

УДК 622.285

СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЩИТОВЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

Гуляев К.В., канд. техн. наук,
Донецкий национальный технический университет

Рассмотрены способы формирования рациональных кинематических и силовых параметров щитовых механизированных крепей

Some methods of forming of rational kinematic and force parameters of mechanized shield supports are examined

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Разработка и создание щитовых механизированных крепей (ЩМК) с рациональными кинематическими и силовыми параметрами является важной научно-технической проблемой. Особо остро стоит эта проблема применительно к сравнительно мало изученным ЩМК с однорядными двухстоечными секциями, выполненными по формуле ПО-(0+2), при взаимодействии их с малоустойчивыми породами кровли (~70% разрабатываемых шахтопластов Донецкого бассейна).

Анализ исследований и публикаций. В работе [1] показано, что на эффективность взаимодействия ЩМК с боковыми породами и формирование внутрисекционных нагрузок доминирующее влияние оказывают конструктивная схема секции, ее рабочее сопротивление, вид и параметры траектории движения оси шарнира М, соединяющего ограждение с перекрытием. Определена зависящая от параметров четырехзвенника рациональная траектория движения этого шарнира в виде отрезка наклонной прямой. Предложен [2] метод синтеза четырехзвенных механизмов, формирующих рациональную траекторию оси шарнира в рабочих диапазонах раздвижности крепи. При этом обеспечивается стабильность направления в сторону забоя сил трения от перекрытия на кровлю, что способствует сохранению ее устойчивости и снижению внутрисекционных нагрузок.

В тоже время рекомендации [2] по синтезу подобных четырехзвенных механизмов, формирующих рациональную траекторию движения $M_B M_H$ шарнира М, относятся к частному случаю четырехзвенника с симметричным шатуном-ограждением ($\beta_2 = 0$) рис. 1, и сво-

дятся к выполнению условий: $l_1=l_4=2l_2$, $l_3=l_5=2,5l_2$ и $\beta_4=26-28^\circ$ ($AB=l_1$, $BC=l_2$, $CD=l_3$, $AD=l_4$, $CM=l_5$).

