

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЩИТОВЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕ-ОГРАДИТЕЛЬНОГО ТИПА

Гуляев К.В., аспирант,
Донецкий государственный технический университет

Рассмотрены математическая модель и результаты модельных исследований щитовых крепей. Предложен метод совершенствования их параметров с целью повышения качества выполняемых крепью рабочих процессов

Mathematical model and results of modeling researches of shield supports are studied. The method of perfection of their parameters with the purpose of increase of quality of working processes performed by the support is offered

При разработке новых и модернизации ранее созданных щитовых механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа (ЩМК ПО) необходимо выполнять исследования рабочих процессов в системах "ЩМК - боковые породы" ("ЩМК-БП"). Такие исследования целесообразно проводить также в отношении приобретаемых по импорту ЩМК для проверки соответствия их параметров наметаемым условиям эксплуатации, поскольку ошибочное решение связано с большими финансовыми и трудовыми затратами.

Качество рабочих процессов в системе "ЩМК-БП" зависит от многих факторов, но, прежде всего, от степени соответствия свойствам боковых пород и проявлениям горного давления силовых и кинематических параметров ЩМК. Однако до последнего времени важный фактор влияния кинематических характеристик крепи на эффективность рабочих процессов недооценивался.

Оценку качества рабочих процессов в рассматриваемых системах предлагается производить с использованием двух групп взаимосвязанных критериев. К первой группе, согласно рекомендациям Ю.А.Коровкина (ИГД им.А.А.Скочинского) относятся:

$\eta_{пк}$ - коэффициент эффективности поддержания призабойной кровли в области максимально возможного активного расслоения пород, определяемый как отношение приведенного сопротивления призабойной консоли к соответствующей составляющей внешней на-

грузки (рекомендуемые значения критерия : $0.8 < \eta_{пк} < 1$);

$\eta_{ук}$ - коэффициент эффективности управления кровлей, определяемый как отношение общего проектного значения сопротивления крепи к необходимому (рекомендуемые значения критерия: $0.8 < \eta_{ук} < 1$);

Θ - коэффициент рациональности конструктивной схемы секции, оценивающий в процентах степень несовпадения координат точек приложения к перекрытию равнодействующих сопротивления секции и внешней нагрузки (рекомендуемые значения критерия: $0 < \Theta < 6\%$).

Ко второй группе критериев предлагается отнести:

- кинематический паспорт ЦМК - вид траектории точки $M(M_0)$, совпадающей с осью шарнира, соединяющего перекрытие с ограждением (далее шарнир M), обуславливающий закономерности формирования "внешних" и внутрисекционных нагрузок в системе "ЦМК-БП";

- "внешние" нагрузки - реакции кровли и почвы, включая силы трения, характеризующие особенности силового взаимодействия с боковыми породами ЦМК с различными видами кинематических паспортов;

- внутрисекционные нагрузки, отражающие влияние кинематики на характер и уровень нагруженности элементов металлоконструкций крепей в рабочих диапазонах их раздвижности при реализации проектных силовых параметров.

Рациональными критериями второй группы будем считать такие, при которых обеспечивается отсутствие перемены направления сил трения по внешнему контуру секции крепи, отрицательно влияющих на устойчивость непосредственной кровли, и сопутствующих им скачкообразных изменений внутрисекционных нагрузок. Устранение скачков нагрузок в системе позволяет повысить устойчивость непосредственной кровли и снизить материалоемкость секций крепи при тех же значениях сопротивления и надёжности [1].

Будем полагать, что основные силовые параметры исследуемой ЦМК (удельное рабочее сопротивление, номинальное сопротивление секции, сопротивление на конце призабойной консоли и др.) удовлетворяют требованиям ТЗ и ГОСТ 28597-90. Считаем также, что для исследуемой ЦМК выполнена проверка на соответствие критериям первой группы.

Рассмотрим требования и допущения, принятые при разработке

математических моделей для исследования рабочих процессов в системах "ЩМК-БП" и оценке их качества критериями второй группы. Как известно, взаимодействие ЩМК с боковыми породами представляет собой случайный многофакторный процесс, обусловленный сложными взаимосвязями геомеханических, технологических и гидромеханических явлений в геотехнической системе "горный массив - оборудование комплексно-механизированного очистного забоя". Формирование реакций кровли и почвы при первоначальном распоре крепи и в процессе её дальнейшего взаимодействия с боковыми породами при их конвергенции - также случайные процессы, обусловленные, в частности, случайными условиями контактирования перекрытий крепи с кровлей при наличии между ними породно-угольной подушки. Разработка и использование таких стохастических моделей оправданы, по нашему мнению, для исследований методом конечных элементов упруго-деформированного состояния боковых пород при изучении геомеханических процессов.

Применительно к задаче установления основных закономерностей формирования "внешних" и внутрисекционных нагрузок при взаимодействии с боковыми породами секций ЩМК ПО-[2+2] и ПО-[0+2] с различными видами кинематических паспортов, можно применить более простые модели, удовлетворяющие следующим требованиям:

1) модель должна быть детерминированной применительно к характерным режимам работы крепи и в главном достаточно адекватной реальной системе по кинематическим параметрам и по условиям контактирования с боковыми породами;

2) модель должна достоверно отражать обусловленные особенностями кинематики и конструктивной схемой секций закономерности формирования "внешних" и внутрисекционных нагрузок при принятых характерных условиях контактирования секций крепи с боковыми породами;

3) модель должна обеспечивать возможность решения многовариантных задач анализа и синтеза ЩМК с использованием ЭВМ путём варьирования конструктивными и силовыми параметрами крепи, а также значениями коэффициентов трения.

С учётом симметричности секций относительно их продольных осей приняты плоские расчётные схемы и разработаны математические модели взаимодействия с боковыми породами ЩМК ПО-[0+2] (опубликована в работе [2]) и ПО-[2+2] при следующих общих до-

пущениях:

- смещения шарнира $M(M_0)$ и перекрытия относительно кровли при неподвижном основании полностью определяются раздвижностью гидростоек и конструктивными параметрами шарнирного четырёхзвенника как идеального механизма;

- маловероятными и весьма небольшими смещениями относительно почвы номинально неподвижного основания секции, при конвергенции пород, пренебрегаем и полагаем реакцию связи $R_k=0$;

- схемы контактирования жёсткого перекрытия или (базовой его части с кровлей) и основания с почвой приняты двухзонными (двухточечными), см.рис.1.

