

УДК 622.285.4

## АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИКИ ЩИТОВЫХ КРЕПЕЙ И ИЗМЕНЧИВОСТИ ИХ РАБОЧЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Гуляев К.В., канд. техн. наук.

Донецкий государственный технический университет

*Приведены математическая модель и методика исследования кинематики секций щитовых механизированных крепей и изменчивости их сопротивления в пределах рабочего диапазона раздвижности.*

*Mathematical model and method for analysis of kinematics of the units of shield powered supports and changeableness of its strength within the bounds of the operating range of telescoping are given.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Важной научно-технической проблемой является создание эффективных щитовых крепей с рациональными кинемагическими и силовыми параметрами для высокопроизводительных очистных забоев.

**Анализ исследований и публикаций.** При взаимодействии с боковыми породами (БП) и оборудованием очистного комплекса, секции современных щитовых механизированных крепей (ЩМК) должны рассматриваться как пространственные механизмы. Вместе с тем, системный анализ конструкций секций, выполненных по схемам ПО-(0+2), ПО-(2+2), ПО-(1+1), показывает, что в большинстве случаев их характерными признаками являются [1]:

- 1) симметричность относительно центральной продольной оси;
- 2) параллельность осей всех вращательных пар;
- 3) одинаковые номинальные размеры звеньев сдвоенного четырехзвенного механизма связи (МС) ограждения с основанием.

Указанные признаки позволяют, как известно [2], решать задачи анализа и синтеза конструкций секций рассматриваемых ЩМК на основе плоской расчетной модели [3,4].

На рис. 1 приведена в качестве примера плоская модель двухстоечной секции ПО-(0+2) (с жестким перекрытием и угловым гидродомкратом), воспринимающей нагрузку горного давления от подерживаемой кровли при повороте последней относительно шарнира  $O_3$ . Упругая и неупругая податливости в системе «ЩМК-БП» обуславливают в каждом рабочем цикле крепи смещения  $\Delta h_N$  и  $\Delta h_M$

кровли и перекрытия. Траектория точки М, (оси шарнирного соединения перекрытия и ограждения) при изменении раздвижности стоек и реализации податливости системы «ЩМК-БП» определяется

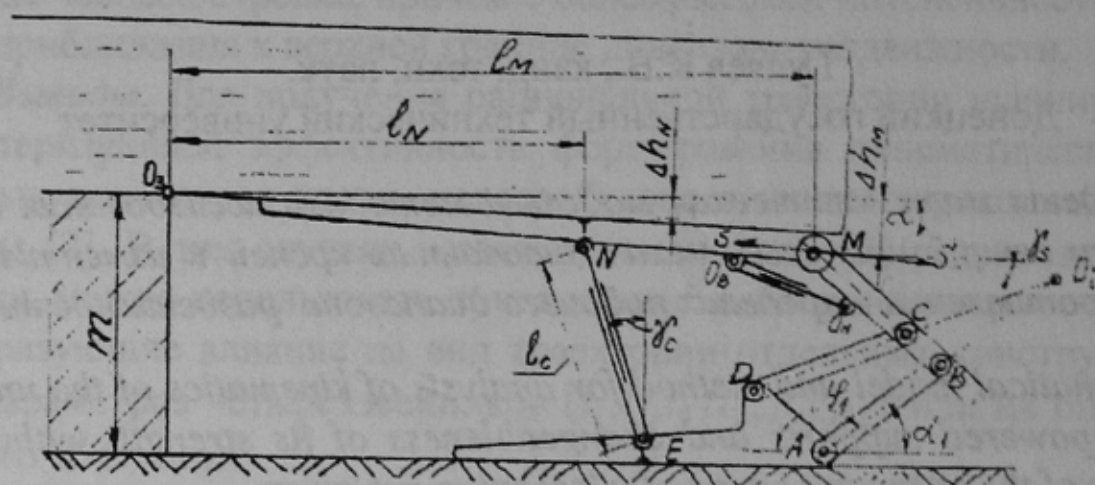


Рисунок 1 – Плоская модель секции ЩМК ПО-[0+2]

в основном конструктивными параметрами шарнирного четырехзвенника ABCD и ограждения BCM:  $AB=l_1$ ,  $BC=l_2$ ,  $CD=l_3$ ,  $AD=l_4$ ,  $CM=l_5$ ,  $BM_0$ , углом асимметрии шатуна  $\beta_2$  и углом наклона стойки  $\beta_4$ , рис. 2.

Структуру и кинематику функционирования секции крепи можно анализировать на основе идеального плоского механизма с вращательными парами A, B, C, D, M, E, N,  $O_b$ ,  $O_n$  5-го класса и поступательными парами в составе обобщенных гидростойки EN и гидродомкрата  $O_n O_b$ .

Число степеней свободы такого механизма можно определить по структурной формуле [2]

$$W = 3N - N_n + K - 2P_b - P_n,$$

где N – число подвижных звеньев, ( $N=8$ );

$N_n$  – число звеньев, имеющих элементы поступательных пар, ( $N_n=4$ );

K – число групп звеньев, связанных между собою поступательными парами, ( $K=2$ );

$P_b$  – число вращательных пар в механизме, ( $P_b=9$ );

$P_n$  – число поступательных пар в механизме ( $P_n=2$ ).

