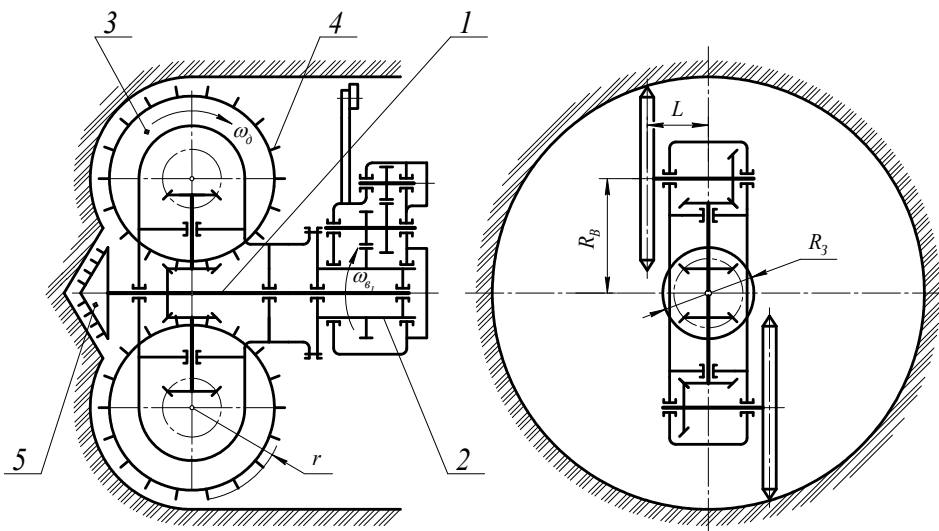


ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУХУ РІЗЦЕВОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ РОБОТІ ТОРОВИХ ПЛАНЕТАРНИХ ВИКОНАВЧИХ ОРГАНІВ ПОРОДОРУЙНУВАЛЬНИХ МАШИН

Довгаль Д. О. (АДІ ДонНТУ, м. Горлівка, Україна)

In article is considered nature and regularities of the spatial motion incisor installed on disk of torahs planetary executive units in process of their work. Exact parametric equations of the motion incisor of torahs planetary executive units are received with provision for inexactnesses, available in previous work. The possible forms path motion incisor and surfaces of the processing are determined depending on parameter of torahs planetary executive units.

Теоретичні дослідження та досвід промислового застосування планетарного способу руйнування гірничих порід, заснованого на здійсненні різцевим інструментом виконавчого органу одночасно двох чи більше обертальних рухів, довели, що цей спосіб має значні переваги перед розповсюдженим у даний час обертальним бурінням [1, 2]. Зокрема, найкращі результати, під час випробувань та експлуатації, за багатьма показниками, показали прохідницькі комбайни типу “Караганда” і “Урал”, оснащені, так званими, торовими планетарними виконавчими органами (рис. 1). Проте, питання про оптимальні умови взаємодії різцевого інструменту, встановленого на фрезеруючих дисках таких виконавчих органів з породним масивом, залишається маловивченим. Зокрема, немає чітких, однозначних залежностей що відображають взаємозв'язок геометрії різання й основних показників роботи торових планетарних виконавчих органів з їх конструктивними та кінематичними параметрами, практично відсутні системні рекомендації й геометрично обґрунтовані обмеження щодо вибору конструктивних і кінематичних параметрів, не обґрунтована в строгому вигляді відповідна методика проектування. Все це, у свою чергу, не дає змогу визначати найбільш раціональні режими роботи та схеми різання зазначених виконавчих органів. У зв'язку з цим є необхідність у проведенні глибоких і детальних досліджень у даному напрямку.



1 – головний вал; 2 – водило; 3 – фрезеруючі диски; 4 – різці; 5 - забурник

Рис. 1 - Кінематична схема торового планетарного виконавчого органу

Значною мірою, розв'язання перерахованих вище задач може бути здійснене завдяки застосуванню методів геометричного моделювання із залученням можливостей ПЕОМ, що дає змогу відтворювати будь-які умови роботи інструменту планетарного виконавчого органу, підвищити ефективність та вірогідність досліджень.