В качестве наиболее представительных режимов работы крепи рассматривается режим потенцирования ею работы горного давления при реализации проектных силовых параметров. Таким образом, приняты следующие условия нагружения для исследования влияния угла поворота φ_1 заднего рычага АВ (высоты секции) на формирование "внешних" и внутрисекционных нагрузок ($\varphi_{1i}=180^\circ-\alpha_{1i}$):

- в пределах рабочих диапазонов раздвижности гидростойки развивают постоянное рабочее сопротивление, соответствующее давлению начального распора (давлению податливости стоечного предохранительного клапана);

- угловые гидродомкраты развивают постоянное сопротивление их раздвижке, соответствующее давлению начального распора (или давлению настройки предохранительного клапана);

- сила P_k на на конце призабойной консоли принимается постоянной (по технической характеристике крепи);

- распределенная нагрузка от обрушенных пород на ограждение заменяется эквивалентной сосредоточенной силой $Q_0=(0.1-0.3)$ от номинального рабочего сопротивления секции, а точка её приложения - по середине длины ограждения.

Скручивающими нагрузками на перекрытие относительно основания пренебрегаем.

Для исследования влияния коэффициента трения на "внешние" и внутрисекционные нагрузки в системе "ЩМК-БП" приняты четыре его значения: 0.15, 0.3, 0.45, 0.6. При этом нагрузки в системе при $\mu > 0,6$ можно рассматривать как предельные при переходе системы в заблокированное состояние (например, упор перекрытия в уступ кровли).

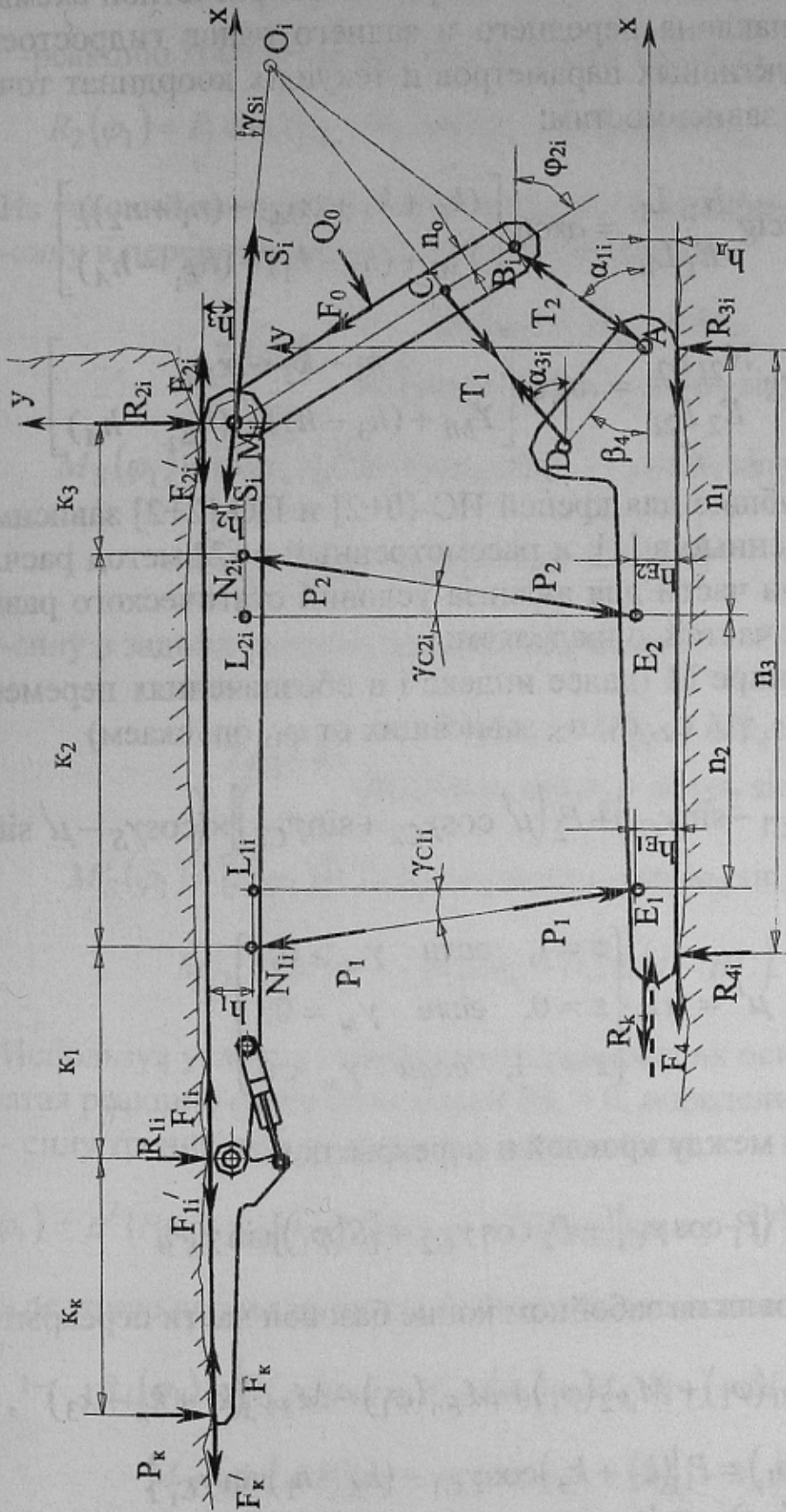


Рисунок 1 – Расчетная схема секции ІЩМК ПО – [2+2]

Математическая модель для исследования взаимодействия с боковыми породами ЦМК с секциями ПО-[2+2] разработана на базе расчетной схемы, представленной на рис. 1. Из расчетной схемы следует, что углы наклона переднего и заднего рядов гидростоек как функции конструктивных параметров и текущих координат точки М определяются по зависимостям:

$$\gamma_{C1_i} = \arctg \frac{N_{1i} L_{1i}}{E_1 L_{1i}} = \arctg \left[\frac{(k_2 + k_3 + |x_{Mi}| - (n_1 + n_2))}{Y_{Mi} + (h_3 - h_1) - (h_{E_1} - h_A)} \right] \quad (1)$$

$$\gamma_{C2_i} = \arctg \frac{N_{2i} L_{2i}}{E_2 L_{2i}} = \arctg \left[\frac{n_1 - k_3 - |x_{Mi}|}{Y_{Mi} + (h_3 - h_2) - (h_{E_2} - h_A)} \right] \quad (2)$$

Используя общие для крепей ПО-[0+2] и ПО-[2+2] зависимости (1) - (15), приведенные в [1], и рассмотренный в [2] метод расчленения секций на три части для анализа условий статического равновесия их отдельных частей, определяем:

-силу в шарнире М (далее индекс i в обозначениях переменных $X_M, Y_M, \gamma_{C1}, \gamma_{C2}, \gamma_S, \gamma_M, \varphi_2, \alpha_1, \alpha_2$, зависящих от φ_1 , опускаем)

$$S(\varphi_1) = \left[P_1 (\mu' \cos \gamma_{C1} - \sin \gamma_{C1}) + P_2 (\mu' \cos \gamma_{C2} + \sin \gamma_{C2}) \right] \times (\cos \gamma_S - \mu' \sin \gamma_S)^{-1} \quad (3)$$

