

ИССЛЕДОВАНИЕ ЩИТОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ ДЛЯ ПЛАСТОВ С ТЯЖЕЛОЙ КРОВЛЕЙ

Гуляев В.Г., докт. техн. наук, Гуляев К.В., канд. техн. наук,
Васильев А.Ю. студент,

Донецкий национальный технический университет

Рассмотрены результаты модельных исследований кинематики и внутрисекционных нагрузок крепи 1ДТ. Показано, что принятые кинематические и силовые параметры секций крепи обеспечивают рациональное взаимодействие их с тяжелой кровлей при относительно низких значениях внутрисекционных нагрузок и материалоемкости секций.

The results of model research of the kinematics and intersession loads of the shield 1DT are examined in the paper. The taken kinematic and force parameters of the shield is shown to provide rational static interaction with the heavy shield.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Важной научно-технической задачей для угольной отрасли Украины является создание и эффективное применение щитовых механизированных крепей (ЩМК) поддерживающе-оградительного типа (ПО) для очистных комплексов, обрабатывающих пологонаклонные ($0-35^{\circ}$) пласты мощностью 1,1-2,5 м с различными классами кровлей.

Особенно остро стоит эта задача применительно к ЩМК для пластов с трудно обрушаемой основной и малоустойчивой непосредственной кровлей, через которую реализуется высокое сопротивление крепи при поддержании и управлении тяжелой кровлей в лаве.

По разработкам института Донгипроуглемаш созданы и нашли применение четырехстоечные двухрядные ЩМК ПО-(2+2) типа КД90Т, а также двухстоечные однорядные ЩМК ПО-(0+2) типа ДТ, см. табл. 1.

ЩМК типа КД90Т прошли широкую проверку и доказали свою эффективность в эксплуатации на пластах с тяжелой кровлей [1]. Менее изученные двухстоечные ЩМК типа ДТ [2] требуют проведения теоретических исследований и опытной проверки с целью оценки эксплуатационной нагруженности элементов секций с учетом особенностей силовых и кинематических характеристик крепи.

Таблица 1 – Технические характеристики ЩМК КД90Т и ДТ

Тип	Рабочий диапазон, м	Сопротивление крепи, кН/м ²	Сопротивление секции, кН	Коэф. раздвижки	Усилие передвижки секции, кН	Масса, кг
2КД90Т	1,1-1,5	814-863	4747-5036	1,85	392	8700
3КД90Т	1,35-2,0	847-870	4942-5071	1,95	392	9200
1ДТ	1.1-1,8	705-800	3800-4500	2,05	392	9600
2ДТ	1,45-2,5	730-840	3900-4890	2,13	392	10100

Анализ исследований и публикаций. На кафедре горных машин ДонНТУ для исследования кинематики щитовых крепей, стабильности их рабочего сопротивления и внутрисекционных нагрузок при взаимодействии с боковыми породами разработаны математические модели [3, 4] и выполнены исследования, на базе которых разработаны рекомендации по областям предпочтительного применения двухстоечных и четырехстоечных ЩМК с различными видами кинематических паспортов [5].

Постановка задачи. Задачей данной работы является системный анализ кинематики и силового взаимодействия с боковыми породами двухстоечной однорядной крепи типа ДТ. Идентификация вида кинематического паспорта крепи позволяет определить особенности взаимодействия перекрытий с кровлей и закономерности формирования внутрисекционных нагрузок в рабочем диапазоне раздвижности крепи.

Изложение материала и результаты. Основные данные технической характеристики крепи ДТ приведены в табл. 1. Они удовлетворяют требованиям ГОСТ 28597-90 к параметрам крепей для тяжелых кровель. Предельные значения сопротивлений секций и крепи соответствуют границам ее рабочего диапазона при реализации проектного сопротивления двух стоек $P=2P_c=4600$ кН. Секции комплектуются угловым домкратом стабилизации с сопротивлением растяжению 478кН (при срабатывании предохранительного клапана). Прижатие коротких призабойных консолей к кровле с усилием до 900кН осуществляется рычажным механизмом передачи усилия от гидростоек.