Основним визначальним фактором умов взаємодії різцевого інструменту з гірничим масивом є характер його руху, тобто форми траєкторій вздовж яких інструмент здійснює свій рух. Для визначення можливих форм траєкторій та здійснення повного кінематичного аналізу роботи інструменту торового планетарного виконавчого органу необхідно, перш за все, знати точні параметричні рівняння його руху.

Загальні параметричні рівняння кінематики руху різцевого інструменту планетарних виконавчих органів були отримані в роботі [3]. Вони мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned}x &= R_g \cos \varphi + r(\cos(\varphi i + \psi) \cos(\varphi + \alpha) \mp \sin(\varphi i + \psi) \sin \beta \sin(\varphi + \alpha)); \\y &= R_g \sin \varphi + r(\cos(\varphi i + \psi) \sin(\varphi + \alpha) \pm \sin(\varphi i + \psi) \sin \beta \cos(\varphi + \alpha)); \quad (1) \\z &= \frac{h}{2\pi} \varphi \pm r \sin(\varphi i + \psi) \cos \beta,\end{aligned}$$

де R_g – радіус водила виконавчого органу (відстань від осі обертання водила до осі обертання фрезеруючого диску);

r – радіус фрезеруючого диска (визначається відстанню від осі обертання диска у відносному русі до точок установки інструментів на диску);

φ – кут повороту водила від початкового положення (параметр);

i – передаточне число планетарного механізму, що дорівнює відношенню кутової швидкості робочого диска до кутової швидкості водила;

ψ – кут, що визначає положення інструмента на диску відносно початкового положення, прийнятого за нульове;

α, β – кути орієнтації фрезеруючого диску відповідно відносно вертикальної та горизонтальної площин;

h – величина подачі виконавчого органа за один оберт водила.

Перед деякими складовими рівнянь (1) стоїть по два знаки, які визначають схему, за якою працює виконавчий орган. Верхній знак означає, що напрямки обертання водила й фрезеруючих дисків, при розгляданні їх у площинах їхнього обертання, співпадають – це, так звана, сумуюча схема. Нижній знак, відповідно означає, що водило й фрезеруючі диски здійснюють обертання у протележних напрямках, така схема роботи називається віднімаючою.

Що стосується рівнянь руху інструменту торових планетарних виконавчих органів, то вони були отримані як частоконний випадок ($\alpha = 0, \beta = 0$), що впливає із загального, та мають вигляд [4]

$$\begin{aligned}x &= (R_g + r \cos(\varphi i + \psi)) \cos \varphi; \\y &= (R_g + r \cos(\varphi i + \psi)) \sin \varphi; \quad (2) \\z &= \frac{h}{2\pi} \varphi \pm r \sin(\varphi i + \psi),\end{aligned}$$

Однак, оскільки при виведенні цих рівнянь використовувалася загальна схема планетарного виконавчого органу (рис. 2), в них не було враховано конструктивні осо-