где

$$\mu' = \mu z, \begin{cases} z = 1, & \text{если } \gamma_M > 0; \\ z = 0, & \text{если } \gamma_M = 0; \\ z = -1, & \text{если } \gamma_M < 0. \end{cases} \quad (4)$$

-силу трения между кровлей и перекрытием

$$F_n(\varphi_1) = \mu' \{ P_1 \cos \gamma_{C1} + P_2 \cos \gamma_{C2} + [S(\varphi_1)] \sin \gamma_S \}, \quad (5)$$

-реакцию кровли на забойном конце базовой части перекрытия

$$R_1(\varphi_1) = [M_{P1}(\varphi_1) + M_{P2}(\varphi_1) + M_{Fn}(\varphi_1) - M_{Pk}] (k_1 + k_2 + k_3)^{-1}, \quad (6)$$

где

$$M_{P1}(\varphi_1) = P_1 [(k_2 + k_3) \cos \gamma_{C1} - (h_3 - h_1) \sin \gamma_{C1}] \quad (7)$$

$$M_{P2}(\varphi_1) = P_2 [k_3 \cos \gamma_{C2} + (h_3 - h_2) \sin \gamma_{C2}] \quad (8)$$

$$M_{Fn}(\varphi_1) = [F_n(\varphi_1)]h_3; \quad (9)$$

$$M_{Pk} = P_k(k_k + k_1 + k_2 + k_3); \quad (10)$$

-реакцию кровли на завальном конце базовой части перекрытия

$$R_2(\varphi_1) = P_1 \cos \gamma_{C1} + P_2 \cos \gamma_{C2} + [S(\varphi_1)] \sin \gamma_S - R_1(\varphi_1) - P_k. \quad (11)$$

Из условий статического равновесия ограждения определяем:

-силу в передних рычагах четырехзвенника

$$T_1(\varphi_1) = \frac{M_S(\varphi_1) + M_{Q_0} + M_{F_0}}{BC(\sin \varphi_2 \cos \alpha_3 + \cos \varphi_2 \sin \alpha_3)}, \quad (12)$$

где $M_S(\varphi_1) = [S(\varphi_1)] [BM(\sin \varphi_2 \cos \gamma_S - \cos \varphi_2 \sin \gamma_S)]; \quad (13)$

$$M_{Q_0} + M_{F_0} = Q_0(\mu' n_0 + 0,5BM); \quad (14)$$

-силу в задних рычагах четырехзвенника

$$T_2(\varphi_1) = \frac{M'_S(\varphi_1) + M'_{Q_0} + M'_{F_0}}{BC(\sin \varphi_2 \cos \alpha_1 + \cos \varphi_2 \sin \alpha_1)}, \quad (15)$$

где $M'_S(\varphi_1) = [S(\varphi_1)] [CM(\sin \varphi_2 \cos \gamma_S - \cos \varphi_2 \sin \gamma_S)]; \quad (16)$

$$M'_{Q_0} + M'_{F_0} = Q_0(\mu' n_0 + 0,5BM - BC). \quad (17)$$

Используя условия статического равновесия основания секции, и полагая реакцию связи его с базой $R_k = 0$, определяем:

- силу трения между почвой и основанием

$$F_{oc}(\varphi_1) = \mu' \{P_1 \cos \gamma_{C1} + P_2 \cos \gamma_{C2} + [T_1(\varphi_1)] \sin \alpha_3 - [T_2(\varphi_1)] \sin \alpha_1\}, \quad (18)$$

- реакцию почвы вблизи забойного носка основания

$$R_4(\varphi_1) = [M_{P1}(\varphi_1) + M_{P2}(\varphi_1) + M_{T1}(\varphi_1) + M_{F_{oc}}(\varphi_1)] n_3^{-1}, \quad (19)$$

где $M_{P1}(\varphi_1) = P_1 [(n_1 + n_2) \cos \gamma_{C1} - (h_{E1} - h_A) \sin \gamma_{C1}]; \quad (20)$

$$M_{P2}(\varphi_1) = P_2 [n_1 \cos \gamma_{C2} + (h_{E2} - h_A) \sin \gamma_{C2}]; \quad (21)$$

$$M_{T_1}(\varphi_1) = [T_1(\varphi_1)] [AD(\sin \beta_4 \cos \alpha_3 + \cos \beta_4 \sin \alpha_3)]; \quad (22)$$

$$M_{F_{OC}}(\varphi_1) = [F_{OC}(\varphi_1)] h_A; \quad (23)$$

-реакцию почвы на завальном конце основания (под шарниром А)

$$R_3(\varphi_1) = P_1 \cos \gamma_{C1} + P_2 \cos \gamma_{C2} + [T_1(\varphi_1)] \sin \alpha_3 + [T_2(\varphi_1)] \sin \alpha_1 - R_4(\varphi_1). \quad (24)$$

Зависимости (1)-(24) и приведенные в [1] формулы (1)-(15) для определения кинематических характеристик щитовых крепей являются алгоритмом программы анализа рабочего процесса взаимодействия с боковыми породами ЩМК с секциями ПО-[2+2].

При решении задач анализа вводятся в качестве исходных данных:

-силовые параметры: $P_1=2P_{C1}$ - сила, развиваемая двумя стойками переднего ряда, $P_2=2P_{C2}$ - сила, развиваемая двумя стойками заднего ряда, P_K - сила активного взаимодействия с кровлей переднего конца автономно управляемой (или поджимаемой гидростойками через рычажную систему) консоли, шарнирно связанной с базовой частью перекрытия (в последнем случае сила P_1 уменьшается в соответствии с параметрами конкретной ЩМК); Q_0 - результирующая нагрузка от обрушенных пород на ограждение.

- конструктивные параметры: АВ, ВС, CD, AD, BM, CM, $\beta_2, \beta_4, k_k, k_1, k_2, k_3, h_1, h_2, h_3, n_1, n_2, n_3, h_{E1}, h_{E2}, h_A$;

- значения коэффициентов трения в зонах контактов с породами перекрытия (μ_n), ограждения (μ_0), основания (μ_{oc}).

Для рабочих диапазонов раздвижности определяются на ПЭВМ:

- полный комплект кинематических характеристик и показатели стабильности рабочего сопротивления ЩМК с секциями ПО-[2+2];

- исследуемые "внешние" и внутрисекционные нагрузки, формирующиеся при взаимодействии с вмещающими породами секций крепи с конструктивной схемой ПО-[2+2].

На печать выводятся для анализа результаты исследований в виде числовых массивов или графиков, характеризующих закономерности формирования нагрузок в системе "ЩМК - БП", обусловленные особенностями кинематических паспортов исследуемых ЩМК, их силовыми и конструктивными параметрами, а также значениями ко-

эффициентов трения.