Расчетная схема для анализа кинематики и взаимодействия секции крепи с боковыми породами при двухзонном контактировании перекрытий с кровлей и оснований с почвой представлена на рис. 1.

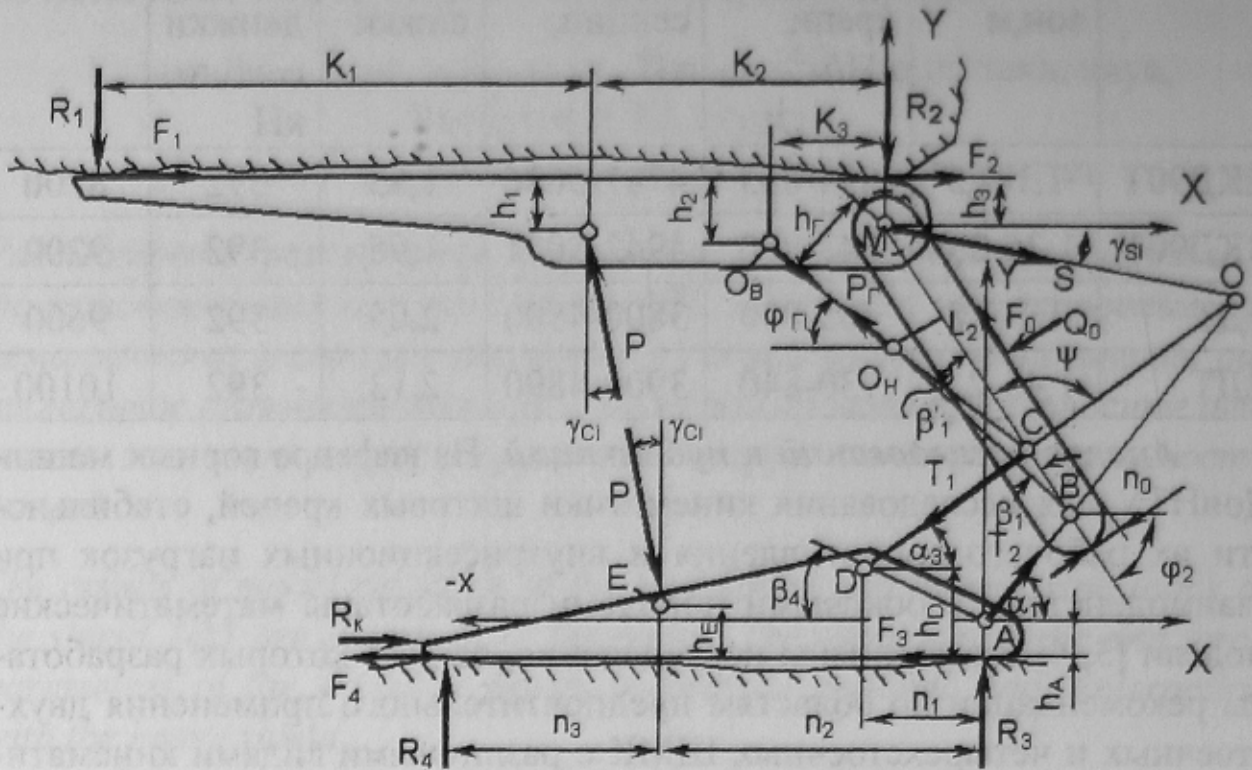


Рисунок 1 – Расчетная схема щитовой крепи ПО-(0+2)

Кинематические характеристики крепи 1ДТ определялись с помощью математической модели «кинематика ЩМК»

$$\bar{Y}_k = \bar{f}_k[\varphi_1; \bar{P}_k(\bar{P}_q, \bar{P}_{kc})], \quad (1)$$

где \bar{Y}_k - выходной вектор, компонентами которого являются: координаты точки $M(X_M, Y_M)$; координаты точки O (мгновенного центра вращения ограждения) (X_0, Y_0); угловые координаты звеньев крепи ($\varphi_2, \varphi_3, \gamma_c, \varphi_4$); угол передачи ψ ; углы γ_m и γ_s , определяющие соответственно положения касательной и нормали к траектории движения точки M ; плечо h_r силы P_r относительно оси шарнира M ;