Следовательно, плоская модель неподвижной секции ЩМК имеет две степени свободы ( $W=2$ ): линейное смещение выдвигной



части гидростойки и поворот перекрытия относительно оси шарнира М.

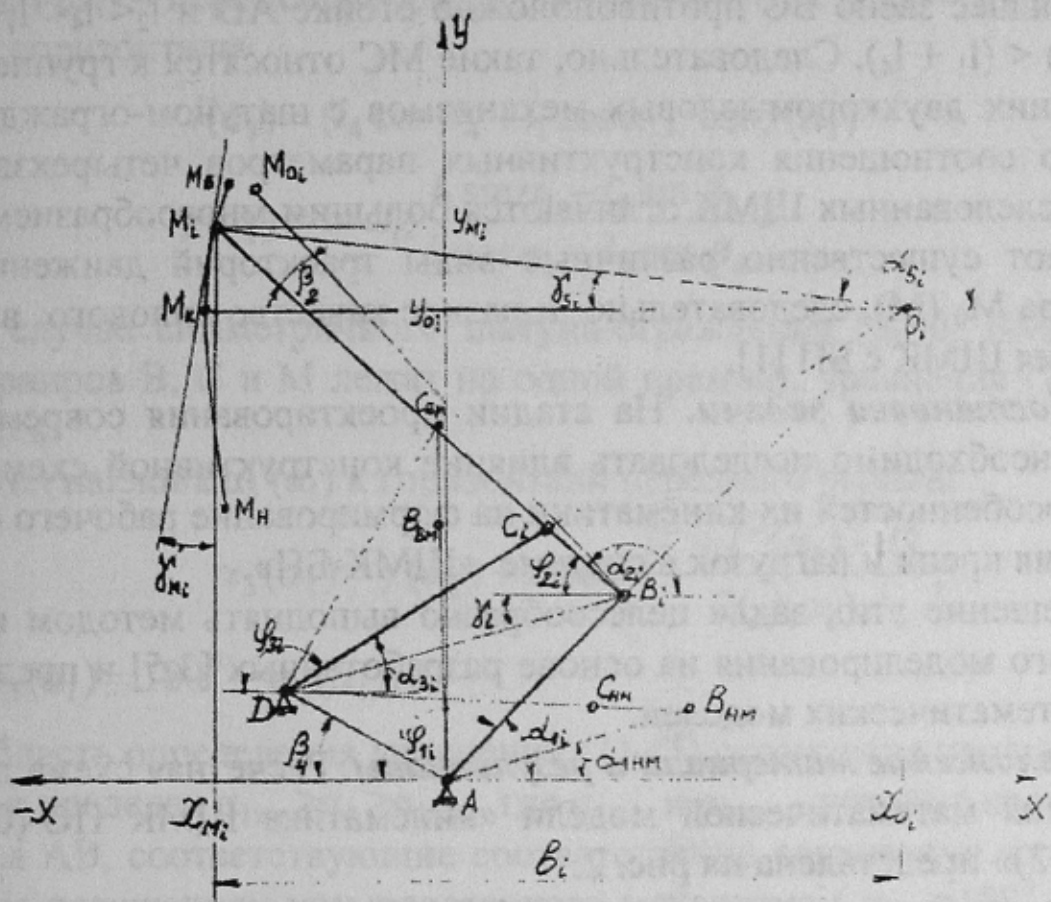


Рисунок 2 – Расчетная схема для анализа кинематики ЦМК

Поскольку длина гидростойки  $l_c$  и угол ее наклона  $\gamma_c$  функционально связаны с координатами точки М, принадлежащей перекрытию и шатуну-ограждению, то координаты всех звеньев механизма можно выразить в функции положения ведущего звена, например, угла поворота  $\alpha_1$  заднего коромысла АВ. Угловые координаты звеньев  $\alpha_j$  ( $j=1...3$ ) соответствуют повороту их от положительного направления оси АХ против часовой стрелки ( $\varphi_j = 180^\circ - \alpha_j$ ).

Следует заметить, что наиболее тяжело нагруженные пары Е и N выполняются сферическими, причем пары Е – сферическими с осью-штифтом. При этом исключается вращение гидростоек относительно их продольных осей и, вместе с тем обеспечивается дополнительная местная подвижность и возможность самоустановки гидростоек относительно основания и перекрытия, опорные плоскости которых могут быть непараллельными.

Для большинства исследованных ЦМК отечественного и зарубежного производства установлено [1], что структура и параметры их четырехзвенных механизмов удовлетворяют условиям Грасгофа: 1) наименьшее звено ВС противоположно стойке AD и  $l_2 < l_4 < l_1 < l_3$ ; 2)  $(l_2 + l_3) < (l_1 + l_4)$ . Следовательно, такие МС относятся к группе односторонних двухкоромысловых механизмов с шатуном-ограждением. Однако соотношения конструктивных параметров четырехзвенных МС исследованных ЦМК отличаются большим многообразием и определяют существенно различные виды траекторий движения оси шарнира  $M_0$  (М), следовательно, и разное качество силового взаимодействия ЦМК с БП [1].

**Постановка задачи.** На стадии проектирования современных ЦМК необходимо исследовать влияние конструктивной схемы секций и особенностей их кинематики на формирование рабочего сопротивления крепи и нагрузок в системе «ЦМК-БП».

Решение этих задач целесообразно выполнять методом имитационного моделирования на основе разработанных [3,5] и предлагаемой математических моделей.

