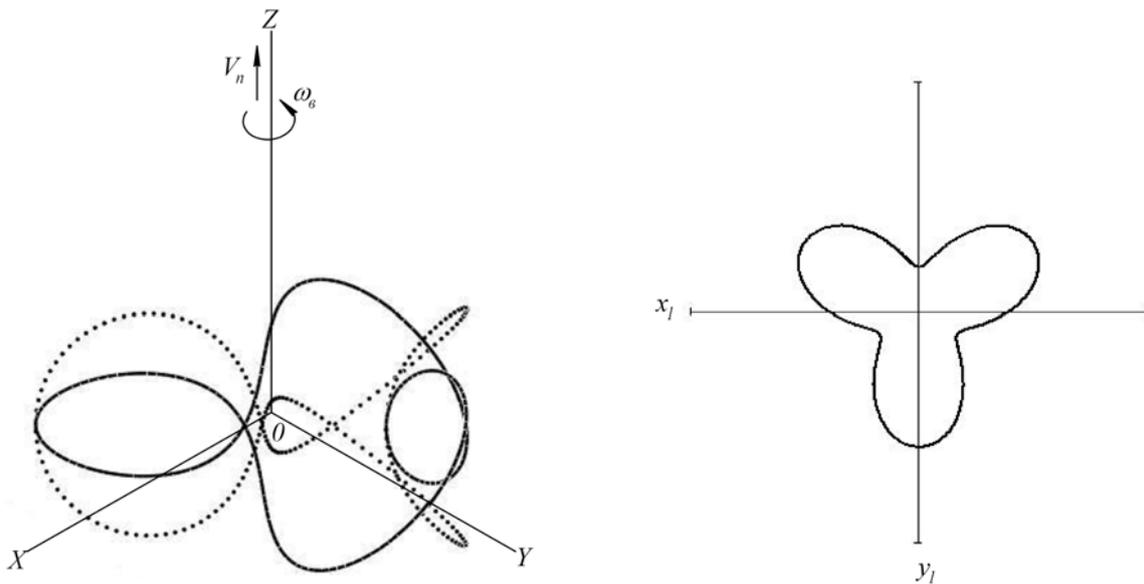


Рис. 4. Траектория движения инструмента ($k = 2$, $i = 3$, $h = 30$ мм, $d = 0$)

б) Определим какое влияние на форму траектории оказывает варьирование значениями параметра i :

- при $k = 1,5$, $i = 3,5$, $h = 30$ мм, $d = 0$ инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 7. Как и в предыдущих случаях, траектория представляет собою циклоидальную кривую, проекция которой, вследствие дробного значения передаточного числа i , не замыкается за один рабочий цикл. Траектория имеет 3,5 витка, что соответствует значению передаточного числа.

- при $k = 1,5$, $i = 4$, $h = 30$ мм, $d = 0$ инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 8. Траектория аналогична предыдущей, но имеет целое число витков, равное значению i , проекция траек-

тории является замкнутой по причине целочисленных значений передаточного числа.

- при $k = 1,5$, $i = 7$, $h = 30$ мм, $d = 0$ инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 9. Форма траектории отличается от предыдущей количеством витков и меньшей вытянутостью вдоль за-
боя.

