

**УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА  
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА**

*В.В. Аксенов\*\*\*, д.т.н., проф., А.А. Хорешок\*\*\*\*, д.т.н., проф., А.Н. Ермаков\*\*\*, К.А. Ананьев\*\*\**

*\*Институт угля СО РАН, г. Кемерово*

*\*\*Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ, г. Юрга*

*\*\*\*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово*

*650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3842)-39-69-40*

*E-mail: ananiev\_k@rambler.ru*

Для аналитического исследования движения рабочего инструмента, установленного на барабанном исполнительном органе геوخода [1, 2] необходимо знать общие уравнения движения точки (резца) на барабане в обобщенных координатах.

При работе инструмент, установленный на барабане, который в свою очередь закреплен на головной секции геوخода, совершает сложное движение (рис.1):

- вращательное движение с угловой скоростью  $\omega_2$  относительно оси барабана, на котором он установлен;
- переносное вращательное движение с угловой скоростью  $\omega_1$  вместе с барабаном относительно оси геохода;
- поступательное движение на забой с геоходом со скоростью  $V_0$ .

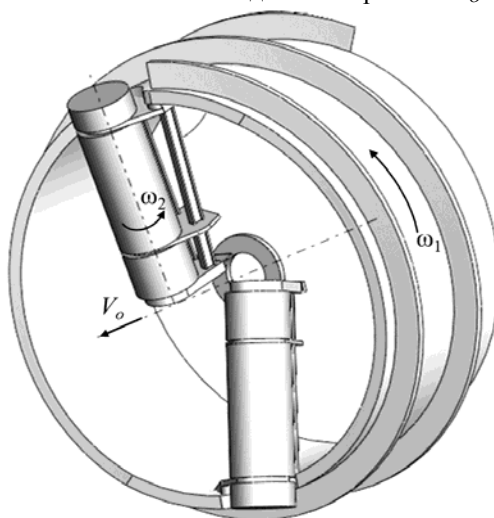


Рис. 1. Схема геохода с барабанным исполнительным органом

Важным отличием в работе барабанного исполнительного органа геохода от традиционных планетарных является наличие жесткой связи между вращательным движением с угловой скоростью  $\omega_1$  и поступательным движением на забой со скоростью  $V_0$ .

$$V_0 = \frac{\omega_1 h_b}{2\pi},$$

где  $h_b$  – шаг винтовой лопасти внешнего движителя.

В общем виде уравнение движения произвольной точки  $M$  на режущей кромке резца можно представить как функцию от ряда параметров [3]:

$$A_M = f(a_1, a_2, \dots, a_k; b_1, b_2, \dots, b_l; c_1, c_2, \dots, c_m; \omega_1, \omega_2; V_0; l_c; \xi; t),$$

где  $a_1, a_2, \dots, a_k$  – конструктивные параметры рабочей части резца;  $b_1, b_2, \dots, b_l$  – установочные параметры резца;  $c_1, c_2, \dots, c_m$  – конструктивные параметры барабана и установочные параметры барабана на геоходе;  $\omega_1, \omega_2$  – угловые скорости геохода и барабана соответственно;  $V_0$  – скорость подачи геохода в направлении забоя;  $l_c$  – положение точки установки резца на барабане;  $\xi$  – параметр, определяющий положение исследуемой точки  $M$  на режущей кромке резца;  $t$  – время.

Для схемы на рис.2 общее уравнение движения точки  $M$ , заданной на режущей кромке породоразрушающего инструмента в матричной форме задается векторным произведением нескольких компонентов [3, 4, 5]:

$$A_M = A_\Gamma \times A_{BA} \times U_6 \times A_{CB} \times A_{DC} \times T_{MD}, \quad (1)$$

где  $A_r$  – матрица абсолютного движения геохода относительно неподвижных координат;  $A_{BA}$  – матрица преобразования координат системы барабана  $X_B Y_B Z_B$  до системы координат геохода  $X_A Y_A Z_A$ ;  $U_6$  – матрица вращения барабана относительно оси  $Y_B$ ;  $A_{CB}$  – матрица переноса системы резца  $X_C Y_C Z_C$  в систему барабана  $X_B Y_B Z_B$ ;  $A_{DC}$  – матрица перехода от системы координат твердосплавной вставки  $X_D Y_D Z_D$  к системе резца  $X_C Y_C Z_C$ ;  $T_{MD}$  – координаты точки  $M$  в системе координат  $X_D Y_D Z_D$ .