**Изложение материала и результаты.** Расчетная схема для составления математической модели «кинематика ЦМК ПО-(0+2) и ПО-(2+2)» представлена на рис. 2.

Траектории движения точек  $M_0$ (М), заданные параметрически, описываются в общем случае уравнениями [4]

$$\left. \begin{aligned} X_{M_0} &= X_{M_0}(l_1, l_2, l_3, l_4, BM_0, \beta_2, \beta_4, \alpha_1); \\ Y_{M_0} &= Y_{M_0}(l_1, l_2, l_3, l_4, BM_0, \beta_2, \beta_4, \alpha_1) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Если конструктивные параметры  $l_1, l_2, l_3, l_4, BM_0, \beta_2, \beta_4$  механизма заданы (известны), то текущие координаты точки  $M_0$ (М) при изменении параметра  $\alpha_1$  в пределах рабочего диапазона раздвижности определяются по зависимостям (1а)

$$\left. \begin{aligned} X_{M_0} &= l_1 \cos \alpha_1 - BM_0 \cos[\varphi_2(\alpha_1) \pm \beta_2]; \\ Y_{M_0} &= l_1 \sin \alpha_1 + BM_0 \sin[\varphi_2(\alpha_1) \pm \beta_2] \end{aligned} \right\} \alpha_{1B} \geq \alpha_1 \geq \alpha_{1H} \quad (1a)$$

где  $\alpha_1$  - угловая координата заднего рычага АВ, определяющая для каждого конкретного сочетания конструктивных параметров необходимую раздвижность гидростоек, конфигурацию и высоту  $H_c$  секции:  $\alpha_{1B}$  соответствует  $H_{cmax}$ ;  $\alpha_{1H}$  -  $H_{cmin}$  ( $\alpha_1 = 180^\circ - \varphi_1$ );

$\varphi_2(\alpha_1)$  - угол наклона ограждения к горизонтальной оси АХ ( $\alpha_2(\alpha_1) = 180^\circ - \varphi_2(\alpha_1)$ ):



$$\varphi_2(\alpha_1) = \arccos \frac{l_2^2 + l^2(\alpha_1) - l_3^2}{2l_2 l(\alpha_1)} - \gamma(\alpha_1) \quad (2)$$

где  $l(\alpha_1)$  – переменная длина диагонали DB, а  $\gamma(\alpha_1)$  – угол ее наклона к горизонтали

$$l(\alpha_1) = (l_4 \cos \beta_4 + l_1 \cos \alpha_1) / \cos \gamma(\alpha_1) \quad (3)$$

$$\gamma(\alpha_1) = \arctg \frac{l_1 \sin \alpha_1 - l_4 \sin \beta_4}{l_1 \cos \alpha_1 + l_4 \cos \beta_4} \quad (4)$$

В случае симметричного шатуна-ограждения ( $\beta_2=0$ ,  $BM_0=BM$ , оси шарниров B, C и M лежат на одной прямой), уравнения (1а) упрощаются.

Угол наклона  $\alpha_3(\alpha_1)$  к горизонтали переднего рычага:

$$\alpha_3(\alpha_1) = \gamma(\alpha_1) + \arccos \frac{l_3^2 + l^2(\alpha_1) - l_2^2}{2l_3 l(\alpha_1)}; \quad (5)$$

$$(\varphi_3(\alpha_1) = 180^\circ - \alpha_3(\alpha_1)).$$

Область определения уравнений (1)–(5) ограничена изменением угла  $\alpha_1$  в пределах  $\alpha_{1BM} \geq \alpha_1 \geq \alpha_{1HM}$ , где  $\alpha_{1BM}$  и  $\alpha_{1HM}$  – угловые координаты звена АВ, соответствующие соответственно верхнему и нижнему мертвым положениям четырехзвенного механизма ( $\alpha_{1BM} = 180^\circ - \varphi_{1BM}$ ;  $\alpha_{1HM} = 180^\circ - \varphi_{1HM}$ ).

Из расчетной схемы, см. рис. 2, следует, что

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{1BM} &= \beta_4 + \arccos \frac{l_4^2 + (l_1 + l_2)^2 - l_3^2}{2l_4(l_1 + l_2)} \\ \varphi_{1HM} &= \beta_4 + \arccos \frac{l_1^2 + l_2^2 - (l_2 + l_3)^2}{2l_1 l_4} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Рабочему диапазону раздвижности гидростоек и конечным положениям точки  $M_B$  и  $M_H$  на концах ее траектории соответствуют значения  $\alpha_{1B} < \alpha_{1BM}$  и  $\alpha_{1H} > \alpha_{1HM}$ , см. рис.3.

Важной характеристикой траектории движения точки М является функция  $\gamma_M(\alpha_1)$ , отражающая закон изменения угла  $\gamma_M$  между вертикальной осью и секущими, проходящими последовательно через точки  $M_{i-1}$  и  $M_i$ ,  $M_i$  и  $M_{i+1}$  и т.д., в пределах рабочего диапазона раздвижности крепи. При достаточно малом шаге изменения пара-

метра  $\alpha_1$  секущую в первом приближении можно считать касательной к траектории точки М.