\bar{f}_k - вектор-функция преобразования входного параметра φ_1 в вектор \bar{Y}_k ;

\bar{P}_k - вектор параметров крепи, компонентами которого являются:

\bar{P}_q - вектор параметров четырехзвенника ($AB=650\text{мм}$, $BC=350\text{мм}$, $CD=920\text{мм}$, $AD=770,73\text{мм}$, $BM=1280\text{мм}$, $\beta_4=20,9^\circ$, $\beta_2=0^\circ$);

\bar{P}_{kc} - вектор конструктивных параметров секции, влияющих на кинематику ($X_E=-1100\text{мм}$, $Y_E=50\text{мм}$, NN_1, MN_1).

Расчет компонентов вектора \bar{Y}_K выполнялся на ЭВМ при изменении параметра φ_1 с шагом 2° . Значения некоторых компонентов вектора \bar{Y}_K , в том числе – координаты точки М, характеризующие вид траектории движения шарнира М в рабочем диапазоне раздвижности $112^\circ \leq \varphi_1 \leq 144^\circ$, приведены в табл. 2 (с интервалом $\Delta\varphi_1=4^\circ$).

Таблица 2 – Кинематические характеристики ЦМК 1ДТ

Высота секции H_c , мм	Угловые координаты, град			Координаты шарнира М		Смещения шарнира М, мм На забой ($\gamma_M > 0$)	γ_M , град	γ_c , град
	φ_1	φ_3	φ_2	Y_{M_3} , мм	X_{M_3} , мм			
1822	112	141,2	45,3	1512	-658	0	13,0	14,6
1745	116	143,9	41,7	1435	-671	+13	9,4	15,9
1663	120	146,8	38,1	1353	-682	+11(+24)	6,8	17,3
1575	124	149,8	34,6	1265	-691	+9(+33)	5,2	18,9
1480	128	153,0	30,9	1170	-698	+7(+40)	4,1	20,7
1376	132	156,5	27,1	1066	-705	+7(+47)	3,6	23,0
1260	136	160,1	22,9	950	-711	+6(+53)	3,4	26,1
1123	140	164,2	18,0	813	-719	+8(+61)	3,3	30,5
947	144	168,9	11,5	637	-729	+10(+71)	2,8	38,3

Из табл.2 видно, что в рабочем диапазоне раздвижности крепи, при снижении высоты секций от 1822мм до 947мм, шарнир М (и перекрытие) смещаются относительно кровли в сторону забоя на 71мм. Следовательно, секции крепи 1ДТ характеризуются кинематическим паспортом вида В1.

Таким образом, при поддержании кровли пластов мощностью 1.1-1.8м, не зависимо от реализуемого диапазона раздвижности крепи конвергенция боковых пород в призабойном пространстве и опускание перекрытий всегда сопровождается проскальзыванием их относительно кровли в сторону забоя. При этом силы трения от перекрытий на кровлю суммируются с горизонтальными составляющими сопротивления наклоненных на забой гидростоек и формируют в нижних слоях непосредственной кровли горизонтально-сжимающие усилия, способствующие сохранению ее целостности и устойчивости.

Как показали исследования кинематики крепи 2ДТ, такие же эксплуатационные свойства присущи и второму типоразмеру крепи ДТ.

Установлений вид кинематического паспорта В1 ЦМК типа ДТ исключает возможность изменения направления сил трения между кровлей и перекрытиями крепи, что обуславливает также снижение внутрисекционных нагрузок: S в шарнире M , T_1 – в передних и T_2 – в задних рычагах четырехзвенного механизма. Это обстоятельство позволяет снизить материалоемкость крепи типа ДТ и обеспечить высокий ресурс ее металлоконструкций.

