

**РАБОЧИЙ ОРГАН ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ  
С АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДОРОГ****Сорокин Я. И., Теретенко О. А., Байкалов В. А.****Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Байкалов В. А.*****Сибирский федеральный университет***

На кафедре «Транспортные и технологические машины» проводят исследования рабочего органа шарошечного типа, предназначенного для удаления с поверхности асфальтобетонных покрытий ледяных образований и уплотнённого снега.

Рабочий орган состоит из, ротора и трёх шарошек, расположенных под углом 120 градусов относительно оси вращения ротора. Шарошки имеют коническую форму и расположены на полуосях, которые консольно прикреплены к ротору. Зубья шарошек могут представлять собой сплошные лезвия или располагаться на нескольких венцах. Привод ротора осуществляется с помощью гидромотора.

Ротор посажен на оси вала гидромотора и с корпусом рабочего органа связан с помощью цилиндрического шарнира, ось которого направлена вертикально. Шарошки связаны цилиндрическими шарнирами с ротором. Оси этих шарниров расположены под углом к оси вращения ротора. Перемещение рабочего органа относительно машины производится манипулятором, к стреле которого крепится корпус рабочего органа с помощью цилиндрического шарнира. Ось этого шарнира расположена в горизонтальной плоскости перпендикулярно движению машины.

Работа данного инструмента должна рассматриваться при взаимодействии зубьев шарошек со льдом при сложном движении – горизонтальном перекатывании шарошек со скольжением или без скольжения при вращении ротора, поперечном движении по забою вместе с машиной, вертикальном перемещении (заглублении) и вертикальных перемещениях рабочего инструмента, обусловленных зубчатой поверхностью шарошек.

Для исследования кинематики трёхшарошечного рабочего органа с симметричным расположением шарошек достаточно рассмотреть движение одной из шарошек.

Для этого выберем расчетную схему (рисунок 1), основными элементами которой являются шарнир манипулятора 1, корпус рабочего органа 2, ротор 3 и шарошка 4.

Для описания геометрии рабочего органа зададим следующие правые ортогональные системы координат: инерциальную  $O_0X_0Y_0Z_0$ , соединенную с очищаемой поверхностью, локальные системы координат  $X_1Y_1Z_1O_1$ ,  $X_2Y_2Z_2O_2$ ,  $X_3Y_3Z_3O_3$  и  $X_4Y_4Z_4O_4$ , связанные соответственно с оголовком стрелы манипулятора 1, корпусом 2, ротором 3 и шарошкой 4.

Расчетная схема имеет четыре степени подвижности. Здесь  $X_1$  – перемещение рабочего органа относительно системы координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ , обусловленное движением машины;  $Y_1$  – перемещение рабочего инструмента, обусловленных зубчатой поверхностью шарошек, относительно оси  $Y_0$ ;  $\psi_3$  – поворот ротора относительно оси  $Y_3$ ;  $\gamma_4$  – поворот шарошки относительно оси  $X_4$ .

Рассмотрим движение некоторой точки М, принадлежащей лезвию зуба шарошки. Координаты точки М в системе координат  $O_0X_0Y_0Z_0$  можно определить из уравнений геометрической связи систем координат шарошки  $X_4Y_4Z_4O_4$  и инерциальной  $O_0X_0Y_0Z_0$  [1]

$$\vec{R}_{OM} = T_4 \vec{R}_{4M}, \quad (1)$$

где  $\vec{R}_{0M}$ ,  $\vec{R}_{4M}$  - векторы, заданные координатами точки М соответственно в системах координат  $O_0X_0Y_0Z_0$  и  $X_4Y_4Z_4O_4$ ;  $T_4$  - матрица перехода из системы координат  $X_4Y_4Z_4O_4$  в инерциальную систему координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ .

$T_4$  - матрица перехода из системы координат  $X_4Y_4Z_4O_4$  в инерциальную систему координат  $O_0X_0Y_0Z_0$  определяется как произведение матриц  $A_i$

$$T_4 = A_1 A_2 A_3 A_4,$$

$A_1, A_2, A_3, A_4$  – матрицы перехода, устанавливающие геометрическую связь между смежными звеньями и определяющие переход из системы координат  $i$ -го звена в систему координат  $i-1$ -го звена.

Общий вид уравнения геометрической связи систем координат имеет вид:

$$\vec{R}_{Oi} = A_i \vec{R}_{O_{i-1}}, \quad (1)$$

где  $R_{oi-1}$ ,  $R_{oi}$  – векторы, заданные координатами точки О соответственно в  $i-1$ -й и  $i$ -й системах координат.