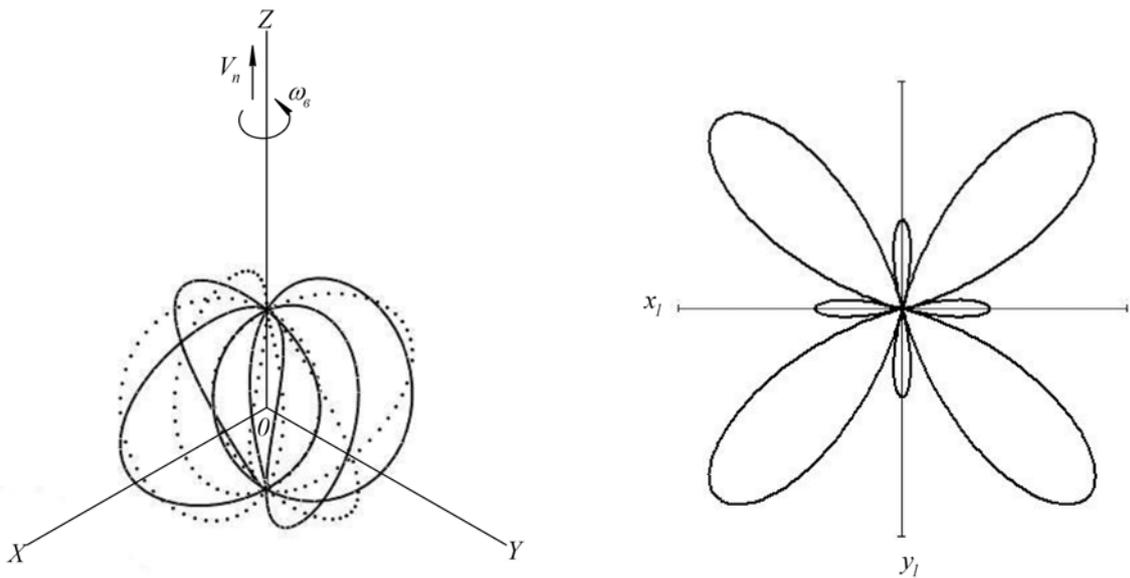


Рис. 5. Траектория движения инструмента ($k = 0,5$, $i = 4$, $h = 30$ мм, $d = 0$)

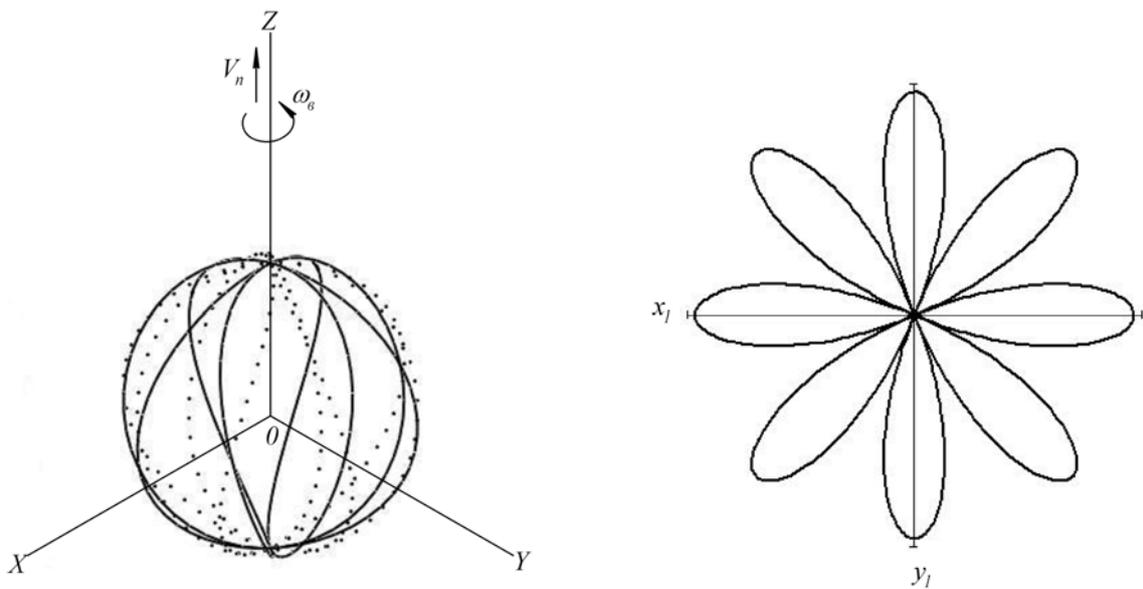


Рис. 6. Траектория движения инструмента ($k \rightarrow 0$, $i = 4$, $h = 30$ мм, $d = 0$)

Итак, из анализа уравнений траектории движения рабочего инструмента (1), а также примеров траекторий, приведенных на рис. 7-9, следует, что замкнутостью за один рабочий цикл, т. е. за период 2π , отличаются проекции кривых с целочисленными значениями передаточного числа i . Проекция траекторий, с дробными значениями передаточных чисел замыкаются на конечном интервале изменения φ лишь в том случае, если при задании целочисленного коэффициента ζ , существует целое i_0 , такое, при котором $i_0 = i\zeta$; период замкнутости при этом равен $2\pi\zeta$.

