

УДК 622.281.74.001.24

Бондаренко В.И., д-р техн. наук, профессор,
Ковалевская И.А., д-р техн. наук, профессор
(ГВУЗ «НГУ»)

Вивчаренко А.В., канд. техн. наук
(Департамент реструктуризации угольной
Промышленности Министерства энергетики
и угольной промышленности Украины)

Свистун Р.Н., инженер
(ООО «Мокрянский каменный карьер №3»)

Малыхин А.В., инженер
(Шевченковская районная госадминистрация г. Киева)

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Бондаренко В.І., д-р техн. наук, професор,
Ковалевська І.А., д-р техн. наук, професор
(ДВНЗ «НГУ»)

Вівчаренко О.В., канд. техн. наук
(Департамент реструктуризації вугільної
Промисловості Міністерства енергетики
та вугільної промисловості України)

Свистун Р.М., інженер
(ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр №3»)

Малихін О.В., інженер
(Шевченківська районна держадміністрація м. Києва)

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РАМНО-АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ ВИЇМКОВИХ ВИРОБОК

Bondarenko V.I., D.Sc. (Tech), professor,
Kovalevskaya I.A., D.Sc. (Tech), professor
(SHEE "NMU")

Vivcharenko A.V., Ph.D. (Tech)
(Department of Coal Industry Restructuring
Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine)

Svistun R.N., M.S (Tech)
(LLC "Mokryanskiy stone quarry №3")

Malykhin A.V., M.S (Tech)
(Shevchenko district state administration in Kyiv)

CALCULATION OF FRAME-ANCHORING WORKINGS

Аннотация. Установлены закономерности управления состоянием крепежных систем выемочных выработок в зоне влияния очистных работ на базе регулирования процессов сдвижения заанкерованных приконтурных пород и нагружения рамно-анкерной крепи по-

средством выбора ресурсосберегающих режимов работы анкеров постоянного сопротивления. Получен комплекс расчетных выражений по прогнозированию всех компонент эпюры нагрузки по контуру выработки. Выполнен комплекс исследований по определению внутренних усилий в раме в зависимости от ее размеров, компонент эпюры нагрузки и параметров установки анкеров. Получены соотношения связи рациональных параметров установки анкеров с горно-геологическими и горнотехническими условиями поддержания выемочных выработок в зоне влияния очистных работ. Выявленные закономерности положены в основу инженерного метода расчета ресурсосберегающих параметров рамно-анкерной крепи. Шахтными исследованиями установлена стабильная закономерность снижения сближений кровли и почвы выработки на 25-33%, ее боков – на 54-65%, что уменьшило потерю сечения в зоне опорного давления на 26,5-37,0%. Для повышения устойчивости выемочных выработок подтверждена целесообразность применения разработанных рекомендаций по дифференцированному усилению рамной крепи анкерами с регулируемой деформационно-силовой характеристикой.

Ключевые слова: горный массив, выемочная выработка, устойчивость, влияние очистных работ, рамно-анкерная крепь, параметры, расчет, ресурсосбережение.

Состояние вопроса. Актуальность проблемы поддержания выемочных выработок, например, на шахтах Западного Донбасса возрастает по ряду факторов, основными из которых являются следующие. Во-первых, углевмещающая толща сложена слабыми слоистыми породами с практически отсутствием сцепления по поверхностям контактов литологических разностей, что существенно интенсифицирует проявления горного давления. Во-вторых, разрабатываемые угольные пласты характеризуются повышенными прочностными свойствами по отношению к породам непосредственной кровли и почвы угольного пласта, что обуславливает известную специфику формирования нагрузки на крепежную систему, выражающуюся в повышенном боковом давлении и пучении почвы, особенно, в зоне опорного давления впереди очистного забоя. В-третьих, на большинстве шахт Западного Донбасса достигнуты достаточно высокие скорости подвигания очистных забоев, что, с одной стороны, требует повышенного внимания к эксплуатационному состоянию выемочных выработок, а, с другой, – изыскание резервов сокращения затрат на поддержание из-за возрастающих объемов их проведения. В этой связи для угольной промышленности Украины является актуальной задача поддержания выемочных выработок за счет управления состоянием их крепежной системы в соответствии с характером проявлений горного давления в зоне влияния очистных работ при сохранении максимальной несущей способности на базе установленных закономерностей регулирования деформационно-силовых параметров ее элементов.

