



Таблиця 1

| Елемент  | Позначення | Частота обертання елемента, $\text{хв}^{-1}$ |            |             |
|----------|------------|----------------------------------------------|------------|-------------|
|          |            | мінімальна                                   | номінальна | максимальна |
| Колесо 1 | $n_1$      | 12 220                                       | 13 000     | 13 780      |
| Колесо 5 | $n_5$      | 12 000                                       | 12 000     | 12 000      |
| Водило   | $n_H$      | 10 952                                       | 7 238      | 3 524       |
| Колесо 3 | $n_3$      | 10 556                                       | 5 437      | 319         |

Для того, щоб визначити, які сили і моменти мають діяти на ланки даного диференціального механізму щоб забезпечити необхідні частоти їх обертання, проведемо силовий розрахунок. Він полягає у визначенні сил і моментів, що діють на ланки механізму. Для вирішення цього завдання використовуємо три рівняння:

- баланс потужностей;
- рівняння рівноваги моментів для блока сателітів (колеса 2-4);
- рівняння рівноваги сил.

Розміри зубчастих коліс знайдені за умови, що їх модулі дорівнюють 2 мм. Отримані дані були зведені у табл. 2.

Таблиця 2

| Сила, Н  | Сили при частоті $n_1$ , $\text{хв}^{-1}$ |         |         |
|----------|-------------------------------------------|---------|---------|
|          | 12 220                                    | 13 000  | 13 780  |
| $F_{t1}$ | 1 031,0                                   | 1 085,9 | 1 146,9 |
| $F_{t5}$ | 1 080,0                                   | 1 137,5 | 1 201,5 |
| $F_{t3}$ | 49,1                                      | 51,7    | 54,6    |

Таким чином, змінюючи силу і момент на колесі 3, зокрема, збільшуючи момент опору обертанню при збільшенні швидкості на вході, можна за допомогою пристрою регулювання гальмувати колесо 3 таким чином, щоб забезпечити постійну частоту обертання на колесі 5, тобто на вході в генератор.

## АНАЛІЗ УМОВ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПЛАНЕТАРНИХ МЕХАНІЗМІВ У ПРОЦЕСАХ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ПОВЕРХНІ

**О. Ю. Кладова, М. П. Ковальов, А. С. Мирошніченко**

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»*

Створення якісних виробів за допомогою процесів отримання вакуумно-дугових покриттів потребує вдосконаленої оснастки, що відповідає умовам, які накладаються технологічними процесами і одночасно оптимальна з точки зору економічних показників використання установки.

В роботі [1] пропонується використовувати як носії деталей, що оброблюються, сателіти планетарного механізму. Невід'ємною частиною високоточного виміру температури оброблюваного виробу є умова, що полягає в цілій кількості

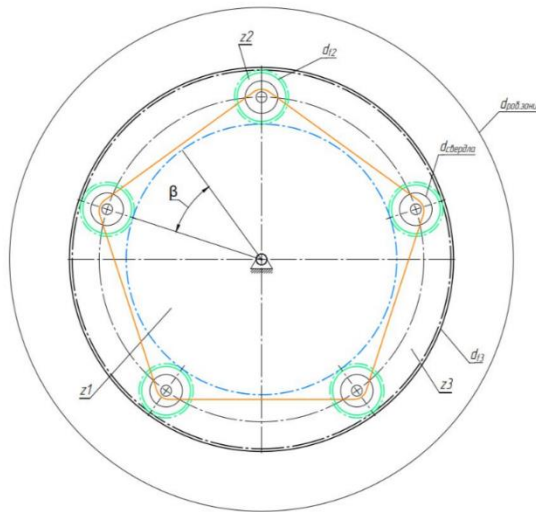


Рис. 1

обертів сателітів за один оберт водила механізму [1]. Повернення в початкове положення дозволяє не змінювати зону виміру, що робить вимір якісним.

Для системи вимірювання температури поверхні виробів був обраний планетарний механізм АІ модифікований (далі АІ) (рис. 1), який має переваги у великому ККД та відносно невеликих габаритах.

Для забезпечення умови цілого числа обертів сателітів за один оберт механізму необхідно забезпечити відношення:

$$i_{2H}^{(3)} = \frac{\omega_2}{\omega_H} = 1 - \frac{z_3}{z_2} = N. \quad (1)$$

Числа зубів  $z_2$  і  $z_3$  визначають з генеральних рівнянь для простих планетарних механізмів [1]. За допомогою цих рівнянь отримаємо вираз для передатного відношення механізму АІ, при якому буде задовольнятися умова (1):

$$i_{1H}^{(3)} = \frac{2N}{1 + N}. \quad (2)$$

Рівняння (2) визначає передатні відношення, що задовольняють умову (1), табл. 1. При збільшенні модуля  $N$   $i_{1H}^{(3)}$  прагне до 2.

Таблиця 1

|                |        |       |       |        |        |       |       |
|----------------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| N              | -2     | -3    | -4    | -5     | -6     | -7    | -8    |
| $i_{1H}^{(3)}$ | 4      | 3     | 2,(6) | 2,5    | 2,4    | 2,(3) | 2,29  |
| N              | -16    | -17   | -18   | -19    | -20    | -21   | -22   |
| $i_{1H}^{(3)}$ | 2,1(3) | 2,125 | 2,12  | 2,(1)  | 2,105  | 2,1   | 2,095 |
| N              | -9     | -10   | -11   | -12    | -13    | -14   | -15   |
| $i_{1H}^{(3)}$ | 2,25   | 2,(2) | 2,2   | 2,(18) | 2,1(6) | 2,15  | 2,14  |
| N              | -23    | -24   | -25   | -26    | -27    | -28   | -29   |
| $i_{1H}^{(3)}$ | 2,091  | 2,087 | 2,083 | 2,080  | 2,077  | 2,074 | 2,071 |

Не всі передатні відношення можуть бути реалізовані для певної кількості сателітів. Для визначення діапазону значень передатних відношень як функції кількості сателітів скористаємося нерівністю [2]:

$$2 < i_{1H}^{(3)} < i_{1H}^{(3)\max}, \quad (3)$$

$$i_{1H}^{(3)\max} = \frac{2}{1 - \sin\beta}, \quad (4)$$



де  $\beta = \frac{\pi}{k}$  – половина центрального кута між сусідніми сателітами  $z_2$  за умови їх рівномірного розташування навколо сонячної шестерні  $z_1$  (див. рис.1).