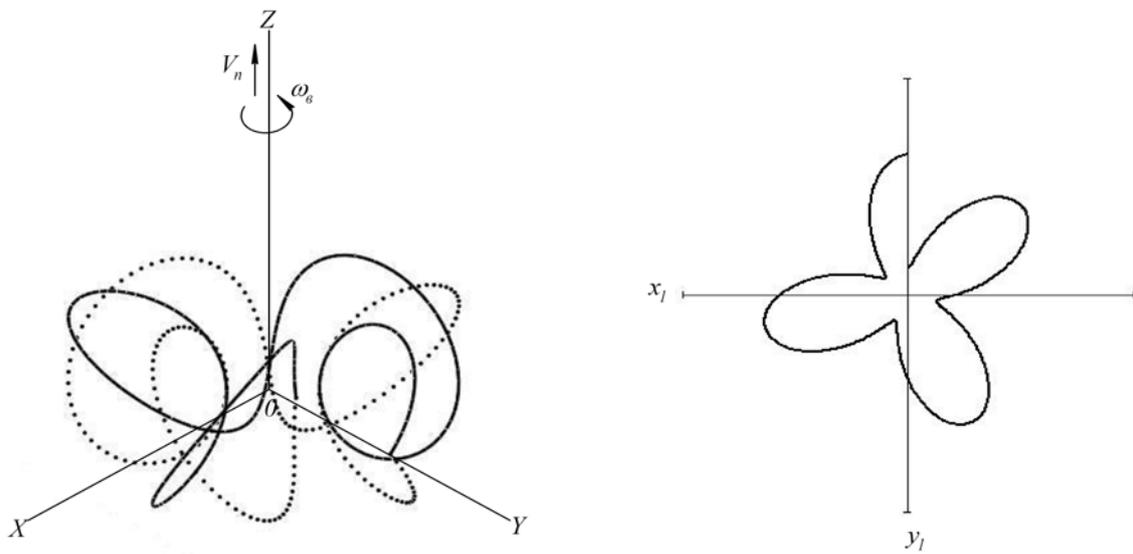


Рис. 7. Траектория движения инструмента ($k=1,5, i=3,5, h=30$ мм, $d=0$)

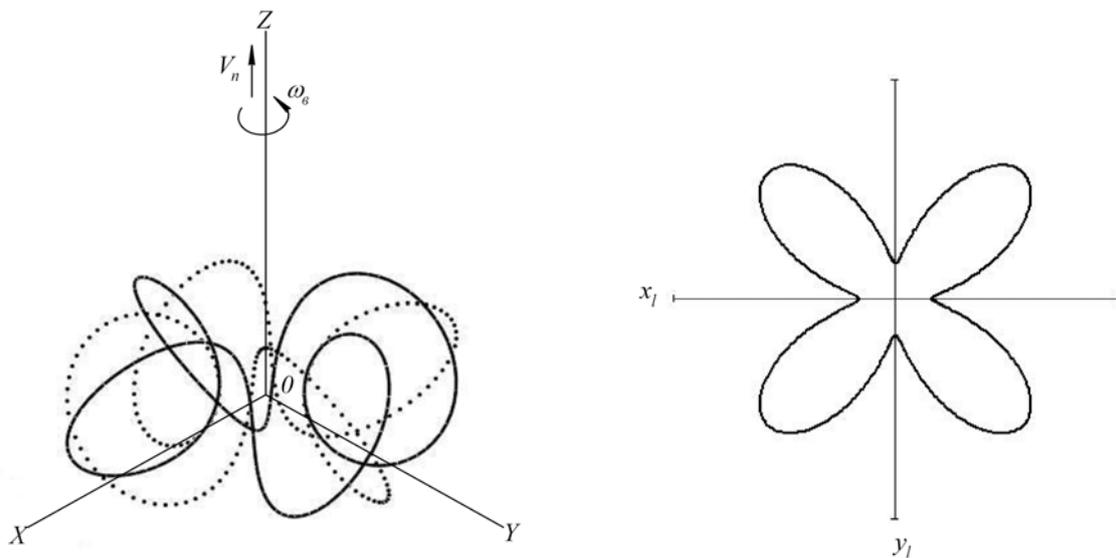


Рис. 8. Траектория движения инструмента ($k = 1,5, i = 4, h = 30$ мм, $d = 0$)