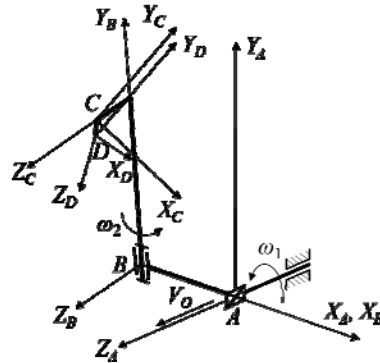


Рис. 2. Схема движения рабочего инструмента

Матрица абсолютного движения геохода относительно неподвижных координат, учитывающая поступательное перемещение вдоль оси  $Z_A$  со скоростью  $V_O$  и вращение относительно этой же оси с угловой скоростью  $\omega_1$  имеет вид:

$$A_r = \begin{bmatrix} \cos(\omega_1 t) & -\sin(\omega_1 t) & 0 & 0 \\ \sin(\omega_1 t) & \cos(\omega_1 t) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & V_O t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Матрица преобразования координат системы барабана  $X_B Y_B Z_B$  до системы координат геохода  $X_A Y_A Z_A$  учитывает наклон барабана на угол  $\beta_6$  относительно оси  $X_A$  и смещение оси вращения барабана относительно центральной оси геохода на величину  $a$  (рис. 3).

$$A_{BA} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -a \\ 0 & \cos(-\beta_6) & -\sin(-\beta_6) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta_6) & \cos(-\beta_6) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

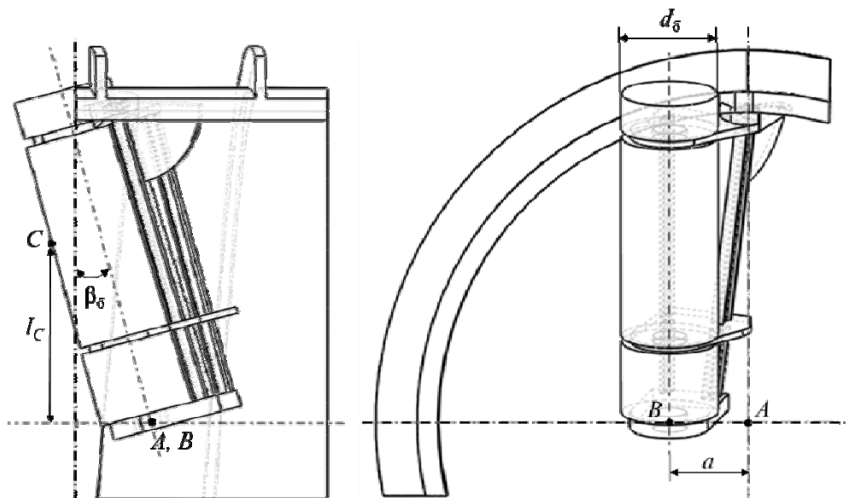


Рис. 3. Схема установки барабана на геоходе

Вращение барабана относительно оси  $Y_B$  с угловой скоростью  $\omega_2$  (см. рис. 2) описывается матрицей:

$$U_{\delta} = \begin{bmatrix} \cos(\omega_2 t) & 0 & \sin(\omega_2 t) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\omega_2 t) & 0 & \cos(\omega_2 t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрица переноса системы реза  $X_C Y_C Z_C$  в систему барабана  $X_B Y_B Z_B$  представляется следующим образом:

$$A_{CB} = \begin{bmatrix} U_{CB} & T_{CB} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $U_{CB}$  – матрица поворота реза на установочные углы  $\theta_{\delta}$ ,  $\theta_{\pi}$ ,  $\theta_{\tau}$  в системе барабана  $X_B Y_B Z_B$  (рис. 4) размерностью  $3 \times 3$ ;  $T_{CB}$  – вектор переноса системы реза  $X_C Y_C Z_C$  в систему барабана  $X_B Y_B Z_B$  системы реза  $X_C Y_C Z_C$  в систему барабана  $X_B Y_B Z_B$ .