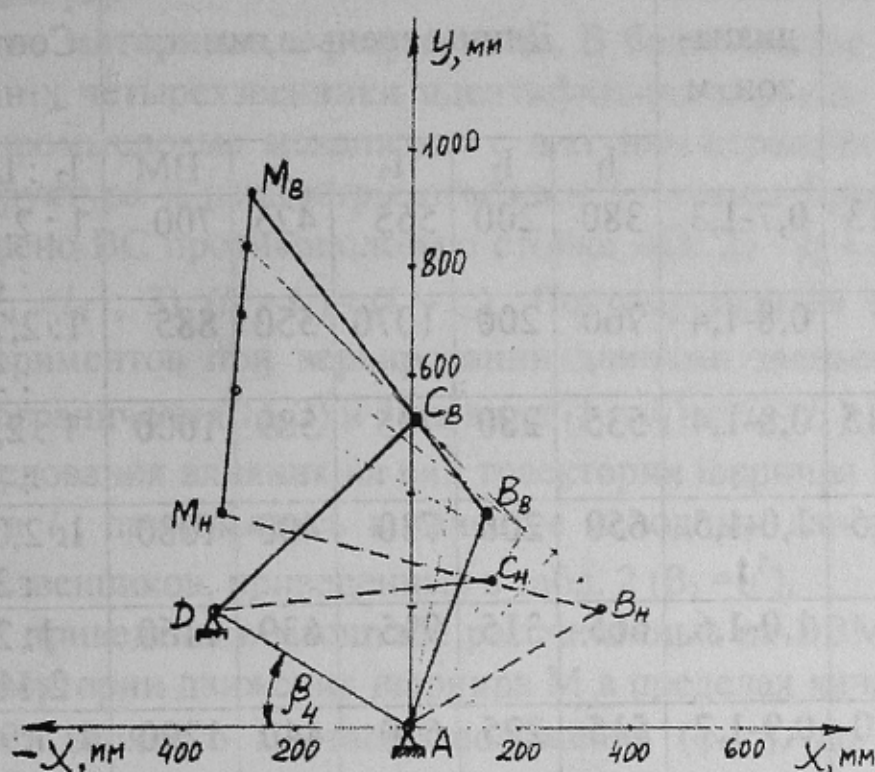


Рис. 1 Схема четырехзвенника с рациональными параметрами

Вместе с тем, в результате исследования кинематических параметров 30 типов ЩМК ПО-(0+2) отечественного и зарубежного производства установлено, что в 12 типах ЩМК реализована траектория шарнира М вида В1, близкая к рациональной, но при других соотношениях конструктивных параметров четырехзвенников. Для 8-ми таких ЩМК параметры их четырехзвенников приведены в табл. 1 в качестве примера.

Из табл.1 следует, что наиболее близки к рекомендациям [2] (по соотношению длин звеньев) параметры четырехзвенников ЩМК типа Фазос-046/13, DBT-07/15 и 1КДД. Необходимо отметить, что весьма близкими к рациональному виду траекториями шарнира М характеризуются крепы М137 и DBT07/15 с одинаковым рабочим диапазоном раздвижности (0,8-1,4)м, но с существенно отличными параметрами четырехзвенников. Эти примеры подтверждают сложную многопараметрическую зависимость вида и параметров траектории движения шарнира M_0 (М) от конструктивных параметров четырехзвенника в пределах изменения угла качания заднего рычага α_1 [1,2].

Таблица 1. Параметры четырехзвенников ЦМК ПО-(0+2) с кинематикой В1

Тип ЦМК	Рабочий диапазон, м	Длины звеньев, мм					Соотношение l_i	Угол наклона стойки, град
		l_1	l_2	l_3	l_4	ВМ		
Ф-О46/13	0,7-1,3	380	200	555	425	700	$1 : 2,12 : 1,9 : 2,78$	17
М137	0,8-1,4	760	200	1070	550	885	$1 : 2,75 : 3,8 : 5,35$	13
ДВТ07/15	0,8-1,4	535	280	705	589	1000	$1 : 2,1 : 1,9 : 2,52$	21
Ф-09/15,5	1,0-1,5	650	200	730	400	1080	$1 : 2,0 : 3,25 : 3,65$	28
1КДД	1,0-1,6	665	315	915	639	1160	$1 : 2,03 : 2,11 : 2,9$	22,5
Гл.075/20	0,9-1,7	515	225	690	440	1290	$1 : 1,96 : 2,29 : 3,07$	15
КГ340-7/21	0,9-2,0	860	290	1220	720	1200	$1 : 2,48 : 2,97 : 4,21$	14,5
2КДД	1,35-2,4	1015	300	1285	639	1500	$1 : 2,13 : 3,38 : 4,28$	22,5

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

Если заданы конструктивные параметры $l_1, l_2, l_3, l_4, BM_0, \beta_2, \beta_4$ (при $\beta_2 = 0, BM_0 = BM$), то в пределах рабочего диапазона раздвижности $\alpha_{1н} \leq \alpha_1 \leq \alpha_{1в}$ текущие координаты точки $M_0(M)$ определяются по зависимостям

$$\left. \begin{aligned} X_{M_0} &= l_1 \cos \alpha_1 - BM_0 \cos[\varphi_2(\alpha_1) \pm \beta_2]; \\ Y_{M_0} &= Y_{M_0}(l_1 \sin \alpha_1 + BM_0 \sin[\varphi_2(\alpha_1) \pm \beta_2]) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Алгоритм и примеры решения задач анализа кинематических параметров ЦМК приведены в работах [3, 4], а результаты рассмотрены в работах [5, 6].

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование влияния на вид и форму траектории движения шарнира $M_0(M)$ варьирования отдельными конструктивными параметрами

$(l_1, l_3, l_5, \beta_4, \beta_2)$ четырехзвенника, так как на стадии проектирования может быть необходимым принятие технических решений, отличных от рекомендаций [2].