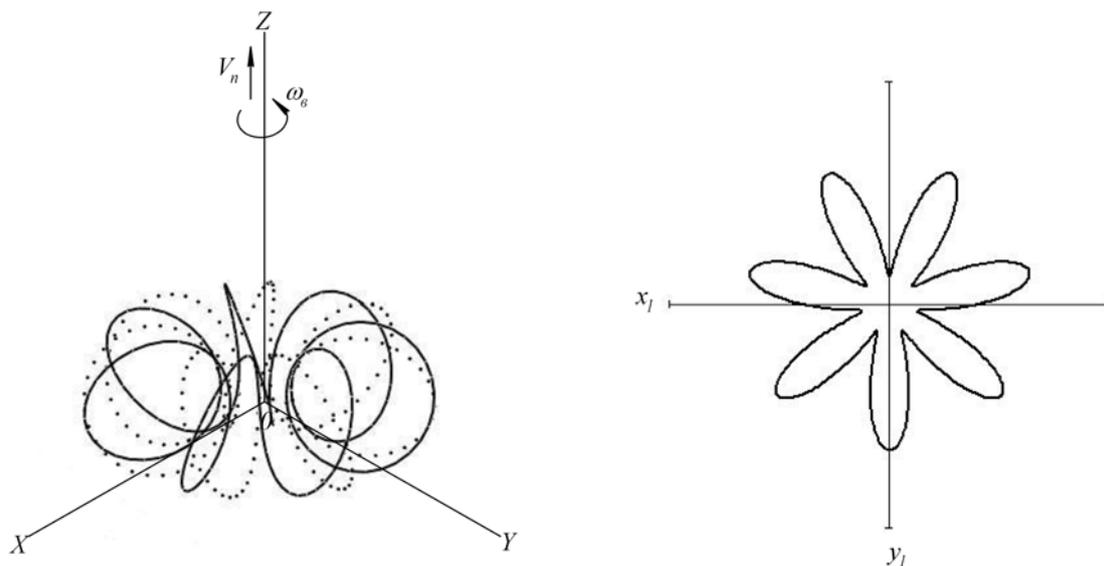


Рис. 9. Траектория движения инструмента ($k = 1,5$, $i = 7$, $h = 30$ мм, $d = 0$)

в) Определим характер влияния на форму траектории движения рабочего инструмента величины конструктивного параметра d (с целью более общего представления результатов, введен угловой параметр положения центра рабочего диска относительно центра водила – угол α , который выражается зависимостью $\operatorname{tg} \alpha = d/R$):

- при $k = 1,5$, $i = 4$, $h = 30$ мм, $d = 500$ мм ($\alpha = 15^\circ$) инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 10. На проекции траектории на плоскость XOY , видно, что вершины петель смещены относительно поверхности забоя на величину угла α .

- при $k = 1,5$, $i = 4$, $h = 30$ мм, $d = R = 1950$ мм ($\alpha = 45^\circ$) инструмент совершает движение по траектории, представленной на рис. 11. Наблюдается аналогичная предыдущему случаю картина, при этом соответственно увеличению величины угла α увеличивается угол сдвига вершин петель траектории. Траектория движения инструмента приближается к траектории кольцевого планетарного исполнительного органа.

Анализ влияния параметра d на форму траектории движения рабочего инструмента показал, что увеличение его величины приводит к увеличению сдвига вершин петель траектории относительно поверхности забоя, достигая своей максимальной величины при таких значениях конструктивных параметров, при которых $\alpha \rightarrow 90^\circ$ ($R \rightarrow 0$). При этом планетарно-торовый исполнительный орган переходит в кольцевой.