Изученный опыт поддержания выемочных выработок на шахтах Западного Донбасса и накопленные к настоящему времени исследования в этой области ведения горных работ определили приоритетное, на наш взгляд, направление – использования рамно-анкерной крепи с пространственно-податливыми связями как крепежной системы, наиболее полно адаптирующейся к характеру проявлений горного давления, изменяющегося по мере приближения очистного забоя. В понятие «адаптация» мы вкладываем смысл высоких потенциальных возможностей конструкции по регулированию ее сопротивления в соответствии с

меняющейся горно-геологической ситуацией в окрестности выемочных выработок с одновременным приближением к состоянию равнопрочности грузонесущих элементов, что тождественно двум позициям: достижение максимальной несущей способности при неизменных затратах, либо экономия ресурсов при сохранении несущей способности на прежнем уровне. Поэтому основное направление исследований состоит в раскрытии этих потенциальных возможностей на базе установленного комплекса закономерностей взаимодействия элементов рамно-анкерной крепи между собой и со вмещающим породным массивом.

Основная часть. Анализ существующих подходов к расчету параметров крепежных систем выемочных выработок, поддерживаемых, в том числе, в зоне активного влияния очистных работ, отдал предпочтение нормативной методике по СОУ 10.1.00185790.011:2007 [1], которая обладает общностью и достаточной надежностью прогнозируемых результатов, с одной стороны, и удобна для последующих расчетов внутренних усилий в рамной крепи в совокупности с критериями оптимизации ее НДС, с другой стороны. Ее наиболее существенный недостаток заключается в игнорировании объективно наблюдаемого факта более активных проявлений горного давления со стороны рабочего борта выемочной выработки при приближении очистного забоя (рис. 1), который выражается в формировании асимметричной нагрузки $q(\theta)$ на рамно-анкерную крепь.

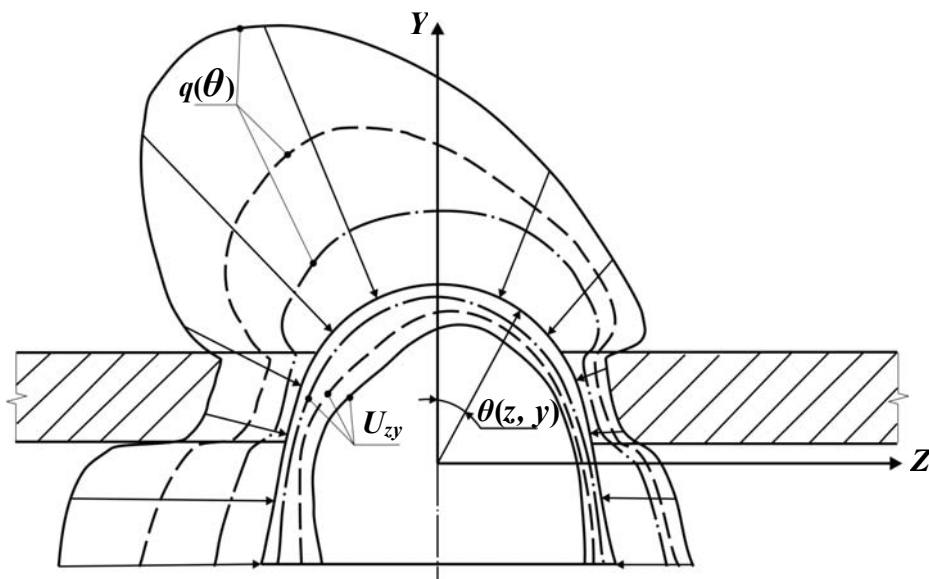


Рисунок 1 – Схема развития проявлений горного давления по контуру $\theta(z, y)$ выемочной выработки в процессе приближения очистного забоя: U_{zy} – перемещение контура, $q(\theta)$ – нагрузка на крепежную систему; $- \cdot - \cdot -$ в начале зоны опорного давления; $- - -$ посередине участка опорного давления; $—$ перед очистным забоем