$$T_{CB} = \begin{bmatrix} 0 \\ l_C \\ d_{\delta}/2 \end{bmatrix}.$$

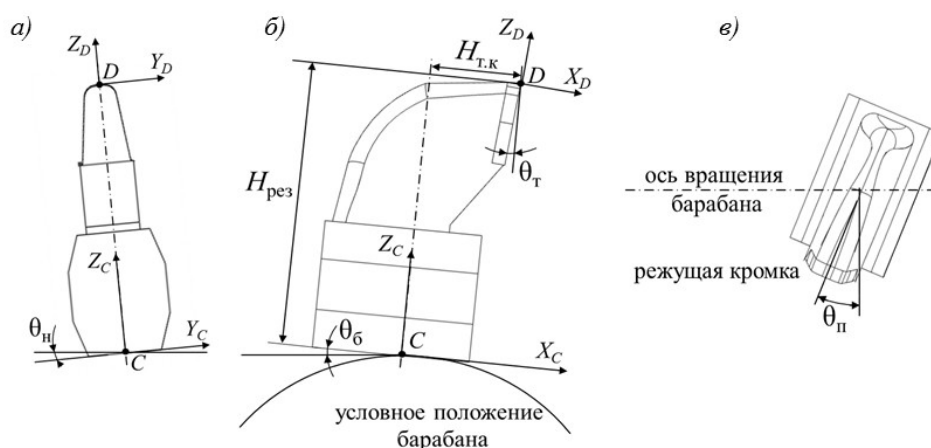


Рис. 4. Установочные углы реза на барабане

Вид матрицы поворота реза на установочные углы  $\theta_{\delta}$ ,  $\theta_{\pi}$ ,  $\theta_{\tau}$  в системе барабана  $X_B Y_B Z_B$  зависит от последовательности поворотов. В случае поворота сначала на угол  $\theta_{\pi}$ , затем на  $\theta_{\delta}$ , затем на  $\theta_{\tau}$  матрица  $U_{CB}$  представляется в виде векторного произведения:

$$U_{CB} = U_{Z_B} \times U_{Y_B} \times U_{X_B},$$

где

$$U_{Z_B} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{\pi}) & -\sin(\theta_{\pi}) & 0 \\ \sin(\theta_{\pi}) & \cos(\theta_{\pi}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; U_{Y_B} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{\delta}) & 0 & \sin(\theta_{\delta}) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_{\delta}) & 0 & \cos(\theta_{\delta}) \end{bmatrix}; U_{X_B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_{\tau}) & -\sin(\theta_{\tau}) \\ 0 & \sin(\theta_{\tau}) & \cos(\theta_{\tau}) \end{bmatrix} -$$

матрицы поворота реза относительно оси  $Z_B$  на угол  $\theta_{\pi}$ , относительно оси  $Y_B$  на угол  $\theta_{\delta}$ , относительно оси  $X_B$  на угол  $\theta_{\tau}$ .

В этих уравнениях знаки у углов установки рабочего инструмента могут быть как положительными, так и отрицательными.

Матрица перехода от системы координат твердосплавной вставки  $X_D Y_D Z_D$  к системе реза  $X_C Y_C Z_C$  (рис. 4) для радиального реза, взятого в качестве примера, имеет вид:

$$A_{DC} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{\tau}) & 0 & \sin(\theta_{\tau}) & -H_{T.K} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta_{\tau}) & 0 & \cos(\theta_{\tau}) & -H_{рез} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Координаты точки  $M$  в системе координат  $X_D Y_D Z_D$  для радиального резца (рис. 5, б) определяются вектором

$$T_{MD} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0 \\ \xi \\ -|\xi| \operatorname{ctg}(\beta_p) + r_p \left( \frac{1}{\sin(\beta_p)} - 1 \right) \\ 1 \end{bmatrix} & \text{— при } r_p \cos(\beta_p) < \xi \leq \frac{B}{2} \text{ или } -\frac{B}{2} \leq \xi < -r_p \cos(\beta_p) \\ \begin{bmatrix} 0 \\ \xi \\ -r_p + \sqrt{r_p^2 - \xi^2} \\ 1 \end{bmatrix} & \text{— при } -r_p \cos(\beta_p) < \xi < r_p \cos(\beta_p) \end{cases}$$

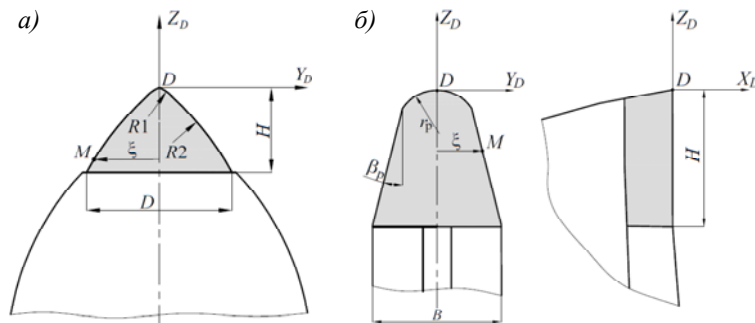


Рис. 5. Конструктивные параметры режущей части резцов  
а) – тангенциальный резец; б) – радиальный резец.

По уравнению (1) получена траектория движения вершины резца за время полного оборота геохода (рис. 6) при следующих параметрах: диаметр геохода  $D_r = 3,2$  м;  $h_b = 0,8$  м;  $\omega_1 = 6$  об/час;  $\omega_2 = 0,5$  об/с;  $l_c = 1,6$  м;  $\xi = 0$ ;  $a = 0,34$  м;  $\theta_b = 0$ ;  $\theta_n = 0$ ;  $\theta_p = 0$ ;  $\beta_b = 4,55^\circ$ .

