

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЫЧАЖНОГО МАНИПУЛЯТОРА ЩИТОВОГО ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

*Лукиенко Л.В.<sup>1</sup>, Гальченко К.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,  
г. Тула;*

<sup>2</sup>*Новомосковский институт (филиал) Российского химико-технологического  
университета им. Д.И. Менделеева, г. Новомосковск*

**Ключевые слова:** математическая модель, рычажный манипулятор, метод замкнутых векторных контуров.

**Аннотация.** В статье представлены результаты разработки математической модели рычажного манипулятора тоннелепроходческого комплекса для крепления горных выработок.

## MATHEMATICAL MODEL OF LEVER MANIPULATOR OF TUNNEL BORING MACHINES FOR SUPPORTING OF MINE WORKINGS

*Lukienko L.V.<sup>1</sup>, Galchenko K.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula;*

<sup>2</sup>*Novomoskovsk Institute (branch) of the Dmitry Mendeleev University of Chemical  
Technology of Russia, Novomoskovsk*

**Keywords:** mathematical model, lever manipulator, closed vector loop method.

**Abstract.** The article presents the results of development of the mathematical model of the lever manipulator of tunnel boring machines for supporting of mine workings.

Производительная работа щитовых проходческих комплексов в значительной степени зависит от механизации, автоматизации и качества выполнения операции крепления проходимых горных выработок. Основные сложности связаны со значительными размерами проходимых горных выработок (диаметр до 5 м), большим весом крепёжных элементов – тубингов (до 1500 кг). При размещении тубинга в верхней части закрепляемой выработки неизбежно будет возникать момент силы, который будет оказывать отрицательное воздействие на прочностные характеристики крепиукладчика.

К сожалению, для выполнения операции крепления горных выработок до настоящего времени не разработано единого конструктивного решения, позволяющего механизировать эту операцию при значительном расширении зоны обслуживания, а также снизить трудозатраты обслуживающего персонала. В связи с развитием горной промышленности возникла необходимость в создании машин, которые отвечали бы трём главным требованиям: облегчение работы; повышение скорости проходки; снижение аварийности.

Для моделирования работы манипулятора используем метод замкнутых векторных контуров, который основан на представлении механизма в виде отдельных векторов, образующих замкнутый векторный контур. К основным достоинствам метода можно отнести: простоту – реализация модели не требует больших математических вычислений и, соответственно, производительных

вычислительных систем; возможность варьирования шага изменения промежуточных и основных аргументов модели; возможность оперативно добиваться нужной точности вычислений. Основным недостатком метода состоит в том, что необходимо определять аргументы модели и связи между отдельными векторами и контурами в каждый момент времени.

Для однозначного определения положения устройства захвата необходимо установить значения вектора  $d$  и угла  $\gamma$ . Выявим  $d$  из треугольника  $\Delta ABD$  (рис. 1).

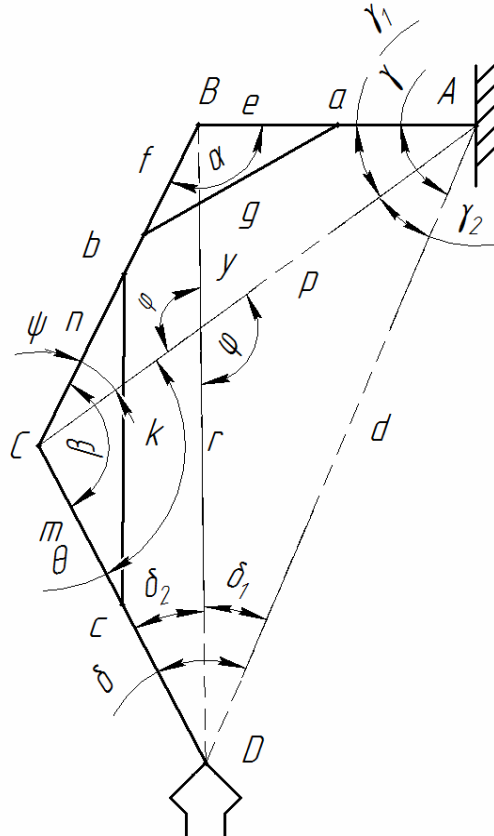


Рис. 1. Схема манипулятора с дополнительным обозначением гидроцилиндров

Из  $\Delta ABH$ :

$$d = \frac{2a \cos \gamma \pm \sqrt{4a^2 \cos^2 \gamma - 4(a^2 - b^2 - c^2 + 2bc \cos \beta)}}{2}. \quad (1)$$

Так как поворот манипулятора осуществляется с помощью гидроцилиндров, то углы ( $\alpha, \beta$ ) поворота звеньев манипулятора ( $a, b, c$ ) зависят от хода штока – расстояния  $g, k$  (рис. 1).