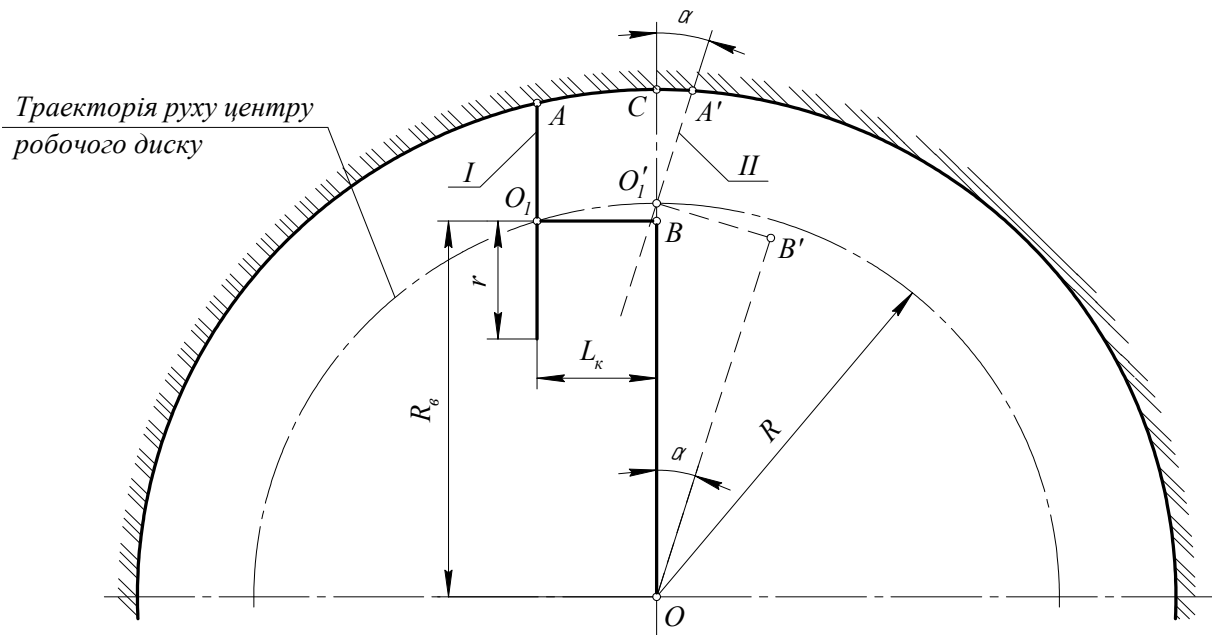


Рис. 3 – Схема до визначення параметрів руху фрезеруючого диска

Тому, уточнені рівняння руху різцевого інструменту торового виконавчого органу можна отримати, підставивши у загальні рівняння (1) відповідні значення кутів α та β ($\beta = 0$), а замість R_6 – значення величини R , тоді отримаємо

$$\begin{aligned}
 x &= r \cos(\varphi i + \psi) \cos(\varphi - \alpha) + R \cos \varphi; \\
 y &= r \cos(\varphi i + \psi) \sin(\varphi - \alpha) + R \sin \varphi; \\
 z &= \frac{h}{2\pi} \varphi \pm r \sin(\varphi i + \psi),
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

де α та R визначаються відповідно рівняннями (3) та (4).

Виходячи з викладеного, рівняння (5) можна назвати точними параметричними рівняннями руху різцевого інструменту торових планетарних виконавчих органів, оскільки в них враховані всі конструктивні та кінематичні параметри, що впливають на характер руху різцевого інструменту.

Далі розглянемо геометричні форми траєкторій, що описує одиничний різцевий інструмент торового планетарного виконавчого органу.

Розглядаючи торовий планетарний виконавчий орган з геометричної точки зору, при $h = 0$, коло фрезеруючого диска та коло навколо якого воно обкочується можна визначити як рухому та нерухому центроїди. Тоді, різцевий інструмент, який жорстко зв'язаний з колом диска, у своєму русі буде описувати просторові циклоїдальні, або точніше епі- та гіпоциклоїдальні криві, що лежать на деякій поверхні.

Отже, для точного геометричного визначення характеру руху інструменту слід також з'ясувати форму поверхні на якій лежить множина траєкторії його руху.

Встановлені на дисках даного виконавчого органу різці описують систему траєкторій у межах відсіку простору, обмеженого зовні і зсередини поверхнями двох кругових циліндрів з центром O , відповідно радіусів $R + r \cos \alpha$ та $R - r \cos \alpha$ (рис. 2). Самі ж траєкторії лежать на поверхні еліптичного тору. У цьому можна переконатися, розгля-

даючи обгинаючу поверхню однопараметричної множини проекцій кіл дисків з центрами, інцидентними колу O_1 ($R = OO_1$) на дану площину. Таке визначення поверхні-носія траєкторій справедливе у випадку, якщо не брати до уваги величину подачі виконавчого органу на забій, яка досить мала, у порівнянні з двома іншими складовими руху інструменту. З урахуванням уведення величини подачі h , очевидно, що множина траєкторій руху інструменту знаходиться на гвинтовій поверхні (еліптичному гелікоїдальному циліндрі) з напрямною – віссю OZ та твірними – еліпсами інцидентними проекціям кіл дисків на відповідні площини, центри яких лежать на циліндричній гвинтовій лінії з кроком h та радіусом R інцидентній гелісі гвинтової поверхні.