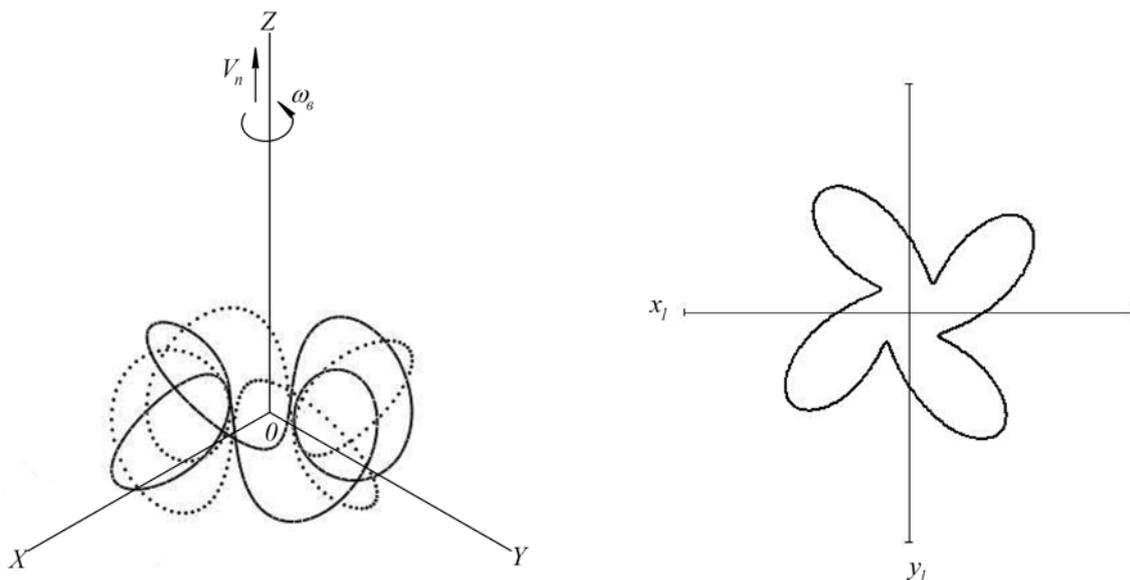


Рис. 10. Траектория движения инструмента ($k=1,5$, $i=4$, $h=30$ мм, $\alpha=15^\circ$)

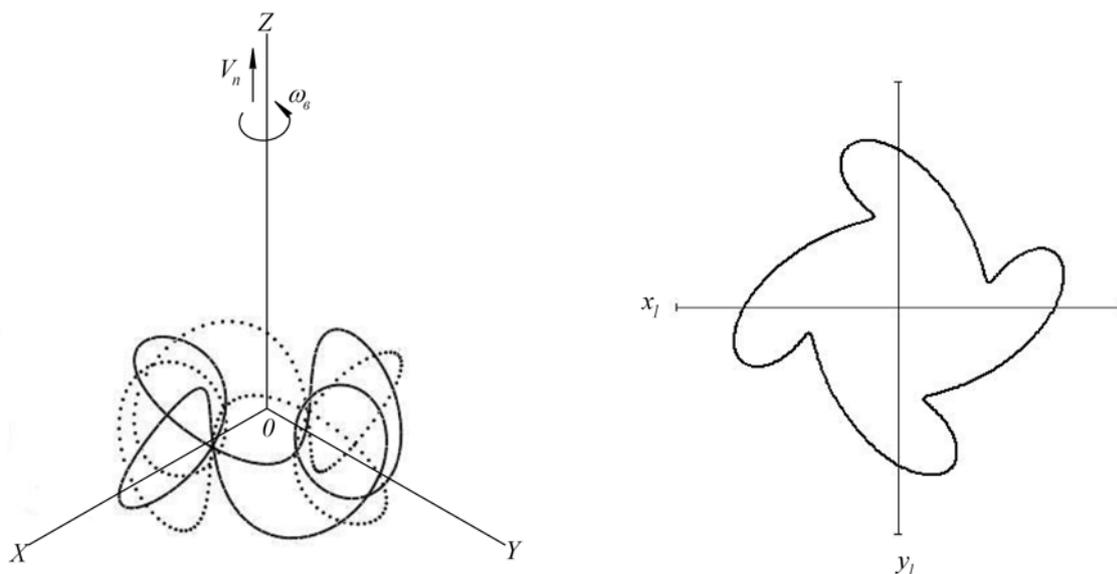


Рис. 11. Траектория движения инструмента ($k=1,5$, $i=4$, $h=30$ мм, $\alpha=45^\circ$)