Результаты моделирования взаимодействия с боковыми породами секций крепи ЗКД90 (с поджимными консолями при $R_k = 248\text{кН}$) иллюстрируются приведенными на рис. 2 графиками "внешних" и внутрисекционных нагрузок в рабочем диапазоне обслуживаемых пластов 1.35 - 2.0 м (границы рабочего диапазона отмечены вертикальными линиями).

Из рис. 2 следует, что в рабочем диапазоне раздвижности крепи ЗКД90 можно выделить две области:

-область 1: $94^\circ < \varphi_1 < 112^\circ$ ($m = 2.0 - 1.72$ м), где $\gamma_M > 0$ и горизонтальные компоненты смещений шарнира М и перекрытия направлены к забою (в кровле формируются напряжения сжатия);

-область 2: $112^\circ < \varphi_1 < 131^\circ$ ($m = 1.72 - 1.34$ м), где $\gamma_M < 0$ и перекрытие проскальзывает относительно кровли в сторону выработанного пространства, формируя в ней напряжения растяжения.

На границе областей 1 и 2 при $\varphi_1 = \varphi_{1к} = 111.5^\circ$ угол γ_M , силы трения $F_{п}$ и $F_{ос}$ и внутрисекционные нагрузки S , T_1 , T_2 меняют свои знаки на противоположные, при этом по модулю указанные нагрузки в обеих областях изменяются незначительно.

Анализ графиков сил $F_{п}$ и S показывает, что в пределах обеих областей эти силы близки по модулю и претерпевают несущественное изменение, оставаясь в пределах около 0.3 от суммарного рабочего сопротивления четырех гидростоек.

Нагрузки в передних T_1 и задних T_2 рычагах монотонно снижаются с уменьшением высоты секции. Максимальные их значения при $\mu=0.3$ соответствуют максимальной высоте секции (при этом $T_1 > T_2$), но не превышают $P = P_1 + P_2$, а при минимальной высоте секции $T_1 \sim T_2 \sim 0.3P$.

Как следует из результатов моделирования, наиболее эффективно применение ЗКД90 на пластах мощностью 1.72 - 2.0 м. Здесь силовое взаимодействие крепи с кровлей категорий B_1 и B_2 способствует повышению ее устойчивости, а уровень внутрисекционных нагрузок не превышает допустимых при реализации проектных силовых параметров.

При эксплуатации крепи ЗКД90 в области 2 ее рабочего диапазона раздвижности, внутрисекционные нагрузки S , T_1 , T_2 несколько ниже, чем в области 1. При этом, однако, может снижаться эффективность силового взаимодействия крепи с неустойчивой непосредственной кровлей. В то же время, как показывает опыт эксплуатации

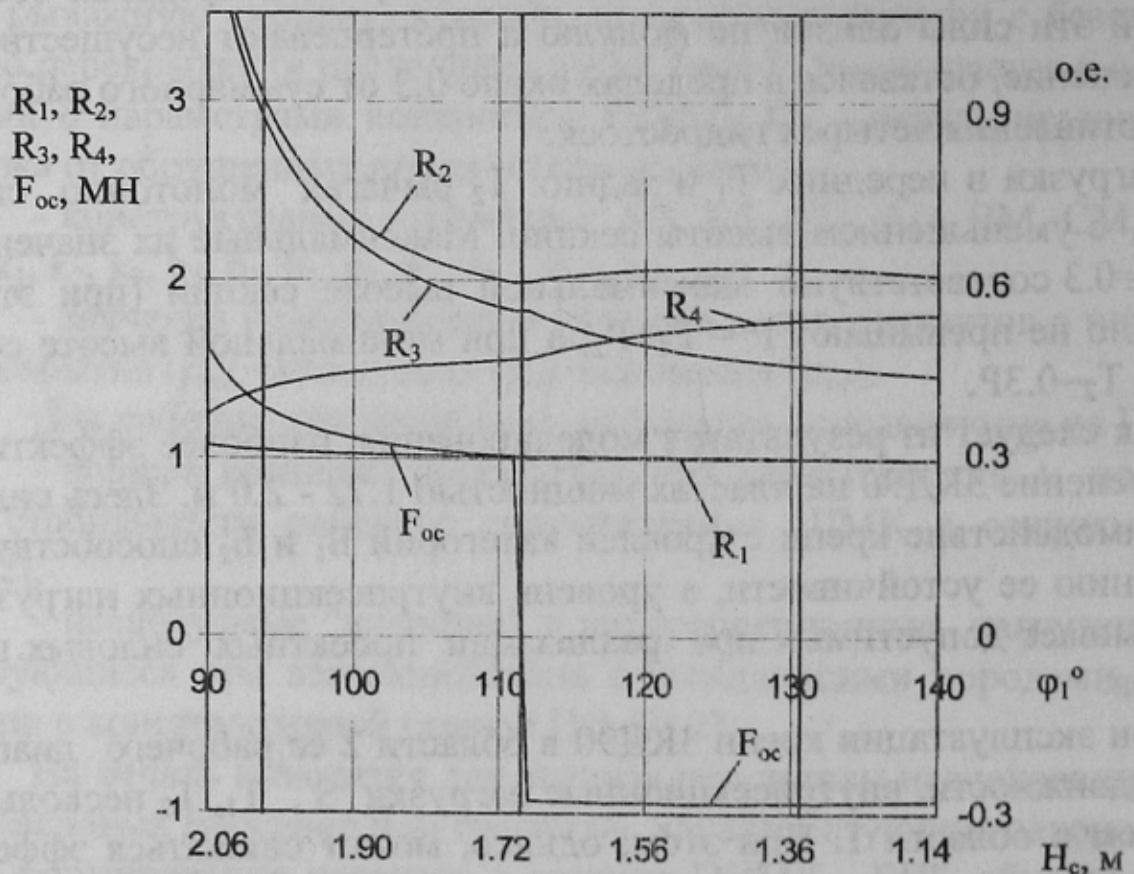
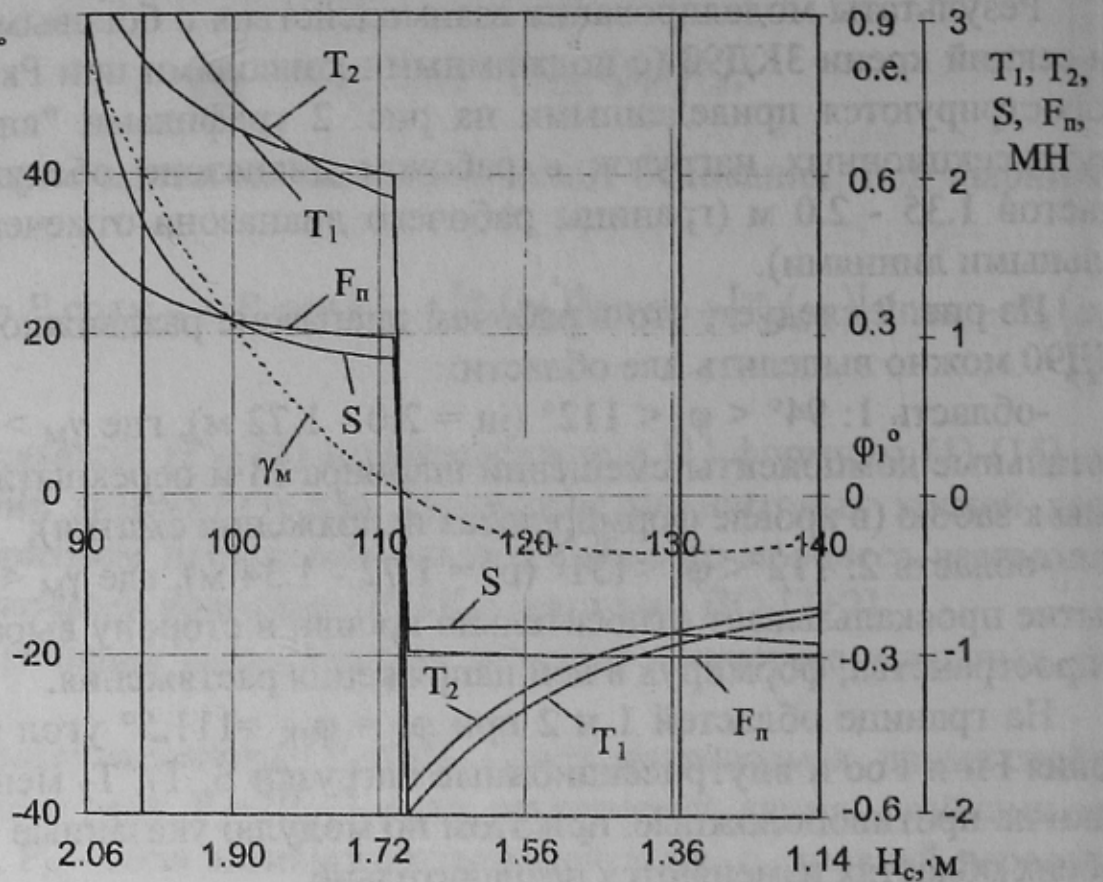