Торові планетарні виконавчі органи працюють у режимі переривчастого різання, який характеризується тим, що процес руйнування гірничого масиву чередується з виходами різцевого інструменту з контакту з породою, протягом яких різець охолоджується (рис. 4). А це у свою чергу обумовлює наявність так званих робочих та холостих ділянок траєкторій руху інструменту, перші з яких розташовані на відсіку поверхні-носія, обмеженому кутом φ_p , величина якого залежить від радіуса забурника R_3 .

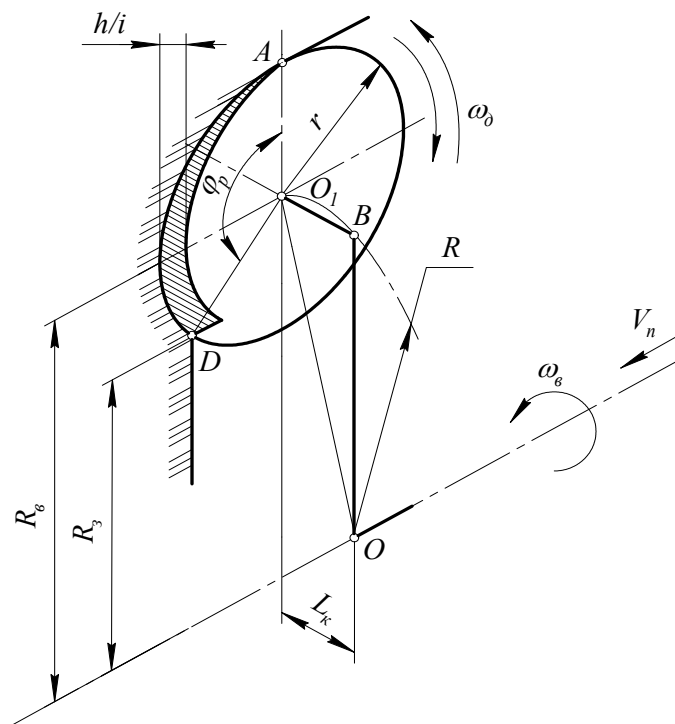


Рис. 3 – Схема роботи фрезеруючого диска

Отже, просторовий рух інструменту торового планетарного виконавчого органу характеризується тороїдальними траєкторіями, тобто кожний різцевий інструмент, встановлений на фрезеруючих дисках описує просторові криві лінії, робочі ділянки яких при $h = 0$ лежать на відсіку торової поверхні, а при $h > 0$ – на відсіку гвинтової поверхні еліптичного гелікоїдального циліндра. Ці траєкторії являють собою просторові криві епіциклоїдального типу – при сумуючій схемі роботи та гіпоциклоїдального типу – при віднімаючій схемі роботи.

Форма просторових траєкторій інструменту залежить від наступних параметрів:

1. Від величини R та r , а також їх відношення

$$k = \frac{R}{r}, \quad (6)$$

2. Від передаточного числа i планетарного механізму.

3. Від положення площини обертання фрезеруючого диску по відношенню до площини обертання водила, яке визначається кутом α .

Розглянемо деякі основні форми траєкторій, що описує інструмент, закріплений на диску торового планетарного виконавчого органу за один оберт водила.

При $k = 1, i = 3,5, \alpha = 10^\circ$ інструмент здійснює рух по траєкторії, представленої на рис. 5 (суцільною лінією показана траєкторія інструменту при підсумовуючій схемі роботи виконавчого органу, а точечною – при віднімаючій). Ця траєкторія являє собою, як зазначалося, просторову криву епі-(гіпо-)циклоїдального типу, яка не замикається за один оберт водила. Інструмент при цьому обробляє майже всю поверхню забою.