Приращения координат точки  $M_i$  при повороте звена АВ на шаг  $\Delta\alpha_1$ :

$$\begin{aligned} \Delta X_{M_i} &= X_{M_i} - X_{M_{i-1}}; \\ \Delta Y_{M_i} &= Y_{M_i} - Y_{M_{i-1}}; \end{aligned} \quad (7)$$

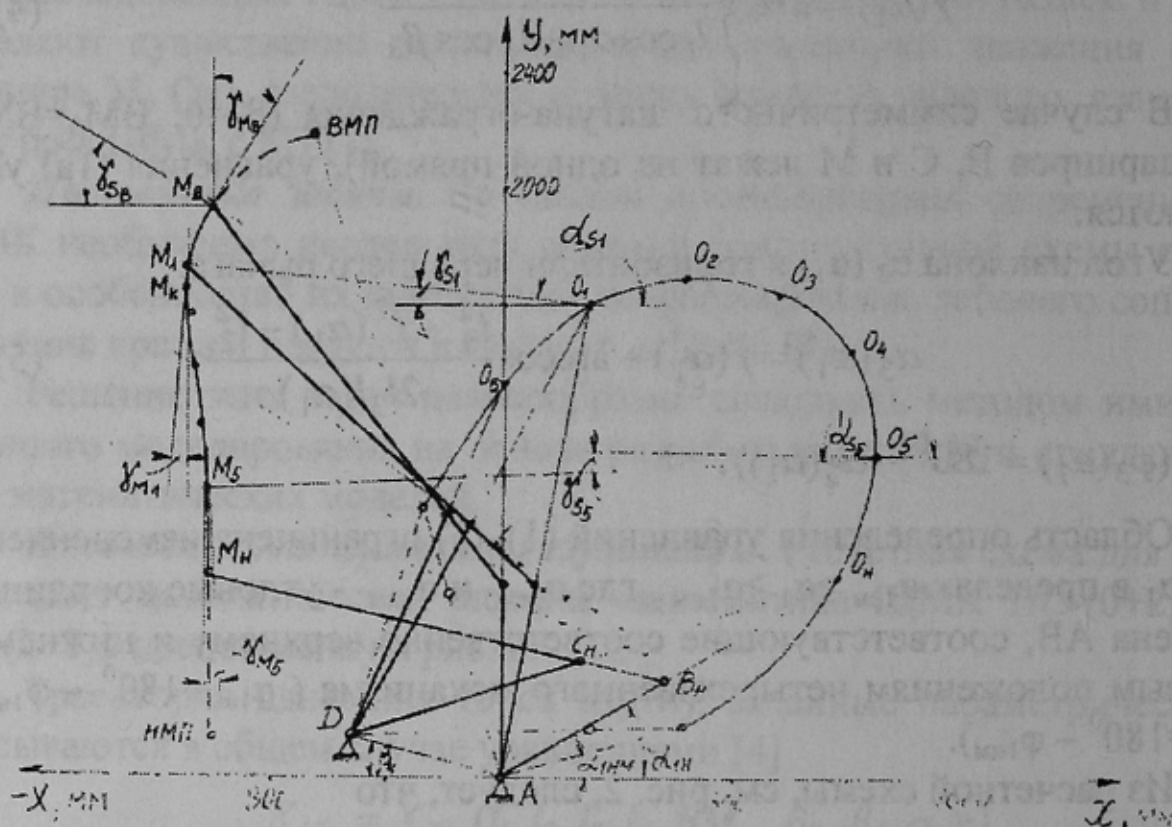


Рисунок 3 – Кинематический паспорт ВЗ секции ПО-[0+2]

Текущие значения угла  $\gamma_M(\alpha_1)$  между вертикалью и касательной к траектории оси шарнира М в точке  $M_i$ :

$$\gamma_{M_i}(\alpha_1) = \arctg(\Delta X_{M_i} / \Delta Y_{M_i}) \text{ при } \Delta\alpha_1 \rightarrow 0. \quad (8)$$

Текущие координаты точки  $O_i$  (мгновенного центра вращения ограждения) определим, используя уравнения прямых  $AB_i$  и  $DC_i$  и условие их пересечения в точке  $O_i$ . В правой прямоугольной системе координат, см. рис.2, уравнение прямой  $AB_i$  можно представить в виде:

$$Y_1 = X \operatorname{tg} \alpha_1; \quad (9)$$

а уравнение прямой  $DC_i$

$$Y_2 = l_4 [\sin \beta_4 + \cos \beta_4 \operatorname{tg} \alpha_3(\alpha_1)] + X \operatorname{tg} \alpha_3(\alpha_1) \quad (10)$$

Условие пересечения прямых (9) и (10) в точке  $O_i$ :

$$Y_{li} = Y_{2i} = Y_{oi}, \text{ при } X = X_{oi}; \quad (11)$$

Следовательно, текущие координаты полюсной точки  $O_i$

$$\left. \begin{aligned} X_{oi} &= l_4 [\sin \beta_4 + \cos \beta_4 \operatorname{tg} \alpha_3(\alpha_1)] (\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_3(\alpha_1))^{-1} \\ Y_{oi} &= X_{oi} \operatorname{tg} \alpha_1. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Как видно из рис. 2, прямые  $O_i M_i$  являются нормальными к траектории точки  $M$ . Длина и положение нормали зависят от формы кривизны траектории и определяют положение линии действия силы  $S$  в шарнире  $M$ , рис. 1.