Исследование процесса силового взаимодействия с боковыми породами крепи 1ДТ при реализации ее проектных силовых параметров выполнено с использованием модели [2]

$$Y_H = f_H[Y_K; P_H(P_{cc}, P_{nc})] \quad (2)$$

Здесь \bar{Y}_H - выходной вектор, компонентами которого являются реакции кровли (R_1, R_2) и почвы (R_3, R_4), силы трения на перекрытии ($F_n = F_1 + F_2$) и основании ($F_{oc} = F_3 + F_4$) и внутрисекционные нагрузки S, T_1, T_2 ;

\bar{f}_H - вектор-функция преобразования вектора \bar{Y}_K в вектор \bar{Y}_H ;

\bar{P}_H - вектор параметров секции крепи, компонентами которого являются: \bar{P}_{cc} - вектор силовых параметров секций ($P = 2P_c = 4600\text{кН}$; $P_r = 478\text{кН}$; $Q_0 = 300\text{кН}$ – нагрузка на ограждение от обрушенных пород);

\bar{P}_{nc} - вектор конструктивных параметров секций, влияющих на нагрузки и учитывающий вид расчетной схемы, рис.1.

Моделирование выполнялось при значениях коэффициентов трения $\mu = \mu_n = \mu_{oc} = 0; 0,15; 0,3; 0,45; 0,6$.

Величины реакций боковых пород и сил трения F_n и F_{oc} , соответствующие значениям $\mu=0,3$, приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Реакции боковых пород и силы трения по кровле и почве

Силы реакций и трения	Значения сил (кН) при $\varphi_1, \text{град.}$								
	112	116	120	124	128	132	136	140	144
$R_1(\varphi_1)$	1134	1127	1120	1110	1099	1083	1058	1017	931
$R_2(\varphi_1)$	3535	3444	3372	3306	3238	3157	3047	2878	2563
$R_3(\varphi_1)$	2154	2253	2337	2415	2491	2570	2652	2733	2779
$R_4(\varphi_1)$	2091	2006	1917	1822	1714	1588	1430	1216	851
$F_n(\varphi_1)$	1318	1299	1284	1272	1258	1239	1210	1160	1058
$F_{oc}(\varphi_1)$	1273	1277	1276	1271	1262	1247	1225	1184	1089

Анализ данных табл. 3 показывает, что: при жестком перекрытии и двухзонном контактировании сопротивления опусканию кровли на границе поддерживаемого пространства (R_2) в 3,11-2,75 раза выше, чем на конце передней консоли (R_1); реакции почвы R_3 и R_4 разнятся в меньшей степени, а с уменьшением высоты секции (мощности пласта) реакция R_4 у переднего носка основания снижается более интенсивно, чем R_3 . Такое распределение реакций почвы и кровли в пределах рабочего диапазона можно считать удовлетворительным при взаимодействии секций крепи с тяжелой кровлей.

Силы трения F_n и F_{oc} изменяются прямопропорционально значениям μ , с уменьшением высоты секции они слабо убывают, а при одних и тех же значениях φ_1 и μ $F_n \approx F_{oc}$.

Графики внутрисекционных нагрузок $S(\varphi_1, \mu)$, $T_1(\varphi_1, \mu)$ и $T_2(\varphi_1, \mu)$ представлены на рис. 2, они свидетельствуют о существенном влиянии на абсолютную величину и знак рассматриваемых нагрузок как высоты секции, так и коэффициента трения.