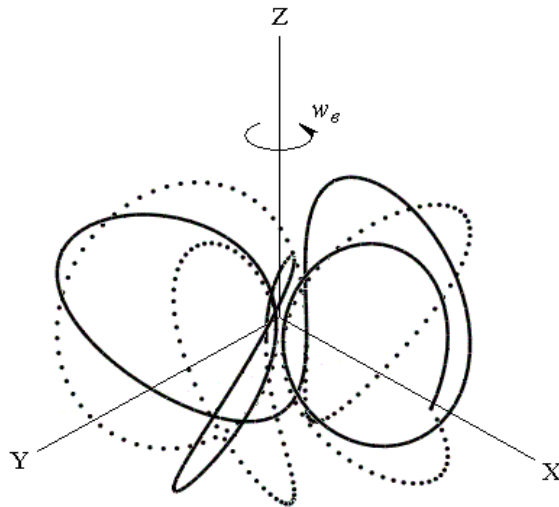


Рис. 5 – Траєкторія руху інструменту торового планетарного виконавчого органу ($k = 1, i = 3,5, \alpha = 10^\circ$)

Слід зазначити, що для забезпечення обробки всієї поверхні забою інструментом фрезеруючих дисків, необхідно, щоб співвідношення між конструктивними параметрами торового виконавчого органу виражалися залежністю

$$R = r \cos \alpha,$$

або, що те ж саме

$$k = \cos \alpha,$$

На рис. 6 представлена траєкторія руху інструменту при тих самих параметрах виконавчого органу що й на рис. 5, відрізняється лише значення коефіцієнта $k = 2$. При цьому інструмент обробляє лише периферійну частину забою, а його центральна частина залишається необробленою. Траєкторія у цьому випадку більш витягнута по поверхні обробки.

При значеннях параметрів виконавчого органу $k = 2, i = 7, \alpha = 10^\circ$ інструмент рухається по траєкторії, що представлена на рис. 7. Ця крива є замкнутою, що обумовлено

цілочисельним значенням передаточного числа i . У цьому випадку, при наступному оберті водила, інструмент рухається по тому ж сліду, що й при попередньому, на відстані h по осі OZ .

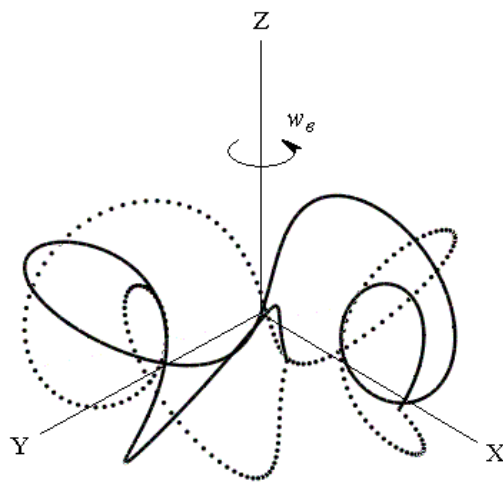


Рис. 6 – Траекторія руху інструменту торового планетарного виконавчого органу ($k = 2, i = 3,5, \alpha = 10^\circ$)

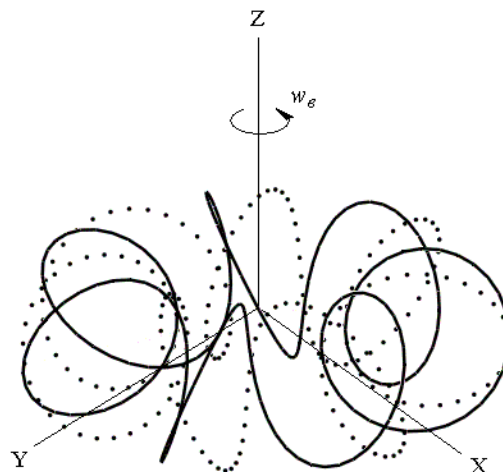


Рис. 7 – Траекторія руху інструменту торового планетарного виконавчого органу ($k = 2, i = 7, \alpha = 10^\circ$)

Отже, проаналізувавши основні форми траекторій різцевого інструменту торового планетарного виконавчого органу, можна зробити наступні зауваження:

1. Зі збільшенням значення коефіцієнта k , площа поверхні забою, що обробляється інструментом фрезеруючих дисків пропорційно зменшується, і навпаки – зі зменшенням k , площа поверхні обробки пропорційно збільшується. Це пояснюється тим, що величина k є кутовим коефіцієнтом лінії, заданої рівнянням (6), тому зміна його величини викликає пропорціональну зміну співвідношення між конструктивними параметрами виконавчого органу.