Изложение материала и результаты. В большинстве исследованных ЦМК их четырехзвенники идентифицированы как односторонние двухкоромысловые механизмы с шатуном-ограждением, поскольку их структура и параметры отвечают условиям Грасгофа: 1) наименьшее звено ВС противоположно стойке AD; 2) $l_2 < l_4 < l_1 < l_3$ или $l_2 < l_1 < l_4 < l_3$; 3) $(l_2 + l_3) < (l_1 + l_4)$. Поэтому планом вычислительных экспериментов при варьировании длинами звеньев l_1 и l_3 принимались ограничения 1), 2) и 3) в виде $(l_2 + l_3) \leq (l_1 + l_4)$.

Для исследования влияния на вид траектории шарнира М длины заднего рычага l_1 , принимались в качестве исходных данных параметры четырехзвенников, приведенные в табл. 2 ($\beta_2 = 0^\circ$).

На рис. 2 приведены в масштабе рассчитанные на ЭВМ по данным табл.2 траектории движения шарнира М в пределах качания заднего рычага от верхнего мертвого положения ($\varphi_{1\text{вм}}$), до нижнего мертвого положения ($\varphi_{1\text{нм}}$). Кривая 1 при $l_1 = 750\text{мм}$ является граничной, так как $(l_2 + l_3) = (l_1 + l_4)$ и $\varphi_{1\text{нм}} = 180^\circ + \beta_4$.

Таблица 2. Параметры четырехзвенников для определения $T_m = f_1(l_1)$

№	$l_1, \text{мм}$	$l_2, \text{мм}$	$l_3, \text{мм}$	$l_4, \text{мм}$	СМ, мм	$\beta_4, \text{град}$	$l_2 : l_4 : l_1 : l_3$	$\varphi_{1\text{вм}}, \text{град}$	$\varphi_{1\text{нм}}, \text{град}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	750	250	1000	500	900	20	1 : 2 : 3 : 4	96	200
2	800	250	1000	500	900	20	1 : 2 : 3,2 : 4	90	167
3	850	250	1000	500	900	20	1 : 2 : 3,4 : 4	85	154
4	900	250	1000	500	900	20	1 : 2 : 3,6 : 4	80	144
5	950	250	1000	500	900	20	1 : 2 : 3,8 : 4	75	136
6	1000	250	1000	500	900	20	1 : 2 : 4 : 4	69	128

Условиям Грасгофа отвечают остальные пять кривых 2-6. Их анализ показывает, что с увеличением l_1 (при прочих неизменных параметрах) существенно снижается диапазон раздвижности крепи, а форма траектории характеризуется изменением радиуса кривизны и наличием точки перегиба вблизи верхней границы диапазонов раздвижности.