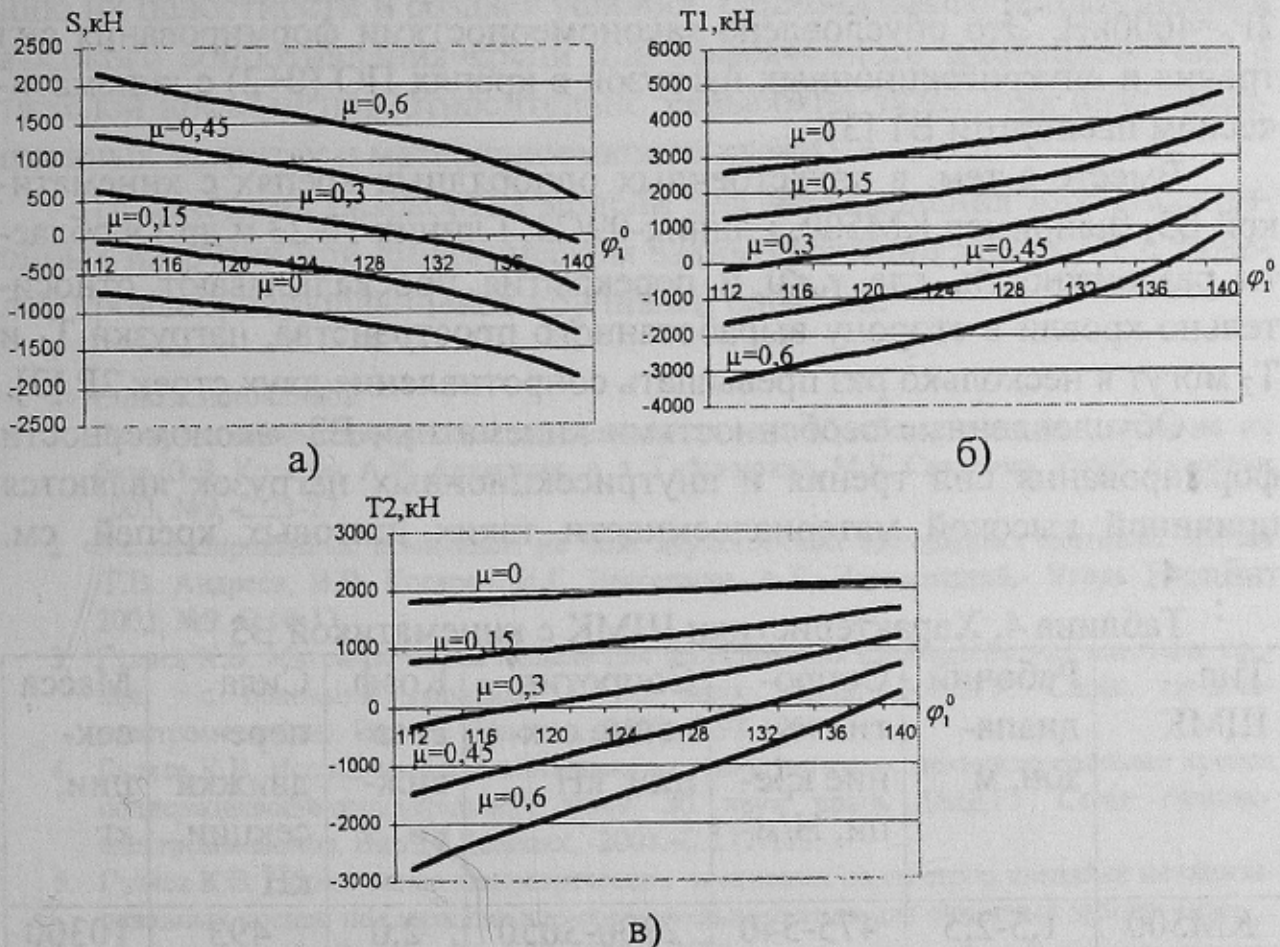


Рисунок 2 – Графики внутрисекционных нагрузок S , T_1 , T_2

Из рис. 2а видно, что отрицательные значения нагрузки S в шарнире M при $\mu = 0,15$ ниже, чем при $\mu = 0$; при уменьшении высо-

ты секции они возрастают. При $\mu=0,3$ в верхней части диапазона раздвижности нагрузка S положительна, а в нижней части диапазона – отрицательна.

Наиболее высокие положительные значения $S_{\max} = 2156 \text{ кН}$ соответствуют значениям $\varphi_1 = 112^\circ$ и $\mu = 0,6$.

Нагрузки T_1 (рис.2б) при $\mu = 0; 0,15$ и $0,3$ характеризуются знаком «плюс» и возрастают с уменьшением высоты секции. При $\mu = 0,45$ нагрузка T_1 в верхней части диапазона раздвижности характеризуется знаком «минус», а при $\mu=0,6$ и $\varphi_1 = 112^\circ$ $T_{1\max} = -3264 \text{ кН}$.

Положительные значения T_2 (рис.2в) снижаются с увеличением коэффициента трения до $\mu = 0,3$, а с уменьшением высоты секции они слабо возрастают. Максимальным отрицательным значениям $T_{2\max} = -2773 \text{ кН}$ соответствуют значения $\varphi_1 = 112^\circ$ и $\mu = 0,6$.