Рисунок 2 – Характеристики взаємодіяння з боковими породами ШМК ЗКД90 в діапазоні її роздвигності ($\mu = 0,3$)

ЩМК КД90, этого, как правило, не наблюдается. Это обстоятельство можно объяснить формированием на поджимных консолях высоких усилий по поддержанию кровли непосредственно в призабойном пространстве, эффект которых в зоне наиболее вероятного расслоения пород, по-видимому, превышает отрицательный эффект, обусловленный формированием напряжений растяжения в кровле при проскальзывании перекрытий относительно кровли в сторону выработанного пространства.

Взаимодействие перекрытий крепи ЗКД90 с кровлей характеризуется незначительным снижением реакции R_2 в области 1 и практически ее постоянством в области 2. При этом в обеих областях сохраняется соотношение $R_2:R_1 \sim 2:1$, что характеризует крепь КД90 как хорошо контролирующую конвергенцию пород и развивающую на задней кромке перекрытия сопротивление, достаточное для разлома и обрушения породных консолей в выработанное пространство.

Характер изменения реакций кровли и почвы и соотношение между ними, см. рис. 2, позволяет прогнозировать сохранение устойчивости секций при работе на пластах мощностью, соответствующей обоим областям рабочего диапазона раздвижности. Небольшое превышение реакцией R_4 реакции R_3 при работе на пластах мощностью 1.35-1.5 м может приводить к вдавливанию переднего носка основания в слабые породы почвы. Однако, как показывает опыт эксплуатации, при наличии в крепях КД90 механизма подъема переднего носка основания, обеспечивается эффективная работа и на слабых почвах.

Характеристики силового взаимодействия с боковыми породами ЩМК 2КД90 с АУК приведены на рис. 3 (секция с автономно гидрорегулируемой консолью, $P_k=144$ кН). Границей двух областей рабочего диапазона 1.1 - 1.56 м служит значение $\varphi_{lk} = 117.7^\circ$ ($m = 1.34$ м). Области 1 соответствует мощность пластов 1.56-1.35 м, а области 2 - пласты мощностью 1.33 - 1.10 м.

Сравнительный анализ графиков, представленных на рис. 2 и 3, позволяет установить, что отмеченные выше для крепи ЗКД90 закономерности формирования нагрузок в системе "ЩМК-БП", полностью относятся и к крепи 2КД90. Конструкция передней консоли и способ формирования усилия P_k не оказывают принципиального влияния на формирование нагрузок в исследуемой системе.

Недостатком ЩМК ПО-[2+2] с кинематическим паспортом В3а является наличие критических положений звеньев крепи и соответствующих им мощностей угольных пластов, при которых меняется знак