Длина нормали (отрезка  $M_i O_i$ ):

$$M_i O_i = ((X_{oi} - X_{mi})^2 + (Y_{oi} - Y_{mi})^2)^{1/2} \quad (13)$$

Длина проекции отрезка  $M_i O_i$  на ось  $AX$ :

$$b_i = X_{M_i O_i} = X_{oi} - X_{mi} = |X_{oi}| + |X_{mi}| \quad (14)$$

Длина проекции отрезка  $M_i O_i$  на ось  $AU$ :

$$Y_{M_i O_i} = Y_{mi} - Y_{oi}. \quad (15)$$

Угол  $\gamma_s(\alpha_1)$  между осью  $AX$  и нормалью  $O_i M_i$

$$\gamma_s(\alpha_1) = \arctg \frac{Y_{mi} - Y_{oi}}{X_{oi} - X_{mi}} = \arccos \frac{X_{oi} - X_{mi}}{M_i O_i}; \quad (16)$$

$$\alpha_s(\alpha_1) = 180^\circ - \gamma_s(\alpha_1)$$

Поскольку касательная и нормаль к кривой в каждой точке  $M_i$  взаимно ортогональны, то  $\gamma_{mi}(\alpha_{1i}) = \gamma_{si}(\alpha_{1i})$ .

В работе [1] предложено классифицировать ЦМК по виду траектории движения шарнира  $M$ : В1, В2, В3, В4.

Показано, что условия силового взаимодействия с кровлей секций крепей с траекторией шарнира  $M$  вида В3 (с точками перегиба) зависят от реализуемого участка рабочего диапазона раздвижности. На рис.3 приведен в качестве примера кинематический паспорт ЦМК ПО-[0+2] (Глиник -08/22) вида В3, иллюстрирующий особенности силового взаимодействия в системе «ЦМК-БП» при работе этой крепи на пластах различной мощности.



Анализ траектории движения точки М вида ВЗ показывает, см. рис. 3, что: 1) на участке от  $M_B$  до  $M_K$  опускание шарнира М и перекрытия сопровождается горизонтальным смещением их относительно кровли в сторону забоя при  $Y_{Mi} > Y_{Oi}$  и этим определяются знаки  $\gamma_s$  ( $\alpha_i$ ) и  $\alpha_s$  ( $\alpha_1$ ) =  $180^\circ - \gamma_s$  ( $\alpha_1$ ); 2) в точке перегиба  $M_K$  касательная параллельна оси АУ,  $Y_{Mi} = Y_{Oi}$ ,  $\alpha_s(\alpha_{1K}) = 180^\circ$ ; а  $\gamma_M(\alpha_{1K}) = \gamma_s(\alpha_{1K}) = 0$ ; 3) на участке от  $M_K$  до  $M_H$  опускание шарнира М и перекрытия сопровождается горизонтальным смещением их относительно кровли в сторону завала; при этом  $Y_{Mi} < Y_{Oi}$ ,  $\alpha_s(\alpha_1) = 180^\circ + \gamma_s(\alpha_1)$ .

Следовательно, см. рис. 4, условия формирования горизонтальной и вертикальной составляющей  $R(\alpha_1)$  рабочего сопротивления секции крепи опусканию кровли при работе на пластах различной мощности не одинаковы. Кроме того, при переходе через точку перегиба на траектории точки М, скачком меняется направление силы трения между кровлей и перекрытием.