Выводы. Таким образом, в результате анализа пространственного движения рабочего инструмента, закрепленного на дисках планетарно-торового исполнительного органа горного комбайна установлено, что на форму траектории его движения оказывает влияние набор величин, которые являются конструктивными (R , r , d) и кинематическими (i , h) параметрами исполнительного органа. Путем варьирования значениями указанных параметров установлено:

- значение коэффициента k отношения радиуса водила R к радиусу рабочего диска r влияет на площадь поверхности забоя, обрабатываемой рабочими дисками исполнительного органа, а также на форму поверхности обработки, которая теоретически может изменяться от торообразной до сферической;

- значение передаточного числа i планетарного механизма определяет количество витков кривой-траектории рабочего инструмента за один рабочий цикл и период ее замкнутости, без знания которых невозможно обеспечить рациональную сетку резания;

- значение параметра d определяет величину сдвига вершин петель траектории относительно поверхности забоя, а при достижении d максимальной своей величины для заданных значений конструктивных параметров (при $\alpha \rightarrow 90^\circ$ ($R \rightarrow 0$)) планетарно-торовый исполнительный орган переходит в кольцевой.

Література

1. Архангельский А. С. Некоторые вопросы теории планетарных исполнительных органов проходческих комбайнов / А. С. Архангельский // Расчеты, конструирование и испытание горных машин. – 1955. - №2. – С. 143-210.
2. Унгефуг В. Г. Общие уравнения кинематики движения инструмента планетарных рабочих дисков исполнительных органов горных машин / В. Г. Унгефуг // Изв. ВУЗов. Горн. журнал. - 1962. – №5. – С. 92-101.
3. Кизилев В. В. Исследование и выбор рациональных конструктивных и режимных параметров планетарных исполнительных органов проходческих комбайнов: дис... канд. техн. наук: 05.05.06 / Кизилев Василий Васильевич. - М., 1982. - 176 с.
4. Рогожин А. Г. Геометрическое моделирование процесса работы режущего инструмента планетарных исполнительных органов породоразрушающих машин: дис... канд. техн. наук: 05.01.01: Рогожин Анатолий Григорьевич. – К., 1988. – 162 с.
5. Скідан І. А. Рівняння кінематики руху робочого інструмента планетарно-торового виконавчого органу гірничого комбайна / І. А. Скідан, Д. О. Довгаль // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий науково-технічний збірник (спецвипуск) / КНУБА. – К., 2011. – Вип. 87. – С. 336-341.
6. Скідан І. А. Дослідження форм поверхонь-носіїв траєкторій руху робочого інструменту планетарно-торових виконавчих органів гірничих машин / І. А. Скідан, Д. О. Довгаль // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий науково-технічний збірник / КНУБА. – К., 2010. – Вип. 85. – С. 174-180.

**ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ОСНОВНИХ
ФОРМ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ РОБОЧОГО ІНСТРУМЕНТА
ПЛАНЕТАРНО-ТОРОВОГО ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ
ГІРНИЧОГО КОМБАЙНА**

Д. А. Довгаль

Анотація - На основі геометричної моделі робочого процесу планетарно-торівового виконавчого органу розглянуто основні форми траєкторії просторового руху одиничного робочого інструменту. Виявлено характерні особливості зміни форми траєкторії при варіюванні значеннями конструктивних і кінематичних параметрів виконавчого органу, визначена їх періодичність.

**GEOMETRIC MODELING AND ANALYSIS BASIC FORMS
OF MOTION TRAJECTORIES OF THE WORKING TOOL
OF TORAHS-PLANETARY EXECUTIVE UNITS OF MOUNTAIN
MACHINES**

D. A. Dovgal

Summary

Based on the geometrical model of the workflow torahs-planetary executive units considers the main shape of the trajectory of a single spatial movement of the working tool. The characteristic features of changing shape of the trajectory by varying the values of constructive and kinematic parameters of the executive units, defined by their frequency.