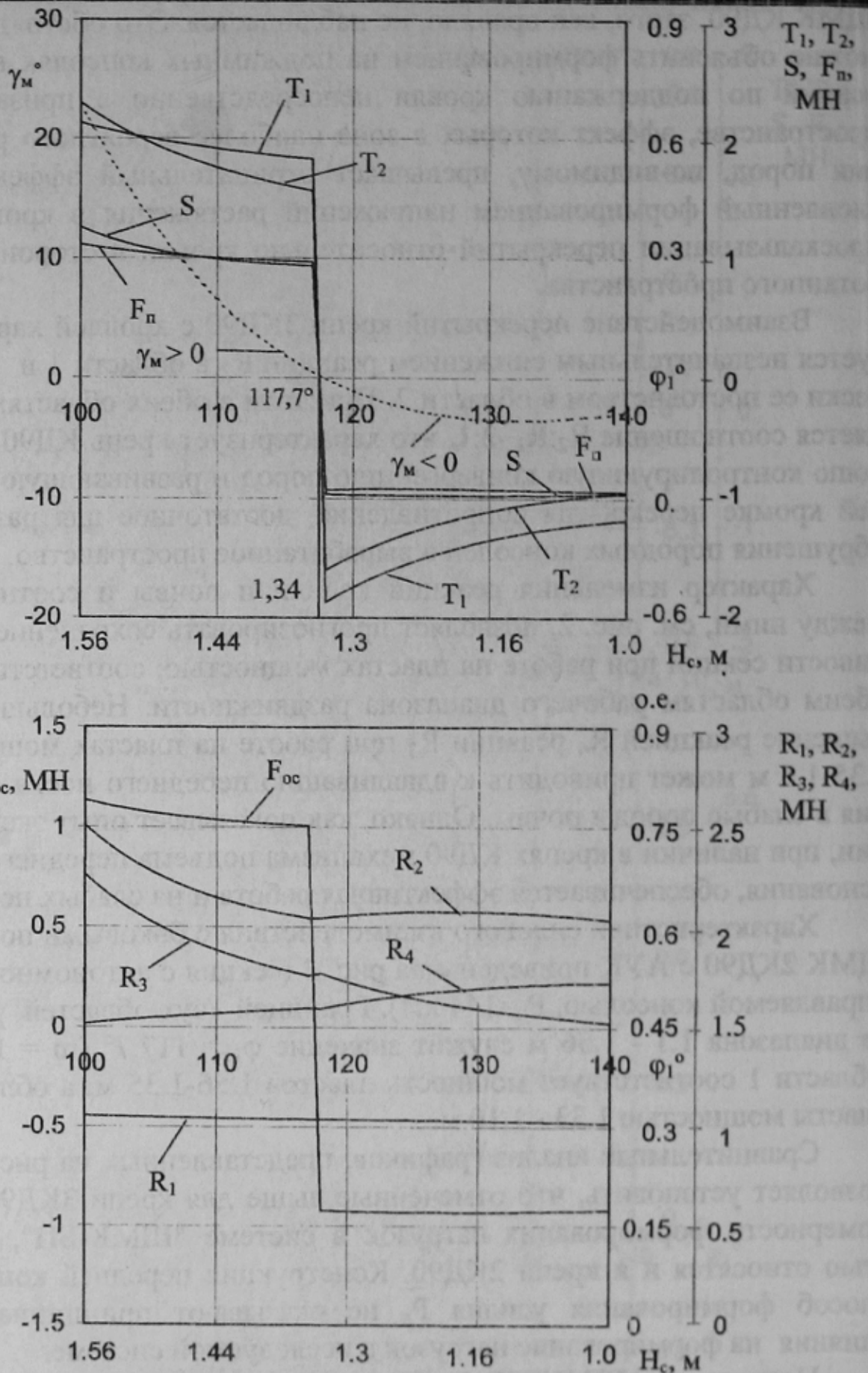


Рисунок 3 – Характеристики силового взаємодія ЦМК 2КД90 с АУК с боковими породами в діапазоні $e\delta$ роздвигності при коефіцієнті тертя $\mu = 0,3$

сил трения. При работе крепи на пластах такой мощности происходит импульсное изменение нагрузок в системе "ЩМК-БП", что может отрицательно влиять на устойчивость кровли и надежность крепи. В то же время, при скачкообразном изменении сил трения, внутрисекционные нагрузки в крепях ПО-[2+2] значительно ниже, чем в ЩМК ПО-[0+2] при одинаковых кинематических паспортах. Так, амплитуда T_1 в крепи КД90 составляет примерно $1.1 P$, в то время как для крепи КМ500 $T_1 = 1.7P$ при $\mu = 0.3$, а при $\mu = 0.6$ приращение $T \sim 3.4P$ [2].

Таким образом, по критерию формирования внутрисекционных нагрузок ЩМК ПО-[2+2] ВЗ отличаются значительно меньшим уровнем нагруженности по сравнению с таковым для ЩМК ПО-[0+2] ВЗ при одинаковых и более высоких значениях сопротивлений секций ПО-[2+2] и крепи в целом.

Отмеченные для ЩМК ЗКД90 и 2КД90 закономерности рабочих процессов взаимодействия их с боковыми породами можно распространить и на другие ЩМК ПО-[2+2] с кинематическим паспортом В3а.

Анализ результатов исследования взаимодействия с боковыми породами крепей КД90 - типичных представителей ЩМК ПО-[2+2], позволил выявить важные особенности силового взаимодействия четырехстоечных секций с V-образным расположением рядов гидростоек. Установлено, что при выполнении условий $P_1 = P_2$ и $\gamma_{c1} = \gamma_{c2}$ горизонтальные составляющие рабочих сопротивлений рядов гидростоек взаимно уравниваются, а горизонтальная составляющая сопротивлений (отпора) секции в целом определяется в основном силой трения $F_{\text{т}}$. Указанное обстоятельство и отсутствие в секциях ПО-[2+2] угловых гидродомкратов обуславливают существенное снижение нагрузок S в шарнире M , а, следовательно, и нагрузок T_1 и T_2 . Это одно из важных достоинств четырехстоечных секций с V-образным расположением рядов гидростоек частично реализуется и при отличающихся нагрузках переднего и заднего рядов стоек, а также при $\gamma_{c1} > \gamma_{c2}$. Указанная особенность формирования нагрузок обусловлена конструктивной схемой секций ПО-[2+2], см. рис. 1 и вытекает из анализа зависимостей (3) - (15).

Вторым важным достоинством таких крепей, с поджимной консолью от гидростоек переднего ряда (КД80, КД90), является создание уже на стадии первоначального распора высокого (до 144 кН) активного усилия на конце передней консоли, что существенно снижает вероятность расслоения и вывалов породы непосредственной кровли

в области наиболее вероятного их появления (при жестком замыкании рычажной системы усилие $R_k=675\text{кН}$). При этом вертикальная составляющая полного рабочего сопротивления секции распределяется по длине перекрытия и основания наиболее рационально, что подтверждается результатами выполненных исследований и опытом эксплуатации указанных типов ЩМК.

Третьим достоинством силового взаимодействия с боковыми породами ЩМК ПО-[2+2] с V-образным расположением рядов стоек является высокая устойчивость секций и более равномерное распределение давления от основания на почву.

Дальнейшее повышение качества рабочих процессов ЩМК ПО-[2+2] должно осуществляться путём синтеза и оптимизации секций крепи с кинематическим паспортом В1, обеспечивающим в пределах всего рабочего диапазона их раздвижности формирование в нижних слоях кровли напряжений сжатия под действием направленных на забой сил трения между кровлей и перекрытием.

Рассмотрим в качестве примера решение этой задачи применительно к ЩМК ПО-[2+2] типа 2КД90 с кинематическим паспортом В3а.

Для придания оптимизируемой крепи положительных свойств, характеризующих кинематическим паспортом В1, необходимо синтезировать ЩМК с механизмом связи (МС) подобным С-2 [3]. При этом параметры синтезированного МС должны обеспечивать выполнение следующих требований:

- рабочий диапазон раздвижности крепи для работы на пологонаклонных пластах мощностью 1.0...1.5 м;
- в пределах рабочего диапазона раздвижности $100^\circ \leq \varphi_1 \leq 135^\circ$ $\gamma_M > 0$, а суммарное горизонтальное смещение шарнира М в сторону забоя не должно превышать 50 мм;
- в пределах ограниченной верхней зоны диапазона раздвижности допускается $\gamma_{c1} \sim \gamma_{c2}$, в остальной (основной) области раздвижности необходимо выполнить условие $\gamma_{c1} > \gamma_{c2}$.