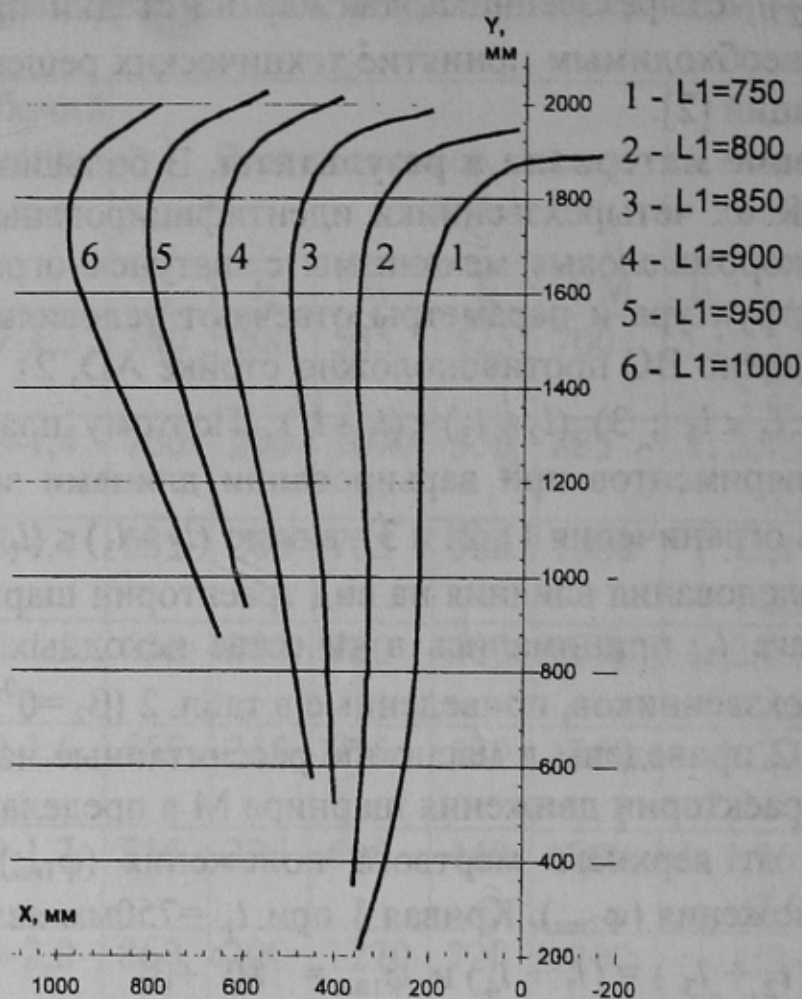


Рис. 2 Влияние на вид траектории точки М изменения длины заднего рычага при неизменных остальных параметрах

Предпочтительным диапазоном изменения длины заднего рычага можно считать $750 < l_1 \leq 850$ мм, так как при этом могут быть сформированы траектории шарнира М, близкие к рациональному виду, путем одновременного увеличения β_4 примерно до 30° .

При исследовании влияния на форму траектории шарнира М длины переднего рычага l_3 ($T_M = f_2(l_3)$) принимались параметры четырехзвенников, приведенные в табл. 3 ($\beta_2 = 0^\circ$).

Соответствующие данным табл.3 пять траекторий шарнира М представлены на рис.3; условиям Грасгофа отвечают кривые 1-4, кривая 5 является предельной для области существования односторонних двухкоромысловых механизмов, так как при $(l_2 + l_3) = (l_1 + l_4)$ $\varphi_{\text{нм}} = 180^\circ + \beta_4$.

Анализ траекторий шарнира М, представленных на рис.3, показывает, что:

Таблица 3. Параметры четырехзвенников для исследования $T_M = f_2(l_3)$

№	$l_1, \text{мм}$	$l_2, \text{мм}$	$l_3, \text{мм}$	$l_4, \text{мм}$	СМ, мм	$\beta_4, \text{град}$	$l_2 : l_4 : l_1 : l_3$	$\varphi_{1\text{ВМ}}, \text{град}$	$\varphi_{1\text{НМ}}, \text{град}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	750	250	800	500	900	20	1 : 2 : 3 : 3,2	72	133
2	750	250	850	500	900	20	1 : 2 : 3 : 3,4	78	142
3	750	250	900	500	900	20	1 : 2 : 3 : 3,6	84	153
4	750	250	950	500	900	20	1 : 2 : 3 : 3,8	90	176
5	750	250	1000	500	900	20	1 : 2 : 3 : 4	96	200