Прогноз асимметричного нагружения крепи выполнен путем определения размеров области разупрочнения приконтурных пород с учетом зоны опорного давления впереди приближающейся лавы и базируется на следующих положе-

ниях: высота свода предельного равновесия растет с приближением очистного забоя и определяется по [1]; в боках выработки ширина области разупрочнения прямо пропорциональна величине перемещений контура выработки с преимущественным развитием со стороны рабочего борта; площадь свода предельного равновесия в кровле остается неизменной (по отношению к нормативной методике [1]), но сам свод вытянут в сторону обрабатываемого выемочного участка. При этом произведена дифференциация ширины области разупрочнения более крепкого угля и менее крепких пород непосредственной кровли и почвы, что характерно для условий Западного Донбасса.

Указанные положения позволили получить достаточно компактные выражения по описанию контура области предельного равновесия пород;

– линия свода (в полярных координатах) аппроксимирована тремя членами тригонометрического ряда

$$r_{св}(\theta) = a_1 \sin \theta + a_2 \cos \theta \pm a_3 \sin(\theta + \theta_{max}), \quad (1)$$

коэффициенты a_1 , a_2 , a_3 которого связаны простыми соотношениями с названными нами «базовыми» точками контура, определяемыми по нормативной методике [1]; угловая координата θ_{max} расположения максимума высоты свода изменяется в ограниченном диапазоне 18,5-20,0° (установлено по результатам вычислительного анализа) и принята постоянной $\theta_{max} = 20^\circ$;

– ширина области предельного равновесия пород для рабочего ϑ_2^p и нерабочего ϑ_2^h бортов выработки рассчитывается по выражениям

$$\vartheta_2^p = U_2^{\bar{\sigma}} \frac{2K_1 - K_2}{2K_1 \cdot K_2}; \quad \vartheta_2^h = \frac{U_2^{\bar{\sigma}}}{2K_1}, \quad (2)$$

где $U_2^{\bar{\sigma}}$ – сближение боков выработки в зоне опорного давления; K_1 и K_2 – эмпирические коэффициенты для участков выработки, соответственно вне зоны влияния очистных работ и в зоне опорного давления; все параметры определяются по [1];

– дифференциация ширины разупрочнения угля, пород непосредственной кровли и почвы угольного пласта осуществляется использованием в расчетных выражениях $U_2^{\bar{\sigma}}$ соответствующих значений сопротивления сжатию указанных литологических разностей.

Вторая задача по определению области неустойчивых пород в зоне влияния очистных работ реализована на базе классического метода статики сыпучей среды с использованием разработок [2, 3] по определению коэффициента устойчивости призм скольжения внутри области разупрочнения и расчету нагрузки q_j по j -му участку контура выработки из условия предельного равновесия j -ой призмы сползания

$$\frac{M_{y\delta} + M_{q_j}}{M_{c\delta}} = 1, \quad (3)$$

где $M_{y\delta}$ и $M_{c\delta}$ – моменты от действия удерживающих и сдвигающих усилий по j -му участку контура; M_{q_j} – момент от действия минимально достаточной реакции q_j крепежной системы.

Алгоритм расчетов пояснен схемами на рис. 2, на которых отражено семейство произвольных линий скольжения. Контур выработки разбивается на конечное число участков δ_j , крайние точки j' которых служат началом линий скольжения, простирающихся до границы области предельного равновесия, разбитой на ряд сегментов, степень устойчивости которых обуславливает нагрузку на крепежную систему в соответствии с условием (1). Выбор положения j -ой линии скольжения из возможных вариантов (например, от точки j' до точек j'' , j_1'' , j_2'' и т.д. на рис. 2, б) осуществлен по критерию минимального значения коэффициента устойчивости K_{yc}^{min} – этой линии скольжения соответствует максимальная нагрузка q_j на данном участке δ_j . Обобщение кусочно-линейной нагрузки q_j по контуру выработки в виде определенной эпюры $q(\theta)$ осуществлено с помощью тригонометрического ряда.