Визначені за формулою (4) значення  $i_{IH}^{(3)} \max$  для окремих значень  $k$  наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

| k                   | 20    | 30    | 40    | 50    | 54    | 56    | 60    |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $i_{IH}^{(3)} \max$ | 2,371 | 2,233 | 2,170 | 2,134 | 2,123 | 2,119 | 2,110 |

Розмір сателіта, на який під час технологічного процесу встановлюється деталь, що оброблюється, має бути більше за розмір самої деталі, щоб забезпечити рух механізму без заклинювання. Тому, наприклад, при напиленні на свердла діаметр кола западин  $d_{f2}$  сателіту має відповідати умові:  $d_{f2} > d_{\text{свербла}}$ . З економічних міркувань кількість сателітів  $k$  має бути найбільшою з можливих для певного розміру деталей. Ця умова разом з умовами відсутності підрізання ( $z_2 \geq 18$ ), сусідства і збирання буде визначати кількість сателітів  $k$ .

Розмір механізму в цілому обмежено габаритами робочої зони установки:

$$d_{f3} < d_{\text{роб.зони}} \quad (5)$$

Наведемо приклад проєктування планетарного механізму для установки «Булат-6».

Вхідні дані: діаметр робочої зони  $d_{\text{роб.зони}} = 400$  мм, діаметр деталей, що обробляються, від 1-10 мм, економічно обґрунтована кількість деталей за один цикл роботи установки 50-60 одиниць.

Розрахунок:

1. Призначаємо  $k = 54$ .
2. За формулою (4) визначаємо максимально можливе передатне відношення  $i_{IH}^{(3)} \max = 2,123$ . За таблицею 1 призначаємо  $i_{IH}^{(3)} = 2.1$ .
3. По генеральним співвідношенням підбираємо числа зубів:  $z_1 = 360$ ,  $z_2 = 18$ ,  $z_3 = 396$ . Перевіряємо умови сусідства і відсутності інтерференції (задовольняються).
4. Модуль зачеплення визначаємо з умови (5):

$$d_3 = d_{\text{роб.зони}}, \quad \frac{mz_3}{2} = d_{\text{роб.зони}}, \quad m = 2 \cdot 400 / 396 = 1,01 \text{ мм.}$$

Обираємо стандартний модуль, що буде менше розрахованого  $m = 0.8$  мм.

5. Діаметр кола западин коронного колеса

$$d_{f3} = z_3 m + 2,5m = 396 \cdot 0,8 + 2,5 \cdot 0,8 = 318,8 \text{ мм,}$$

що підтверджує можливість розташувати механізму у робочій зоні Булат-6.

6. Діаметр кола западин сателіту



$$d_{f2} = z_2 m - 2,5m = 18 \cdot 0,8 - 2,5 \cdot 0,8 = 12,4 \text{ мм},$$

що дозволяє розташувати на ньому деталі, що будуть оброблятися.

На цьому кінематичний синтез механізму AI завершено.

#### *Висновки*

1. Розроблено умови, що дозволяють отримати планетарний простий механізм AI, в якому сателіти роблять цілу кількість обертів на один оберт водила.
2. Розроблено послідовність кінематичного синтезу таких механізмів для подальшого використання у технологічних процесах отримання вакуумно-дугових покриттів.
3. Заплановано у подальшому проведення силового розрахунку і розрахунку на міцність.
4. Необхідно розробити способи використання поверхні центрального колеса у технологічних цілях.

#### **Перелік посилань**

1. Sysoiev, I. System for measurement the product surface temperature for vacuum-arc coatings [Text] / I. Sysoiev, Y. Shyrokyi, K. Fesenko // Problems of Atomic Science and Technology. - 2025. - №2(156). – P. 171-176.
2. Усік, В. В. Курс теорії механізмів і машин [Текст] : навч. посіб. / В. В. Усік, В. О. Меньшиков. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 320 с.
3. Ткаченко, В. А. Планетарні механізми (оптимальне проєктування) [Текст] / В. А. Ткаченко. - Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2003. – 446 с.

### **КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОЛІСНО-КРОКУЮЧОГО РУШІЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КАМ'ЯНИСТИХ ПЛАНЕТ ТА СУПУТНИКІВ**

***О. Ю. Кладова, А. С. Сорока***

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»*

В сучасних умовах є актуальним створення транспортних засобів, що мають можливість переміщатися по перетятій місцевості, переміщуючи вантажі і, навіть, пасажирів. Розробка таких засобів може базуватися на рішеннях, що було запропоновано для планетоходів [1]. У роботі описана кінематична схема перспективного колісно-крокуючого рушія для ровера, призначеного для пересування по нерівній або сипкій поверхні, який поєднує переваги традиційного колісного руху з можливістю реалізації крокового механізму для подолання складного рельєфу, зменшення пробуксовки та підвищення прохідності (рис. 1).

Запропонована структура може бути використана як основа для дослідження кам'янистих планет та супутників, а в земних умовах – для створення