Исходя из того, что сумма внутренних углов трапеции равна  $360^\circ$  выразим угол  $\alpha$  из  $\Delta efg$ :  $\alpha = \arccos\left(\frac{e^2 + f^2 - g^2}{2fe}\right).$  (2)

Найдем угол  $\beta$  из  $\Delta knm$ :  $\beta = \arccos\left(\frac{k^2 - n^2 - m^2}{2nm}\right).$  (3)

Для определения угла  $\gamma$  найдем:

–  $p$  из  $\Delta ABC$ :  $p = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha};$  (4)

–  $r$  из  $\Delta BCD$ :  $r = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos \beta}.$  (5)

$$\text{Выразим угол } \psi \text{ из } \triangle ABC: \psi = \arcsin\left(\frac{a \cdot \sin \alpha}{p}\right). \quad (6)$$

$$\text{Тогда } d \text{ из } \triangle ACD: d = \sqrt{p^2 + c^2 - 2pc \cos \theta}. \quad (7)$$

$$\text{Установим угол } \gamma_1 \text{ из } \triangle ABC: \gamma_1 = \arcsin\left(\frac{b \sin \alpha}{p}\right). \quad (8)$$

$$\text{Выявим угол } \delta_2 \text{ из } \triangle BCD: \delta_2 = \arcsin\left(\frac{b \sin \beta}{r}\right). \quad (9)$$

$$\text{Найдём угол } \delta \text{ из } \triangle ACD: \delta_2 = \arcsin\left(\frac{b \sin \theta}{p}\right). \quad (10)$$

$$\text{Определим угол } \gamma: \gamma = 360^\circ - \alpha + \beta + \arcsin\left(\frac{d \sin \theta}{p}\right). \quad (11)$$

По рисунку 1  $\theta = \beta - \psi$ . С учетом уравнений (2) и (3), уравнение (11) будет иметь вид:

$$\gamma = 360^\circ - \alpha + \beta + \arcsin\left(\frac{p \cdot \sin\left(\beta - \left(\arcsin\frac{a \cdot \sin \alpha}{\sqrt{a^2 + b^2 - 2abc \cos \alpha}}\right)\right)}{\sqrt{p^2 + c^2 - 2pc \cdot \cos\left(\beta - \arcsin\frac{a \cdot \sin \alpha}{v}\right)}}\right). \quad (12)$$

Здесь  $a, b, c$  – длина звеньев манипулятора (постоянная величина);  $e, f, n, m$  – расстояние от соединения звеньев манипулятора до крепления гидроцилиндров (постоянная величина);  $g, k$  – длина гидроцилиндра, зависящая от положения штока (переменная величина).

Полученные зависимости (7) и (12) для определения линейного и углового перемещения точки  $D$  позволяют полностью моделировать работу манипулятора рычажного типа и, таким образом, на стадии проектирования обоснованно выбирать размеры звеньев манипулятора для обслуживания необходимого рабочего пространства.

#### Список литературы

1. Освоение подземного пространства. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки. СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011. – Москва, 2012. – 71 с.
2. Воробьев Е.И., Бабич А.В., Жуков К.П., Попов С.А., Семин Ю.И. Механика промышленных роботов. Том 3. – М.: Высшая школа, 1989. – 382 с.
3. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высшая школа, 1986. – 264с.
4. Алюшин Ю.А. Кинематический и динамический анализ типовых трех-звенных манипуляторов / Ю.А. Алюшин, В.М. Рачек, П.М. Вержанский // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – №12. – С. 474-488.

#### Сведения об авторах:

*Лукиенко Леонид Викторович* – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой, ТГПУ им. Л.Н. Толстого, г. Тула;

*Гальченко Константин Викторович* – соискатель НИ РХТУ, г.Новомосковск.