2. Істотною характеристикою траекторій руху інструменту слід вважати їх періодичність, що пов'язано з можливістю багаторазової проходки по одному й тому ж сліду при $\varphi \in [0; \infty)$. Так, із аналізу рівнянь (5), а також прикладів траекторій, наведених

вище, впливає що замкнутістю за період 2π відрізняються криві з цілочисельними значеннями передаточного числа i . Траєкторії, з нецілочисельними значеннями передаточних чисел замкнуті на кінцевому інтервалі зміни φ лише у тому випадку, якщо при завданні цілочисельного коефіцієнта λ , існує ціле i_0 , таке, що $i_0 = i\lambda$; період замкнутості при цьому дорівнює $2\pi\lambda$. Така періодичність траєкторій руху інструменту справедлива для всіх типів планетарних виконавчих органів.

3. При роботі виконавчого органу за підсумовуючою та віднімаючою схемами, при постійних значеннях конструктивних та кінематичних параметрів, спостерігається дзеркальна симетрія траєкторій.

Таким чином, в результаті детального аналізу просторового руху різцевого інструменту, встановленого на фрезеруючих дисках торового планетарного виконавчого органу, проведеного в даній роботі, отримані уточнені загальні параметричні рівняння руху різцевого інструменту, в яких враховані всі конструктивні та кінематичні параметри даного виконавчого органу. Ці рівняння дають можливість виконати повний кінематичний аналіз торового планетарного виконавчого органу з метою встановлення раціональних співвідношень між конструктивними та кінематичними параметрами, що забезпечують найбільш оптимальні режими й умови роботи інструменту.

Встановлено, що траєкторії руху різцевого інструменту торових планетарних виконавчих органів геометрично представляють собою тороїдальні просторові криві епіта гіпоциклоїдального типу, форма яких визначається набором величин, що є конструктивними та кінематичними параметрами виконавчого органу: коефіцієнтом k , передаточним числом i та кутом α . Визначена їх періодичність, без знання якої неможливе забезпечення раціональної сітки різання.

Аналіз диференціально-геометричних характеристик траєкторій руху різцевого інструменту встановленого на фрезеруючих дисках торових планетарних виконавчих органів та їх зіставлення з фізичними умовами процесу руйнування гірничого масиву, що планується зробити у наступних роботах, дадуть можливість створити науково обґрунтовану методику призначення параметрів таких виконавчих органів, які забезпечують найбільш раціональні умови взаємодії різцевого інструменту з гірничим масивом, що у свою чергу, призведе до підвищення техніко-економічних показників породоруйнувальних машин в цілому.

Список літератури: 1. Кизілов В. В. Исследование и выбор рациональных конструктивных и режимных параметров планетарных исполнительных органов проходческих комбайнов: Дис... канд. техн. наук: 05.05.06. - М., 1982. - 176 с. 2. Рогожин А. Г., Довгаль Д. О., Уткіна Р. В. До питання щодо раціональної конструкції різцевих виконавчих органів породоруйнувальних машин // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Динаміка наукових досліджень `2005». Том 67. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – с. 44-48. 3. Рогожин А. Г., Кізілов В. В., Довгаль Д. О. Визначення загальних рівнянь кінематики руху різцевого інструменту планетарних виконавчих органів породоруйнувальних машин // Вісник Хмельницького національного університету (Вісник Технологічного університету Поділля). Технічні науки. Том 1. - 2005. - №6. - с. 142-147. 4. Рогожин А. Г., Довгаль Д. О. Визначення рівнянь кінематики руху різцевого інструменту торових планетарних виконавчих органів породоруйнувальних машин // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Дні науки ‘2005”. Том 37. Техніка. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – с. 9-11.