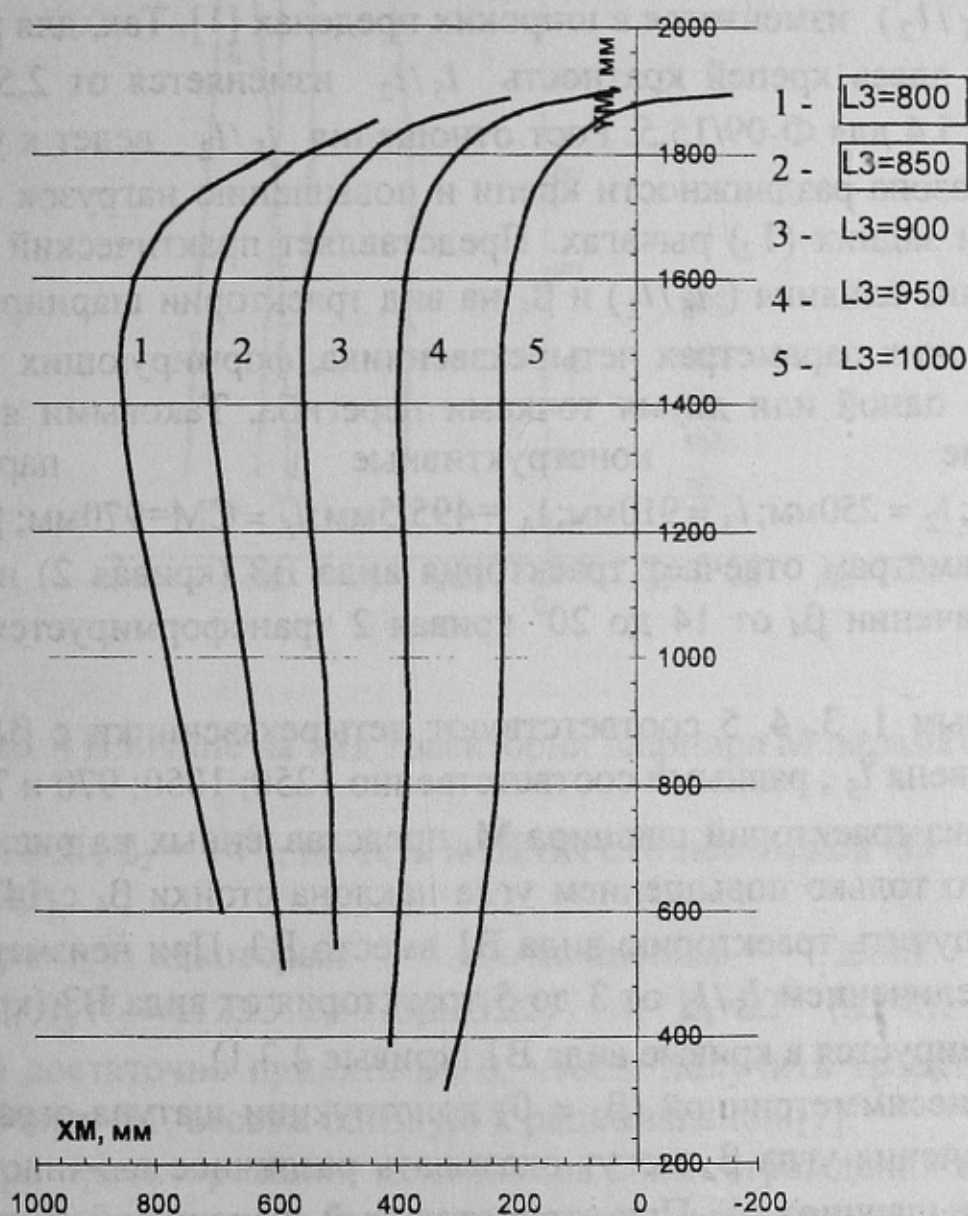


Рис. 3 Траектории точки М при различных длинах переднего рычага

1) изменение длины переднего рычага l_3 в пределах $800 \leq l_3 \leq 1000$ мм не оказывает существенного влияния на величину диапазона раздвижности крепи, кроме предельного случая (кривая 5);

2) с увеличением l_3 от 800 мм до 1000 мм (при прочих неизменных параметрах четырехзвенника) траектория шарнира М постепенно преобразуется от вида В3 (кривые 1-4) к виду В1 (кривая 5);

3) рационального вида траектория может быть получена при $850 \leq l_3 < 1000$ мм и $\beta_4 > 20^\circ$.

Исследования кинематических и силовых параметров ЩМК отечественного и зарубежного производства показали, что отношение $СМ:ВС(l_5/l_2)$ изменяется в широких пределах [1]. Так, для рассматриваемых здесь крепей кратность l_5/l_2 изменяется от 2,5 для Ф-046/13 до 5,4 для Ф-09/15,5. Рост отношения l_5/l_2 ведет к увеличению диапазона раздвижности крепи и повышению нагрузок в передних (T_1) и задних (T_2) рычагах. Представляет практический интерес определение влияния (l_5/l_2) и β_4 на вид траектории шарнира М при $\beta_2=0$ и прочих параметрах четырехзвенника, формирующих траекторию В3 с одной или двумя точками перегиба. Таковыми являются следующие конструктивные параметры: $l_1 = 715$ мм; $l_2 = 250$ мм; $l_3 = 910$ мм; $l_4 = 495,5$ мм; $l_5 = СМ = 970$ мм; $\beta_4 = 14^\circ$. Этим параметрам отвечает траектория вида В3 (кривая 2) на рис.4. При увеличении β_4 от 14 до 20° кривая 2 трансформируется в кривую 4.