Таким образом, при всех вероятных значениях коэффициентов и сил трения по контуру секции 1ДТ, внутрисекционные нагрузки S , T_1 и T_2 , существенно ниже номинального сопротивления двух стоек $2P_c = 4600 \text{ кН}$. Это обусловлено закономерностями формирования сил трения и внутрисекционных нагрузок в крепях ПО-(0+2) с кинематическим паспортом В1 [3].

Вместе с тем, в двухстоечных однорядных крепях с кинематикой В3, (например КМ500, Глиник-09/23, Глиник 10/23 и др.) в области раздвижности, где $\gamma_m < 0$ и перекрытия проскальзывают относительно кровли в сторону выработанного пространства, нагрузки T_1 и T_2 могут в несколько раз превышать сопротивление двух стоек $2P_c$ [3].

Обусловленные особенностями кинематики В3 закономерности формирования сил трения и внутрисекционных нагрузок являются причиной высокой материалоемкости таких щитовых крепей, см. табл. 4.

Таблица 4. Характеристики ЦМК с кинематикой В3

Тип ЦМК	Рабочий диапазон, м	Сопротивление крепи, Н/м^2	Сопротивление секции, кН	Коеф. Раздвижки	Сила передвижки секции, кН	Масса секции, кг
КМ500	1,5-2,5	475-540	2700-3050	2,0	493	10300
Гл.09/23	1,25-2,2	370-463	2470-3090	2,1	429	10800
Гл.10/23	1,3-2,2	618-765	3896-4818	2,3	429	15828

Сравнение данных табл. 1 и табл.4 показывает, что при практически одинаковых рабочих диапазонах, но значительно меньших значениях сопротивлений, крепи КМ500 и Гл.-09/23 с кинематикой В3 характеризуются большей массой, чем крепи типа ДТ с сопротивлением 705-840кН/м² и кинематикой В1, а масса секций крепи Гл.10/23 (2x2650) в 1.56 раза превышает массу секций ЩМК 2ДТ при практически равных сопротивлениях их секций.

Выводы и рекомендации. Кинематические характеристики ЩМК ПО-(0+2) и силы трения по внешнему контуру секций оказывают существенное влияние на процесс силового взаимодействия крепи с боковыми породами и на формирование внутрисекционных нагрузок, определяющих необходимую по условию прочности материалоемкость крепи.

Кинематические и силовые характеристики щитовой крепи типа 1ДТ обуславливают формирование горизонтальных сжимающих усилий на породы непосредственной кровли, что способствует сохранению их целостности и создает условия рационального использования высокого сопротивления крепи для эффективного взаимодействия с тяжелой кровлей при относительно невысоких значениях внутрисекционных нагрузок и материалоемкости крепи.

Необходима разработка модели для исследования внутрисекционных нагрузок при динамическом взаимодействии крепи ДТ с тяжелой кровлей, обрушающейся крупными блоками.

Список источников

1. Четырехстоечные двухрядные щитовые крепи типа «Донбасс» и мехкомплексы на их базе /В.В. Косарев, А.И. Архипчик, А.А. Гайсинович, М.К. Савченко. Уголь Украины, 2003, №9, -С.23-27.
2. Механизированные комплексы на базе двухстоечных однорядных щитовых крепей /Г.В. Андреев, И.В. Косарев, И.Г. Вассерман, А.Л. Непомнящий.- Уголь Украины, 2003, №9.-С.10-13.
3. Гуляев К.В. Математическая модель для исследования взаимодействия щитовых крепей с боковыми породами // Зб. наук. праць ДонДТУ. Серія: гірничо-електромеханічна. Вип.16. Донецьк, -2000.-С.92-101.
4. Гуляев К.В. Исследование и совершенствование щитовых механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа// Зб. наук. праць ДонДТУ. Серія: гірничо-електромеханічна. Вип.27. Донецьк, -2001.-С.177-193.
5. Гуляев К.В. Обоснование кинематических и силовых параметров щитовых механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа для очистных забоев. Дис. ... канд. техн. наук, Донецк, ДонНТУ. -2001.-262с.