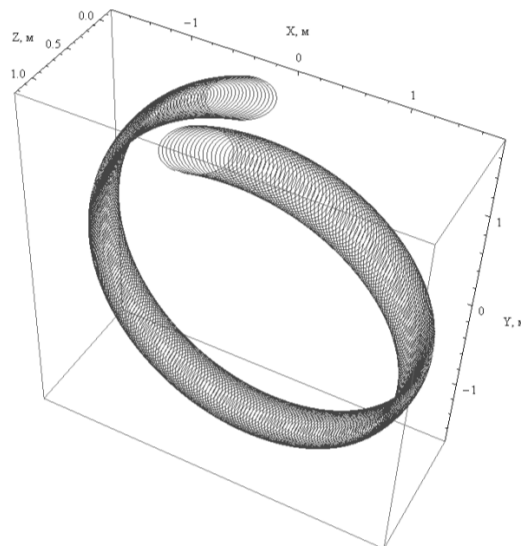


Рис. 6. Траектория движения вершины резца

Дифференцируя уравнение (1) по времени можно определить скорость и ускорение движения любой точки на режущей кромке произвольно установленного на барабане резца.

Полученное уравнение (1) позволяет анализировать движение инструмента и сравнивать параметры движения при различных его геометрических и установочных параметрах.

## Литература.

1. Винтоповоротные проходческие агрегаты / А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксёнов. – Новосибирск : ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992. – 192 с.
2. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Синтез конструктивных решений исполнительных органов геологов // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal). Горное машиностроение / М.: издательство «Горная книга» – 2010. – ОВ №3. С. 49-54.
3. Крапивин, М. Г. Горные инструменты / М. Г. Крапивин, И. Я. Раков, Н. И. Сысоев. – М. : Недра, 1990. – 255 с.
4. Ермак, В.Н. Лекции по теории механизмов и машин : учебное пособие. – Кемерово : КузГТУ, 1999. – 218 с.
5. Козлов, В.В. Динамика управления роботами / В. В. Козлов, В. П. Макарычев, А.В. Тимофеев, Е.И. Юревич. – М. : Наука, 1984. – 336 с.

**ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ СТАЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ АНКЕРОВ**

*Ю.А. Фадеев, д.ф.-м.н., проф., М.Д. Войтов, к.т.н., проф., Т.Е. Трипус, аспирант  
ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева»  
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28*

Вопросам повышения эксплуатационной надежности технологических систем и контролю в горном деле традиционно уделяется большое внимание. Специфичность условий эксплуатации оборудования, узлов и механизмов при добыче полезных ископаемых подземным способом требует учета влияния всех внешних факторов на работу как всей системы в целом, так и отдельных ее элементов. Анализ состояния технологической системы предполагает проведение постоянной диагностики технологической системы не только в текущем времени, но и прогнозировании состояния надежности в будущем, предсказывая возможные отказы как внезапного, так и постепенного характера.

С целью повышения устойчивости породного массива широко применяются анкерные крепи различных конструкций. Конструкционные особенности крепи, как правило, определяются условиями эксплуатации при конкретных горно-геологических состояниях массива. При решении задач, связанных с эксплуатации необходимо учитывать то обстоятельство, что металлические конструкции подвержены непрерывному активному воздействию ряда разрушительных факторов, таких как влажность, температура, внешние механические напряжения и т.д. Создавая механизмы и системы, исходя из принципов надежности, дешевизны и эксплуатационной долговечности изделий. Последнее качество играет в ряде случаев ключевую роль. Разработка защиты металла от внешних разрушительных факторов, выявление всех причин способствующих продлению физических свойств конструктивных сталей в настоящее время является актуальнейшей задачей.

Цель настоящей работы заключалась в учете старения сталей, при расчете напряжений в трубчатых многослойных цилиндрических анкерах.

Как известно, под старением стали понимается изменение её свойств, протекающее во времени без заметного изменения микроструктуры металла [1]. Различают термическое и деформационное старения. Процессы, связанные с изменением структуры металла, носят как общий, так и частный характер в области материаловедения. Ранее было установлено, что в многослойных системах, состоящих из различных материалов, их механические свойства зависят от различных факторов таких как, диффузия примесных атомов, рождение и аннигиляция дислокаций, их концентрация и скорость, а также другие причины, приводящих к дефектам кристаллической решетки и изменения механических свойств материала [2]. Изучение миграции различных дефектов показывает, что при обычных внешних условиях скорость их дрейфа к поверхности составляет несколько ангстрем в секунду [3]. В случае применения многослойных оболочек происходит накопление дефектов на приграничных областях к поверхностям. Такие процессы оказывают непосредственное влияние на прочностные свойства всей анкерной конструкции. С одной стороны скопление и увеличение концентрации дислокаций на границе оболочек анкера приводит к упрочнению системы в целом, а с другой – диффузия примесных атомов (в данном случае диффузия углерода из стали) приводит к снижению микроупругости, причем, чем выше перенасыщение стали углеродом, тем интенсивнее идет процесс старения [4]. Это обстоятельство необходимо учитывать при создании конструкций,