Кривым 1, 3, 4, 5 соответствуют четырехзвенники с $\beta_4 = 20^\circ$ и длинами звена l_5 , равными соответственно 1250; 1050; 970 и 750 мм.

Анализ траекторий шарнира М, представленных на рис.4, показывает, что только повышением угла наклона стойки β_4 с 14° до 20° можно получить траекторию вида В1 вместо В3. При неизменном $\beta_4 = 20^\circ$ с увеличением l_5/l_2 от 3 до 5 траектория от вида В3 (кривая 5) трансформируется в кривые вида В1 (кривые 4,3,1).

При несимметричной ($\beta_2 \neq 0$) конструкции шатуна-ограждения знак и значения угла β_2 могут оказывать различное влияние на вид траектории шарнира М₀. При отрицательных значениях β_2 в пределах от -4° до -14° чаще наблюдаются траектории вида В3, но есть случаи и В4 для ЩМК Фазос-073/17 с $\beta_4 = -5,5^\circ$. Положительным значениям β_2 соответствуют, как правило, траектории В1 (Гл.-10/26; $\beta_2 = +8^\circ$ и

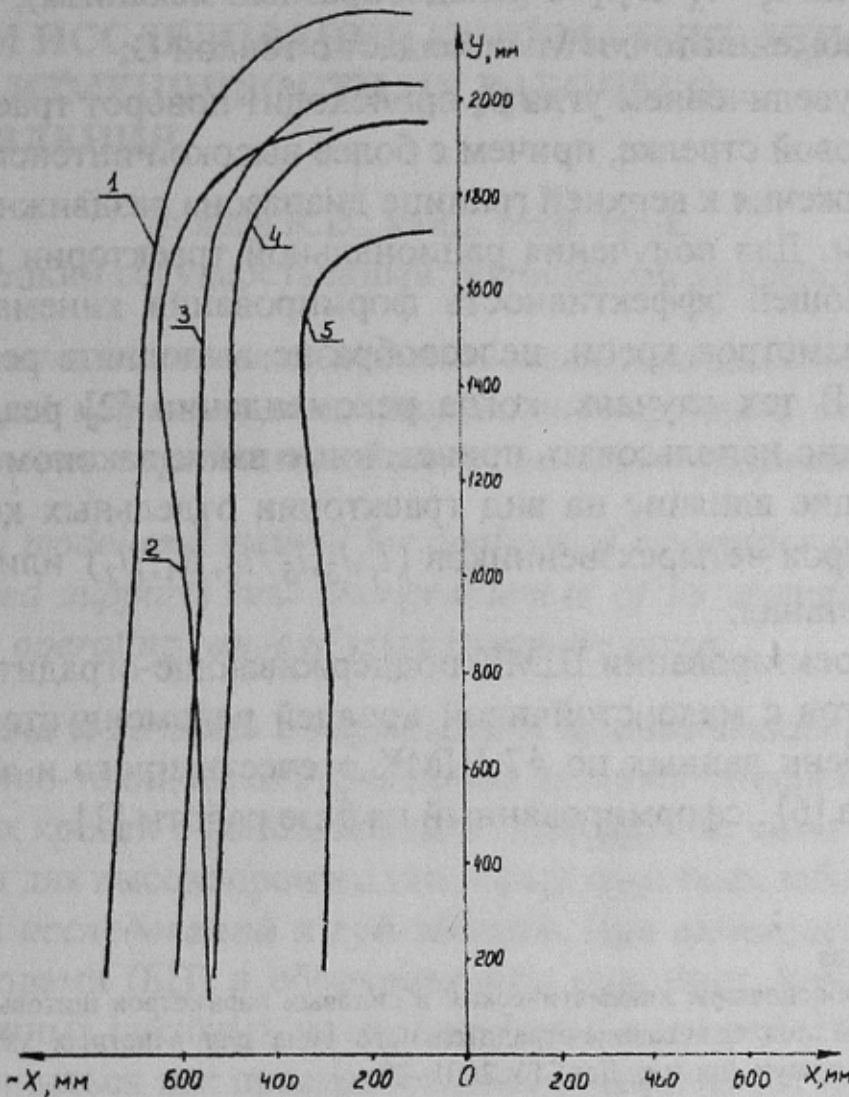


Рис. 4 Влияние на вид траектории шарнира М параметров l_5 и β_4

Фазос-15/31; $\beta_2 = +4^\circ$), но есть и ЩМК с кинематикой ВЗ (Гл. -066/16 с $\beta_2 = +4^\circ$).