Выполнение первых двух требований обеспечивается синтезированным МС на базе шарнирного четырёхзвенника с параметрами: $l_2=260$ мм и $\lambda_1=2$, $\lambda_2=1$, $\lambda_3=\lambda_5=2.5$; $\lambda_4=1.98$, $\beta_4=26^\circ$; $\beta_2=0^\circ$.

Для выполнения последнего требования при указанных параметрах МС необходимо дополнительно оптимизировать конструктивные параметры n_1 , n_2 и K_3 , см. рис. 1.

Исследование рабочего процесса взаимодействия синтезируе-

мой крепи с боковыми породами и оптимизация ее параметров выполнены на ПЭВМ по программе "krep4.1", алгоритм которой рассмотрен выше.

Сравнительным анализом нескольких лучших вариантов оптимизации установлено, что приемлемые результаты дает применение в оптимизируемой ЩМК ПО-[2+2] синтезированного МС с указанными выше параметрами и конструктивных параметров секции крепи $p_1=970$ мм, $p_2=950$ мм и $K_3=350$ мм (остальные конструктивные и силовые параметры приняты такими же как и для крепи 2КД90 с АУК. Установленные оптимальные параметры шарнирного четырехзвенного механизма и самой секции могут быть технически реализованы применительно к крепи 2КД90С.

Таблица 1 - Оптимальные значения параметров МС и секции ПО-[2+2] для пластов мощностью 1.0 - 1.5 м

Вариант оптимизации	Оптимальные значения параметров									
	l_1 , мм	l_2 , мм	l_3 , мм	l_4 , мм	ВМ, мм	$\beta_4, ^\circ$	$\beta_2, ^\circ$	p_1 , мм	p_2 , мм	K_3 , мм
1	520	260	650	515	910	26	0	970	950	350
2	520	260	650	515	920	26	0	970	950	355
3	520	260	650	515	910	26	0	970	950	360

Результаты выполненных исследований, синтеза и оптимизации ЩМК ПО-[2+2] типа 2КД90С иллюстрируются графиками характеристик рабочих процессов в системе "ЩМК 2КД90С - БП". Соответствующие лучшему варианту 2 характеристики рабочего процесса показаны на рис. 4. Хорошо удовлетворяются требования к рекомендуемым показателям качества и при некоторых других вариантах сочетаний оптимальных параметров МС и секции ЩМК, см. табл. 1.

Сравнительный анализ кинематических и силовых характеристик рабочих процессов, соответствующих вариантам 1 и 2, показывает, что результаты оптимизации в рассматриваемых вариантах качественно практически совпадают. При количественном сравнении вариантов установлены более низкие нагрузки S , T_2 и T_1 для крепи по варианту 2 по сравнению с их значениями в крепи по варианту 1 в пределах всего рабочего диапазона раздвижности. Так, например, при $\phi_1=120^\circ$ варианту 1 соответствуют значения безразмерных коэффициентов нагруженности: $K_0(S)=0.286$; $K_0(T_2)=0.390$; $K_0(T_1)=0.517$, а варианту 2: $K_0(S)=0.274$; $K_0(T_2)=0.346$; $K_0(T_1)=0.431$.