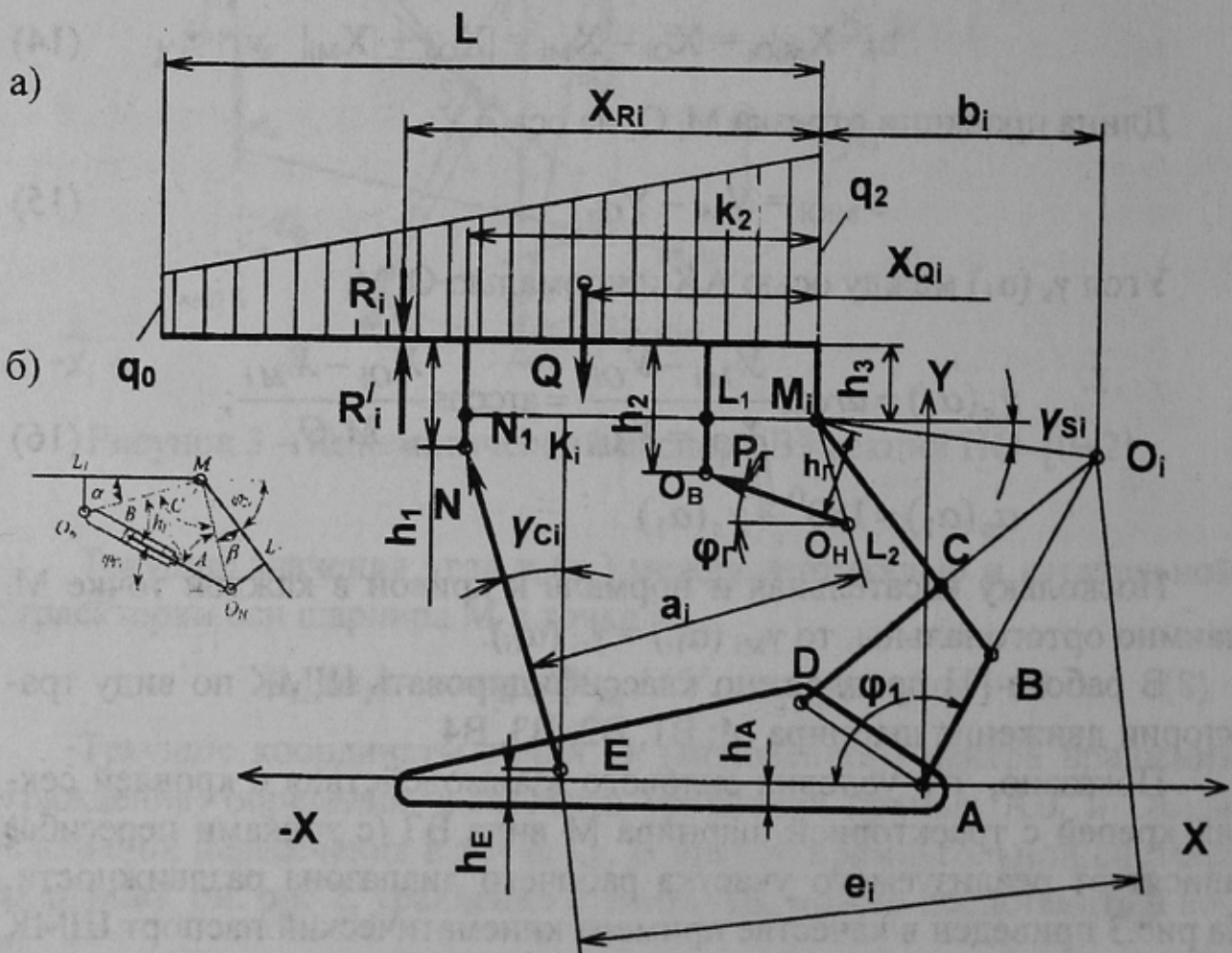


Рисунок 4 – Расчетная схема секции ЩМК ПО-[0+2]



Степень стабільності вертикальної складової  $R(\alpha_1)$  со-  
 противлення секцій в межах робочого діапазона роздвигності яв-  
 ляється важливою експлуатаційною характеристикою ЩМК і підлягає  
 визначенню. Як видно з рис. 4, положення всіх звеньїв секції,  
 відстань  $X_{Ri}$  і значення результуючих со-  
 противлення секцій  $R_i$  визначаються їх конструктивною схемою і параметрами чотири-  
 зв'язного механізму зв'язи огороження з основою і перекриттям.  
 Це обумовлено тим, що при зміні роздвигності кріпи зміню-  
 ються не тільки координати точок  $M_i$  і  $O_i$ , але і розміри плеч  $a_i$  і  
 $e_i$  сил  $P$ , розвиваемих гидростійками, кут їх нахилу  $\gamma_c$  ( $\alpha_1$ ) а також  
 плечо  $h_r$  сили  $P_r$ , розвиваемой кутовим гидродомкратом. В той же час  
 при заданій трапецеїдальній епюрі навантаження від горного тиску,  
 положення точки прикладення еквівалентної їй сили  $Q$  визначається  
 однозначно [6]:

$$X_Q = L(q_2 + 2q_0)/3(q_2 + q_0).$$

Використовуючи умови статического рівноваги перекриття отно-  
 сительно точок  $M_i$  і  $O_i$ , рис. 4, отримуємо (без урахування сил тертя) зави-  
 симості для визначення  $R_i$  і координати  $X_{Ri}$  для ЩМК з секціями  
 ПО-(0+2):

$$R(\alpha_1) = \frac{1}{b(\alpha_1)} [P(e(\alpha_1) - a(\alpha_1)) \mp P_r h_r(\alpha_1)]; \quad (17)$$

$$X_R(\alpha_1) = \frac{1}{R(\alpha_1)} [Pa(\alpha_1) \pm P_r h_r(\alpha_1)]. \quad (18)$$

В вираженнях (17) і (18)  $P = 2P_c$  – робоче со-  
 противлення двох стоек,  $P_r$ - сила, розвиваемая кутовим гидродомкратом, верхні знаки  
 приймаються, якщо гидродомкрат працює на стиснення, а нижні – при  
 роботі його на розтягнення. В відповідності з цим приймається значення  
 сили  $P_r$ , розвиваемое поршневою або штоковою порожниною гидро-  
 домкрата.

Як видно з виражень (17) і (18), поточні значення  $R(\alpha_1)$  і  
 $X_R(\alpha_1)$  залежать також від змінних  $a(\alpha_1)$ ,  $e(\alpha_1)$  і  $h_r(\alpha_1)$ . При извест-  
 ных конструктивных параметрах секцій вказані змінні мож-  
 но визначити по наступним залежностям (см. рис. 4):

$$a(\alpha_1) = [MN_1 + NN_1 \operatorname{tg} \gamma_c(\alpha_1)] \cdot \cos \gamma_c(\alpha_1); \quad (19)$$

$$e(\alpha_1) = [(X_0(\alpha_1) - X_E) + (Y_0(\alpha_1) \pm Y_E) \cdot \operatorname{tg} \gamma_c(\alpha_1)] \cdot \cos \gamma_c(\alpha_1). \quad (20)$$

Текущие значения угла наклона  $\gamma_c(\alpha_1)$  гидростоек от вертикали согласно рис. 4 определяются по зависимости:

$$\gamma_c(\alpha_1) = \operatorname{arctg} \left[ \frac{N_1 K_i}{Y_M(\alpha_1) - NN_1 - Y_E} \right], \quad (21)$$

где  $N_1 K_i$  — переменная, зависящая от  $X_{Mi}$  ( $N_1 K_i = MN_1 - X_M(\alpha_1) - |X_E|$ );  $X_{Mi}$ ,  $Y_{Mi}$  — функции, определяемые по зависимостям (1) — (5);  $NN_1$ ,  $X_E$ ,  $Y_E$  — конструктивные параметры исследуемой ЦМК.