В соответствии с разработанной методикой проведен комплекс расчетов по определению всех составляющих нагрузки на крепежную систему, которая включает следующие параметры: q_δ – вертикальная нагрузка в замке свода; q_δ – боковая нагрузка со стороны нерабочего борта выработки по контакту угольного пласта и непосредственной кровли; K – показатель асимметрии нагрузки в кровле выработки; $(q_\delta)_1$ – боковая нагрузка со стороны угольного пласта в нерабочем борту выработки; $(q_\delta)_2$ – боковая нагрузка со стороны угольного пласта в рабочем борту выработки; $(q_\delta)_3$ – боковая нагрузка по глубине подрывки непосредственной почвы со стороны рабочего борта выработки. Для перечисленных шести параметров нагружения рамно-анкерной крепи с использованием методов корреляционно-дисперсионного анализа результатов расчетов получены следующие уравнения регрессии

$$\left. \begin{aligned}
 q_e &= 18,5h_2(0,25 + 0,15B)(1 - 0,4tg\varphi); \\
 q_{\delta} &= 156h_2^{0,42}(0,83 - 0,016\varphi)[1 - \exp(-0,3h_{\delta})]; \\
 K &= 12,8h_2^{0,85}(1 - 0,76tg\varphi)(0,25 + 0,15B)^{-1}; \\
 (q_{\delta})_1 &= 11,2h_2^{0,6}(1,05 - 0,02\varphi_y)(0,8 + 0,55m_y); \\
 (q_{\delta})_2 &= 13,6(1,2 + h_2^{0,8})(1,1 - 0,018\varphi_y)(0,85 + 0,4m_y); \\
 (q_{\delta})_3 &= 36,5h_2^{0,9}(2,3 + h_2^{0,7})(0,75 - 0,012\varphi),
 \end{aligned} \right\} (4)$$

где h_2 – высота свода предельного равновесия в зоне опорного давления, м, определяется по [1]; B – ширина выработки в проходке, м; h_{δ} – глубина подрывки почвы пласта, м; m_y – мощность угольного пласта, м; φ_y и φ – углы внутреннего трения угольного пласта и вмещающих пород.