При некоторых соотношениях длин звеньев ($l_2 : l_4 : l_1 : l_3 : l_5 = 1 : 2,13 : 2,47 : 3,2 : 3,22$) и $\beta_4 = 22^\circ$ (ЩМК Глиник - 055/15) достаточно принять $\beta_2 = 0$, чтобы получить траекторию шарнира М вида В₁, весьма близкую к рациональной [7].

При проектировании механизмов связи ограждения с основанием и перекрытием на базе шарнирных четырехзвенников полезно также учитывать следующие закономерности:

- 1) если $l_2 + l_3 = l_4 + l_1$, то $\varphi_{1\text{ВМ}} = 76^\circ + \beta_4$, а $\varphi_{1\text{НМ}} = 180^\circ + \beta_4$; это условие соответствует границе областей для односторонних и двухсторонних двухкоромысловых механизмов;

2) если $l_3 = l_5$ и $\beta_2=0$ (лямдообразный механизм), то в нижнем мертвом положении точки М совпадает с точкой D;

3) с увеличением угла β_4 происходит поворот траектории точки М по часовой стрелке, причем с более высокой интенсивностью по мере приближения к верхней границе диапазона раздвижности.

Выводы. Для получения рациональной траектории шарнира М, характеризующей эффективность формирования кинематических и силовых параметров крепи, целесообразно выполнять рекомендации работы [2]. В тех случаях, когда рекомендации [2] реализовать не удастся, можно использовать приведенные выше закономерности, характеризующие влияние на вид траектории отдельных конструктивных параметров четырехзвенников ($l_1, l_3, l_5 / l_2, \beta_4, \beta_2$) или их определенного сочетания.

При проектировании ЦМК поддерживающе-оградительного типа для пластов с малоустойчивой кровлей рекомендуется также использовать банк данных по 47 ЦМК отечественного и зарубежного производства [6], сформированный на базе работы [1].

Список источников

1. Гуляев К.В. Обоснование кинематических и силовых параметров щитовых механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа для очистных забоев. Автореф. дис... канд.техн.наук, Донецк, ДонГТУ, 2001.-20с.
2. Гуляев К.В., Семенченко А.К. Синтез механизмов связи щитовых крепей на базе шарнирного четырехзвенника //Изв. вузов. Горный журнал.-2000.№1.-С.57-63.
3. Гуляев В.Г., Гуляев К.В. Аналитический метод исследования кинематики секций щитовых механизированных крепей //Изв. вузов. Горный журнал.-1997.-№9-10.-С.89-95.
4. Гуляев К.В., Гуляев В.Г. Аналитический метод анализа кинематических и силовых параметров щитовых механизированных крепей //Уголь Украины.-1998.-№5.-С.42-44.
5. Гуляев В.Г., Гуляев К.В. Результаты исследований кинематических и силовых параметров щитовых механизированных крепей //Вибрации в технике и технологиях. РИО НГА Украины, Днепрпетровск.-1998.-№3(7).-С.27-29.
6. Гуляев К.В., Гуляев В.Г., Семенченко А.К. Каталог кинематических паспортов щитовых крепей и их классификация. //Науковий вісник НГА України. Дніпропетровськ.-1999.-№2.-С.63-66.
7. Гуляев К.В., Гуляев В.Г., Плужник В.А. Исследование и совершенствование двухстоечной щитовой крепи для пластов с малоустойчивой кровлей //Научно-техн.журнал «Инженер», №4/2003.-С.113-115.

Рекомендована к опублікуванню проф., д.т.н. Семенченко А.К.