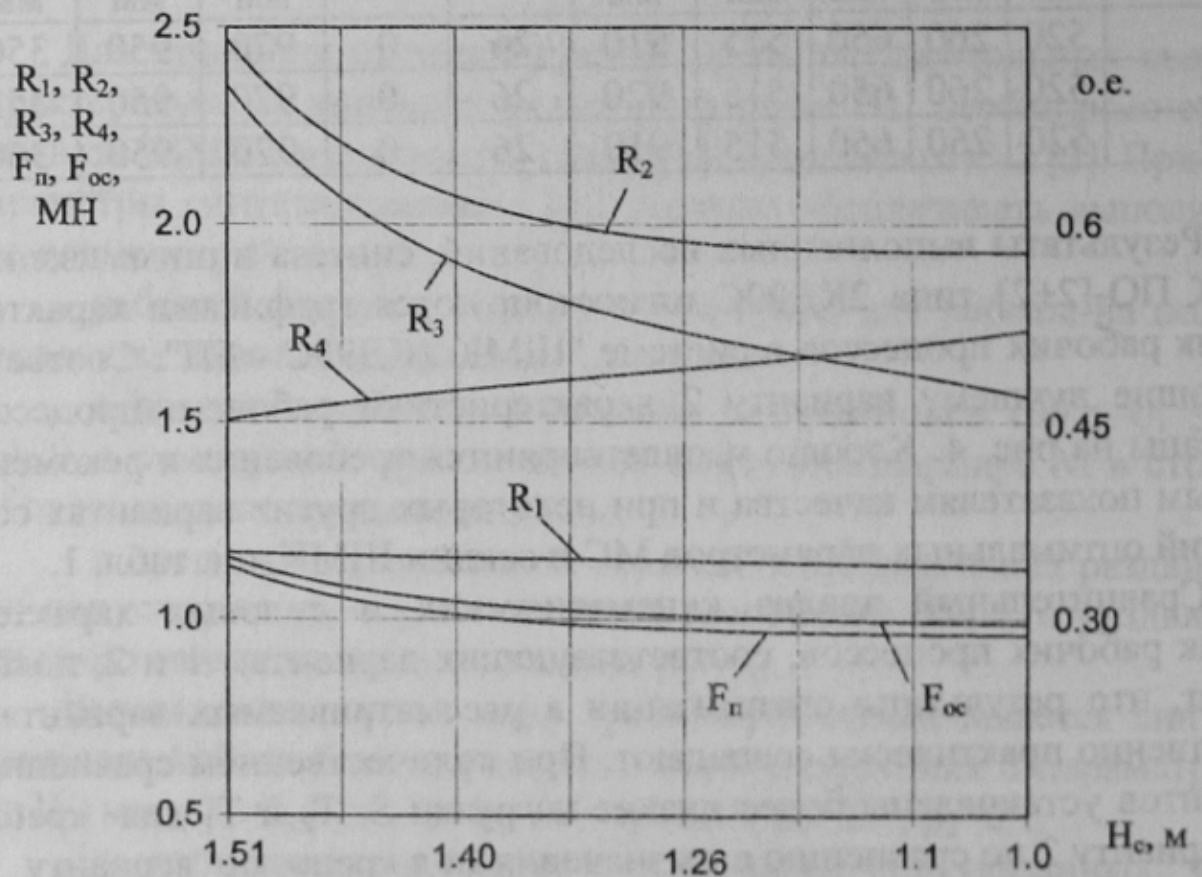
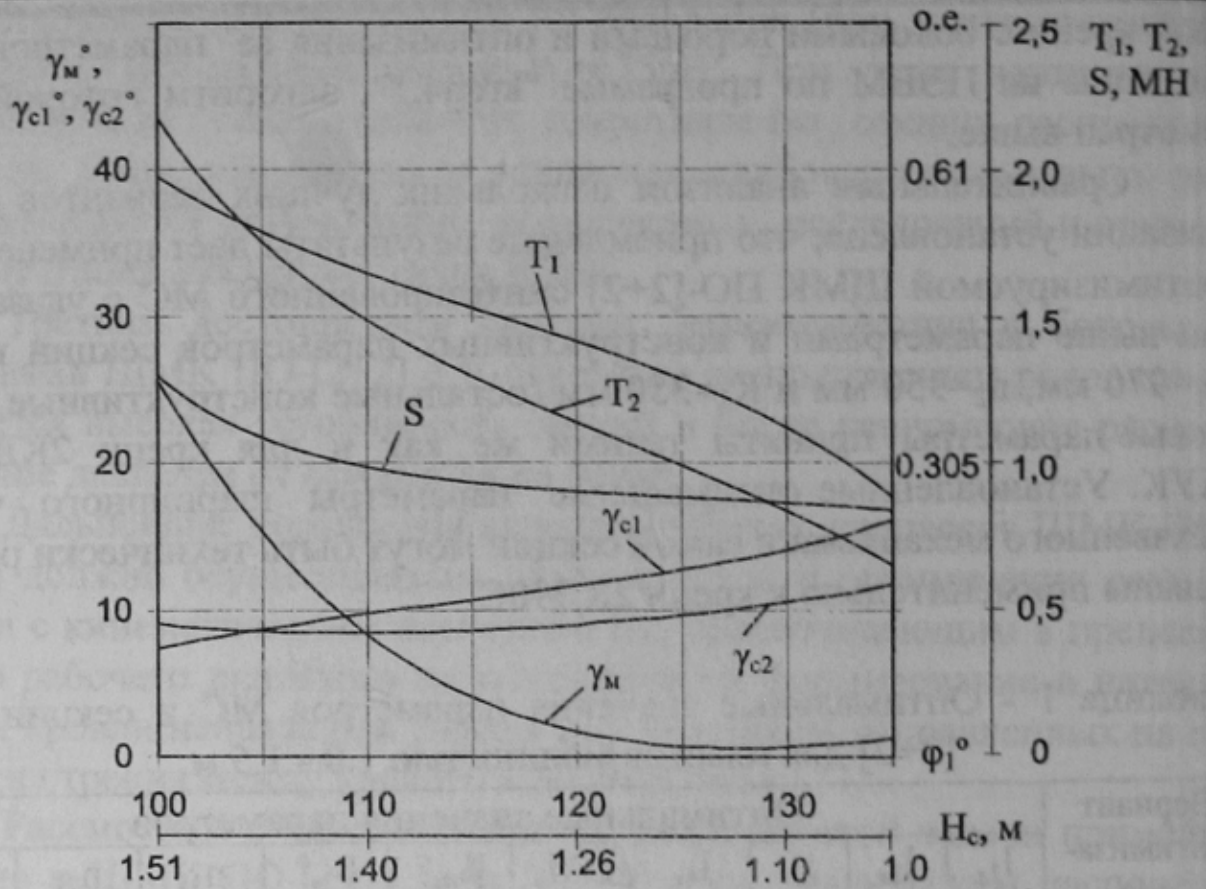


Рисунок 4 – Характеристики силового взаємодія з боковими породами синтезированной ЦМК 2КД90С в діапазоні її роздвигності при $\mu = 0,3$ (варіант 2)

Следовательно, в крепи по варианту 2 нагрузки S , T_2 и T_1 ниже, чем в варианте 1 соответственно на 4.4, 13.0 и 20.0%, что создает предпосылки для уменьшения материалоемкости силовых элементов МС без снижения их надёжности.

Вариант 2 лучше варианта 1 и по выполнению условия $\gamma_{c1} > \gamma_{c2}$ при $105^\circ < \varphi_1 < 135^\circ$, что обеспечивает формирование направленной на забой горизонтальной компоненты сопротивления крепи уже при первоначальном распоре. Так, при работе на пласте мощностью 1.0 м ($\gamma_{c1} = 16.7^\circ$, $\gamma_{c2} = 12^\circ$) и одинаковых усилиях распора переднего и заднего рядов гидростоек, формируется горизонтальная компонента отпора около 150 кН. В дальнейшем, при конвергенции пород, между кровлей и перекрытием формируется направленная на забой сила трения, зависящая от значений коэффициента трения. При $\mu = 0.3$ она монотонно убывает от значения 1135 кН (при $\varphi_{1B} = 100^\circ$) до 960 кН (при $\varphi_{1H} = 135^\circ$), что составляет (29-35)% от номинального сопротивления секции. С учётом горизонтальной компоненты отпора крепи, обусловленной выполнением условия $\gamma_{c1} > \gamma_{c2}$, суммарное значение горизонтальной составляющей рабочего сопротивления крепи 2КД90С в пределах её диапазона раздвижности составляет около 34% несущей способности секции, что согласуется с рекомендациями [4].

Таким образом, характеристики силового взаимодействия с боковыми породами предлагаемой усовершенствованной ЩМК 2КД90С полностью отвечают выдвинутым в [5] положениям об особенностях формирования горизонтальной и вертикальной составляющих сопротивления щитовых крепей и целесообразности применения на пластах с неустойчивыми кровлями щитовых механизированных крепей ПО-[2+2] и ПО-[0+2] с кинематическим паспортом В1.

Список источников.

1. Гуляев К.В., Семенченко А.К. Кинематические характеристики щитовых крепей и их влияние на формирование внутрисекционных нагрузок. // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 7. Серія гірничо-електромеханічна, Донецьк, 1999, с. 89-96.
2. Гуляев К.В. Математическая модель для исследования взаимодействия щитовых крепей с боковыми породами. // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 16. Серія гірничо-електромеханічна, Донецьк, 2000, с.92-101.
3. Гуляев К.В., Семенченко А.К. Синтез механизмов связи щитовых крепей на базе шарнирного четырёхзвенника. // Изв. вузов. Горный журнал, - 2000, N1, с.57-63.
4. Грядущий Ю.Б., Назимко В.В. Влияние горизонтальной компоненты отпора мехкрепи на вероятность вывала. // Уголь Украины, 1997, N6, с.18-20.
5. Гуляев К.В., Гуляев В.Г., Лаптев А.Г. Влияние кинематики щитовых механизированных крепей на взаимодействие их с кровлей. // Уголь Украины, 1998, N 8-9, с. 47-50.