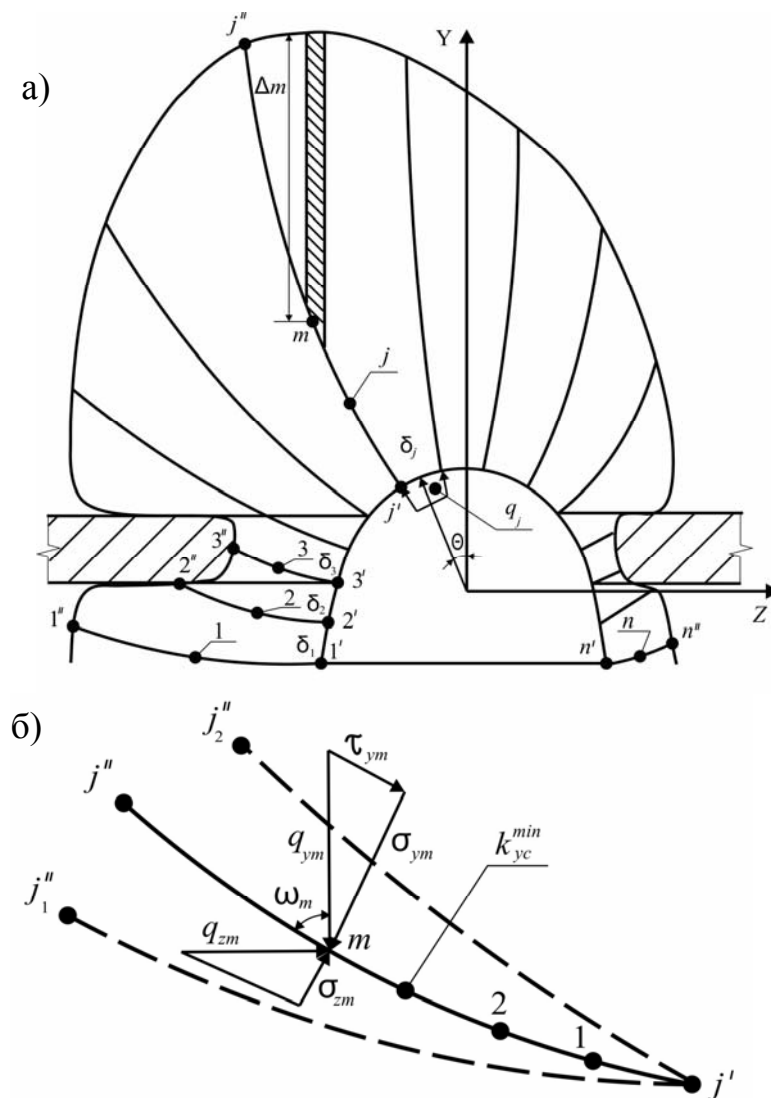


Рисунок 2 – Схемы к определению эпюры нагрузки $q(\theta)$ на крепёжную систему (а) и выбору линии скольжения с минимальным коэффициентом K_{yc}^{min} устойчивости (б)

Система выражений (4) явилась основой для решения задачи по определению внутренних усилий в рамной крепи с учетом реакции анкеров через пространственно-податливые связи. При этом была использована известная аппроксимация (незамкнутая круглоцилиндрическая) реальной формы наиболее применяемых крепей серий КШПУ и КМП-АЗ, обоснованная в работах [2, 3] как обладающая вполне допустимой погрешностью и позволяющая произвести последующую оптимизацию внутренних усилий в раме аналитическими методами строительной механики. При построении расчетной схемы рамно-анкерной крепи также использованы результаты исследований [4] по обоснованию наиболее эффективного конструктивного решения (при противодействии повышенным боковым нагрузкам) – установки по два боковых анкера со стороны рабочего и нерабочего бортов выработки и их механические связи со стойками рамы пространственно-податливыми узлами в единую грузонесущую конструкцию. В процессе многовариантных расчетов такой рамно-анкерной крепи методами строительной механики выявлено 9 участков ее контура, где возможно появление максимумов изгибающего момента M_n ($n = 1, \dots, 9$). Для определения каждого из них составлена система уравнений, численный анализ которой позволил установить закономерности связи каждого максимума M_n со всеми составляющими нагрузки по формулам (4) и параметрами установки боковых анкеров: N_i – реакция воздействия i -го анкера ($i = 1, \dots, 4$) на раму, θ_{N_i} – угловая координата размещения анкера (по ней определяется высота установки анкера y_i от почвы выработки). Фрагменты этих закономерностей для относительных значений $\frac{M_n}{q_6 \cdot r}$ максимумов изгибающего момента ($r = 0,5B$) приведены на рис. 3.

Выявление полного набора закономерностей связи максимумов изгибающего момента в любой точке контура рамы с параметрами нагружения крепежной системы и установки боковых анкеров позволило минимизировать M_n на основе существующих принципов оптимизации параметров рамно-анкерной крепи [3]. Снижение максимумов M_n тождественно повышению несущей способности рамно-анкерной крепи при неизменных ее параметрах, либо сокращению металлоемкости при сохранении на постоянном уровне несущей способности – оба направления отвечают стратегии ресурсосбережения при поддержании выемочных выработок. В результате получены закономерности связи рациональных параметров θ_{N_i} и N_i установки боковых анкеров с размерами выработки и эпюрой нагрузки на крепежную систему. Эти закономерности доведены до уровня оперативного практического использования путем построения комплекса расчетных номограмм, часть которых приведена на рис. 4 (определение параметров N_1 и θ_{N_1} установки нижнего анкера со стороны нерабочего борта выработки).