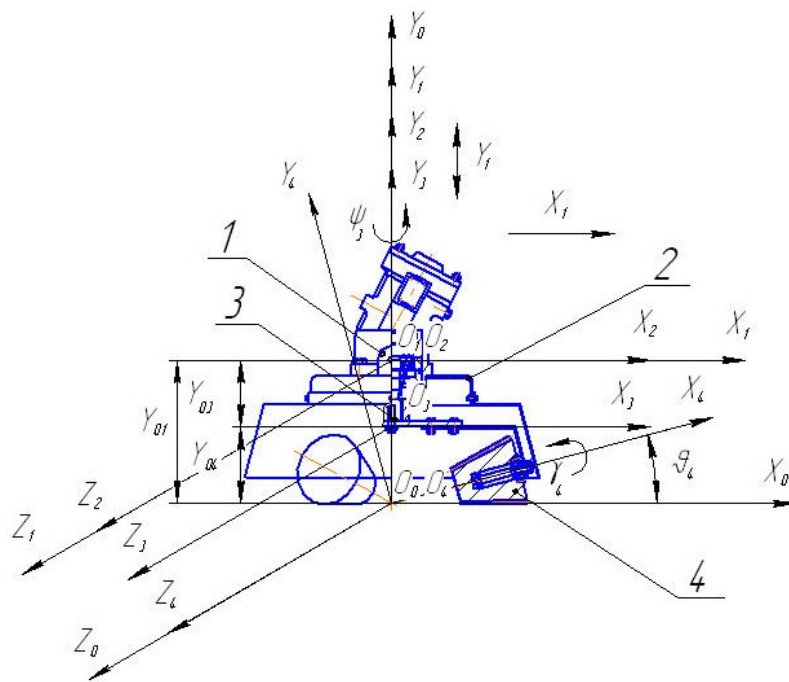


Рис. 1. Расчетная схема рабочего органа

Если линеаризовать уравнение (1), разложив его в ряд Тейлора и ограничившись членами ряда первого порядка малости, то получим

$$\vec{R}_{0M} = \sum_{j=1}^4 (\partial T_4 / \partial q_j) q_j \vec{R}_{4M}, \quad (2)$$

где  $q_j$  - обобщённые координаты, для выбранной расчётной схемы:  $q_1 = X_1$ ,  $q_2 = Y_1$ ;  $q_3 = \Psi_3$ ;  $q_4 = \gamma_4$ .

Скорость точки М при взаимодействии лезвия зуба с обрабатываемой поверхностью определим как производную по времени от выражения (1) или (2).

$$\vec{R}_{0M} = \dot{T}_4 \vec{R}_{4M} \text{ или } \vec{R}_{0M} = \sum_{j=1}^4 (\partial T_4 / \partial q_j) \dot{q}_j \vec{R}_{4M},$$

где  $\vec{R}_{0M}$  - вектор скорости точки М относительно системы координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ ;  $\dot{T}_4$  - производная по времени от матрицы перехода  $T_4$ ;  $\dot{q}_j$  - скорости по обобщённым координатам.

$$\vec{R}_{0M} = \sum_{j=1}^4 U_{4j} \dot{q}_j \vec{R}_{4M} \text{ или } \vec{R}_{0M} = (U_{41} \dot{q}_1 + U_{42} \dot{q}_2 + U_{43} \dot{q}_3 + U_{44} \dot{q}_4) \vec{R}_{4M}, \quad (3)$$

где  $U_{4j}$  - частные производные от матриц перехода  $T_4$  по обобщённым координатам  $q_j$ ;  $\dot{q}_1 = \dot{X}_1$  - скорость движения машины;  $\dot{q}_2 = \dot{Y}_1$  - скорость перемещения рабочего инструмента относительно оси  $Y_0$ , обусловленная зубчатой поверхностью шарошек;  $\dot{q}_3 = \dot{\Psi}_3 = \omega_p$  - угловая скорость ротора;  $\dot{q}_4 = \dot{\gamma}_4 = \omega_u$  - угловая скорость шарошки.

Скорость перемещения рабочего инструмента относительно оси  $Y_0$ , обусловленная зубчатой поверхностью шарошек определим по формуле

$$\dot{q}_2 = R_u \omega_u \sin \frac{\pi}{z} \cdot \cos \vartheta_4,$$

Угловую скорость ротора определим по формуле

$$\omega_p = \frac{2\pi q_n n_n \eta_{OH} \eta_{OM}}{q_m},$$

где  $q_n, q_m$  - рабочий объём соответственно насоса базовой машины и гидромотора привода ротора;  $\eta_{OH}, \eta_{OM}$  - объёмный КПД соответственно насоса базовой машины и гидромотора привода ротора;  $n_n$  - число оборотов вала насоса.

Угловая скорость шарошек при горизонтальном перекачивании без скольжения связана с угловой скоростью ротора следующей зависимостью

$$\omega_u = \omega_p \frac{D_p}{d_u},$$

где  $D_p$  - диаметр ротора;  $d_u$  - диаметр шарошки в рассматриваемом сечении.

Решение уравнения (3) позволит выполнить построение траектории режущих элементов инструмента, а также исследовать зависимость скорости любых точек инструмента и энергии удара от конструктивных и эксплуатационных параметров.

### **Список использованных источников**

1. Байкалов В. А. Математическое описание геометрии многофункционального манипулятора / В. А. Байкалов, П.И. Немировский // Деп. В ЦНИИТЭСтроймаш 23.05.88 № 68-сд88.
2. Щербаков В.С. Математическое описание механических систем в однородных координатах / В.С. Щербаков // Роботы и робототехнические системы. – Иркутск: ИПИ, 1984. – с. 75-79.