Из выражения (21) видно, что угол наклона гидростоек  $\gamma_c(\alpha_1)$  является функцией параметра  $\alpha_1$  и двух переменных ( $X_{Mi}$ ,  $Y_{Mi}$ ), характеризующих вид траектории движения шарнира М.

Зависимости для определения переменных параметров  $O_B O_H = l_r(\alpha_1)$ ,  $h_r(\alpha_1)$  и  $\varphi_r(\alpha_1)$ , необходимых для анализа силовых характеристик секций ПО-(0+2) можно вывести на основе расчетной схемы, рис. 4б. Известными конструктивными параметрами являются постоянные  $ML_1 = l_n$ ;  $L_1 O_B = h_n$ ;  $ML_2 = l_0$ ;  $L_2 O_H = h_0$ , а также угол  $\varphi_2(\alpha_1)$ , определяемый для каждого значения  $\alpha_1$  по зависимостям (2) — (4).

Из расчетной схемы рис. 4б следует, что  $\alpha = \operatorname{arctg}(h_n/l_n)$ ;  $\beta = \operatorname{arctg}(h_0/l_0)$ ;  $O_B M = a' = h_n/\sin \alpha$ ;  $MO_H = b' = h_0/\sin \beta$ ;

$$C_i(\alpha_1) = 180^0 - [\alpha + \beta + \varphi_2(\alpha_1)] \quad (22)$$

$$D_1(\alpha_1) = A_i(\alpha_1) + B_i(\alpha_1) = \alpha + \beta + \varphi_2(\alpha_1). \quad (23)$$

Используя известную тригонометрическую зависимость, получим:

$$\operatorname{tg} \frac{A - B}{2} = \frac{a' - b'}{a' + b'} \operatorname{tg} \frac{A + B}{2} = \frac{a' - b'}{a' + b'} \operatorname{tg} \left[ \frac{\alpha + \beta - \varphi_2(\alpha_1)}{2} \right] \quad (24)$$

Следовательно,

$$A_i(\alpha_1) - B_i(\alpha_1) = D_2(\alpha_1) = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{a' - b'}{a' + b'} \operatorname{tg} \left[ \frac{\alpha + \beta + \varphi_2(\alpha_1)}{2} \right] \right) \quad (25)$$

Решая совместно (23) и (25), определяем текущие значения углов  $A(\alpha_1)$ ,  $B(\alpha_1)$  и искомые параметры узла углового гидродомкрата:



$$\begin{aligned}
 A(\alpha_1) &= 0,5[D_1(\alpha_1) + D_2(\alpha_1)]; \\
 B(\alpha_1) &= 0,5[D_1(\alpha_1) - D_2(\alpha_1)]; \\
 \varphi_r(\alpha_1) &= B(\alpha_1) - \alpha;
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

$$O_B O_H = l_r(\alpha_1) = (a \sin[180^\circ - (\alpha + \beta + \varphi_2(\alpha_1))]) / \sin A(\alpha_1)
 \tag{27}$$

$$h_r(\alpha_1) = a' \sin B(\alpha_1) = b' \sin A(\alpha_1).
 \tag{28}$$

Используя приведенные выше зависимости (1)-(28), можно исследовать кинематику секций ЩМК ПО-(0+2) и обусловленные ею особенности изменения значений  $R_i(\alpha_1)$  и  $X_{Ri}(\alpha_1)$  в рабочем диапазоне раздвижности крепи согласно расчетной схеме на рис. 4.

Зависимости для анализа стабильности рабочего сопротивления секций ЩМК, выполненных по формуле ПО-(2+2), получены на основе расчетной схемы, рис. 5. Здесь жирными линиями изображена секция при конструктивной высоте  $H_{сmax}$ , а пунктирными – при  $H_{сmin}$ . (конструктивные и силовые параметры соответствующие  $H_{сmax}$  обозначены индексом «в», а  $H_{сmin}$  – индексом «н»). Составив и решив уравнения моментов всех сил относительно шарнира М (точки  $M_B$  и  $M_H$ ) и мгновенного центра вращения ограждения (точки  $O_B$  и  $O_H$ ), получим:

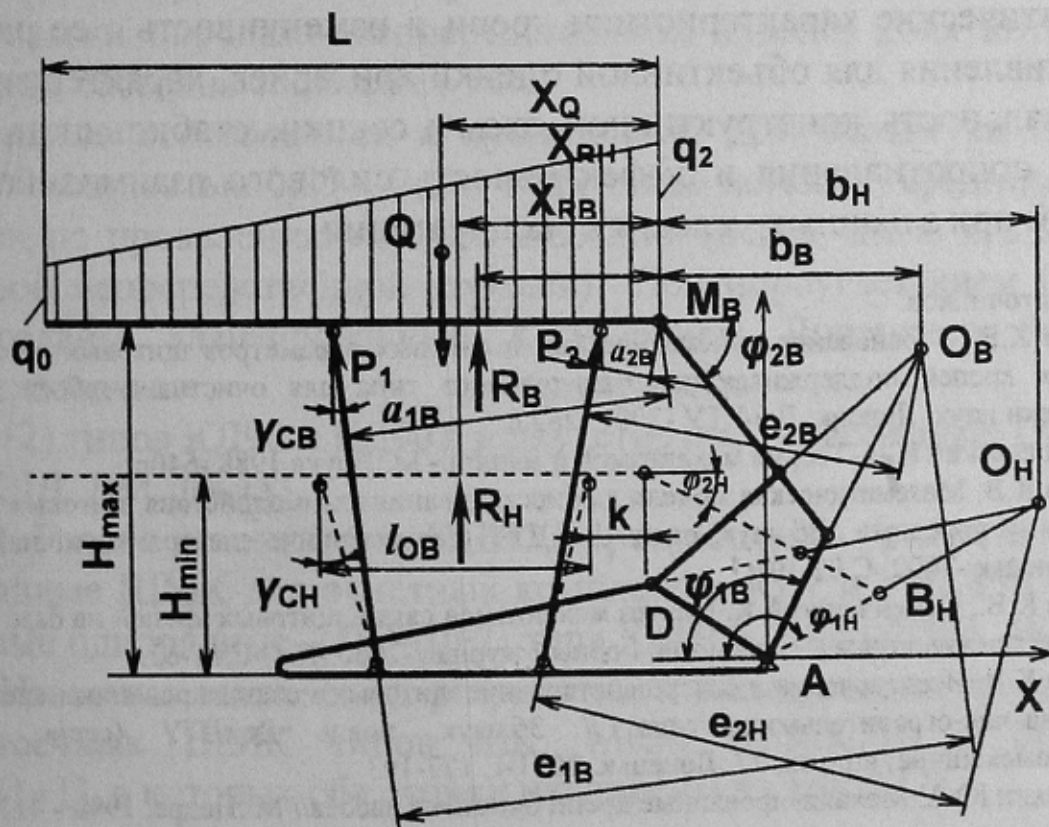


Рисунок 5 – Расчетная схема секции ПО-[2+2]

$$X_{R_{H(B)}} = \frac{b_{H(B)} (a_{1H(B)} + a_{2H(B)})}{(e_{1H(B)} + e_{2H(B)}) - (a_{1H(B)} - a_{2H(B)})}; \quad (29)$$

$$R_{H(B)} = \frac{P(e_{1H(B)} + e_{2H(B)})}{b_{H(B)} + (X_R)_{HB}}. \quad (30)$$

В зависимости (30)  $P=P_1=P_2$ , где  $P_1$  и  $P_2$  – номинальные сопротивления гидростоек переднего и заднего рядов. Размеры плеч сил  $P_1$  и  $P_2$  относительно точек М и О определяются по зависимостям:

$$a_{1H(B)} = (l_{OB} + K) \cos \gamma_{CH(B)}; \quad a_{2H(B)} = K \cos \gamma_{CH(B)};$$

$$e_{1H(B)} = (l_{OB} + K + b_{H(B)}) \cos \gamma_{CH(B)};$$

$$e_{2H(B)} = K + b_{H(B)} \cos \gamma_{CH(B)}.$$

Показателем стабильности рабочего сопротивления секции ЩМК данного типоразмера может служить отношение  $R_i(\alpha_1)/P$  или значений  $R(\alpha_{1H})/R(\alpha_{1B})$ , соответствующих границам рабочего диапазона раздвижности крепи. Характеристиками рациональности конструктивной схемы секции являются ширина диапазона изменения  $X_{Ri}$ , разность между  $X_R$  и  $X_Q$ , и распределение сопротивления крепи по ширине поддерживаемого рабочего пространства.

**Выводы.** На стадии проектирования ЩМК целесообразно с использованием предложенной математической модели исследовать кинематические характеристики крепи и изменчивость ее рабочего сопротивления для объективной оценки критериев, характеризующих рациональность конструктивной схемы секции, стабильность ее рабочего сопротивления и эффективность силового взаимодействия с кровлей при заданных условиях эксплуатации.

#### Список источников.

1. Гуляев К.В. Обоснование кинематических и силовых параметров щитовых механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа для очистных забоев. Дис. ... канд. техн. наук, Донецк, ДонГТУ, -2001.-262 с.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. - М.:Наука, 1988. -640с.
3. Гуляев К.В. Математическая модель для исследования взаимодействия щитовых крепей с боковыми породами //Зб.наук. праць ДонДТУ (серія: гірничо-електромеханічна), випуск 16. Донецьк.-2000.-С.92-101.
4. Гуляев К.В., Семенченко А.К. Синтез механизмов связи щитовых крепей на базе шарнирного четырехзвенника // Изв. вузов. Горный журнал. -2000.-№1.-С.57-63.
5. Гуляев К.В. Исследование и совершенствование щитовых механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа // Зб.наук. праць ДонДТУ (серія: гірничо-електромеханічна) випуск, 27. Донецьк.-2001.-С.177-193.
6. Коровкин Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев// М.:Недра, 1990. - 413с.

*Рекомендована к публикации д.т.н., проф. Семенченко А.К.*