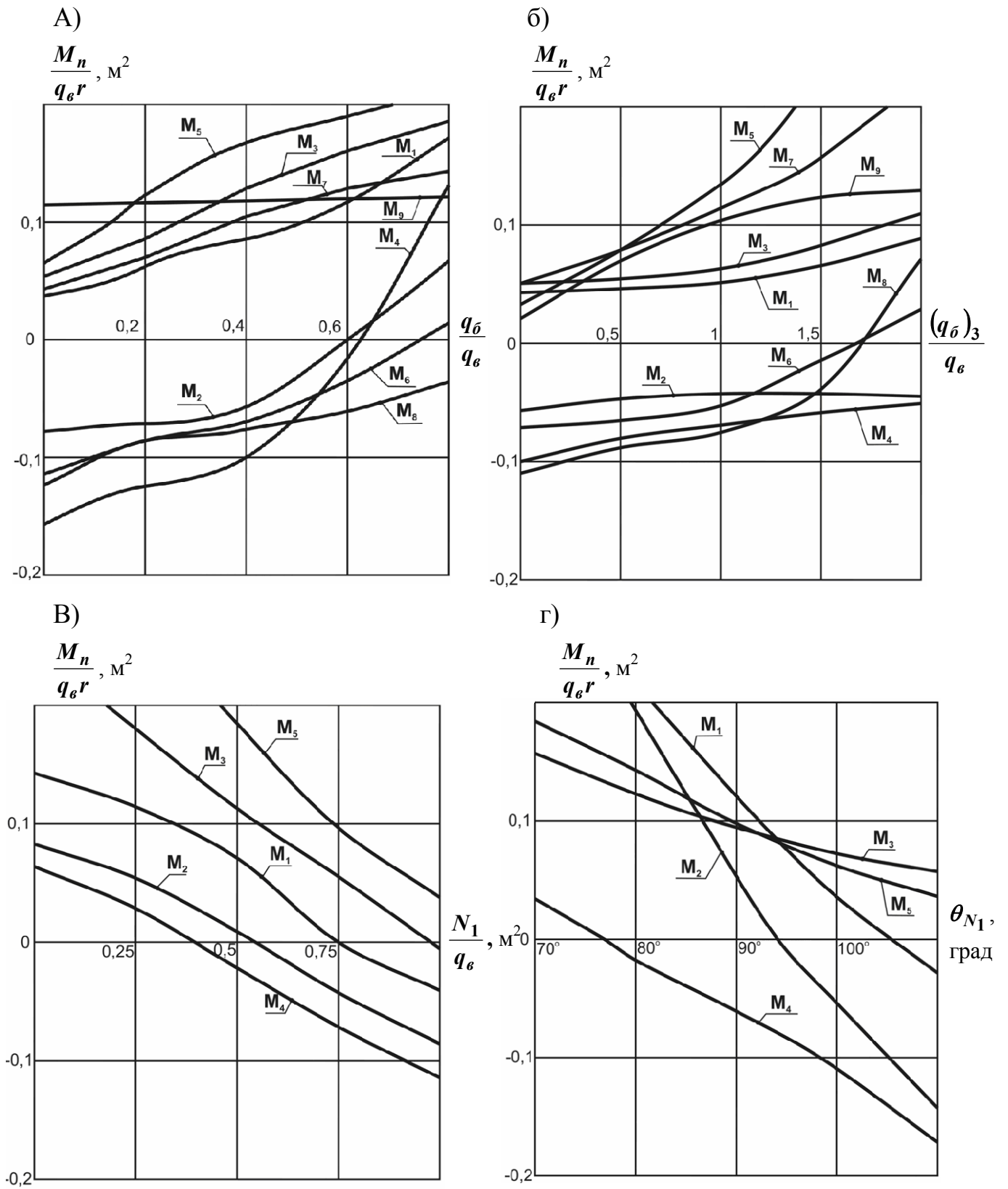


Рисунок 3 – Связь максимумов изгибающего момента в рамной крепи с параметрами: а) q_o / q_e ; б) $(q_o)_3 / q_e$; в) N_1 / q_e ; г) θ_{N_1}

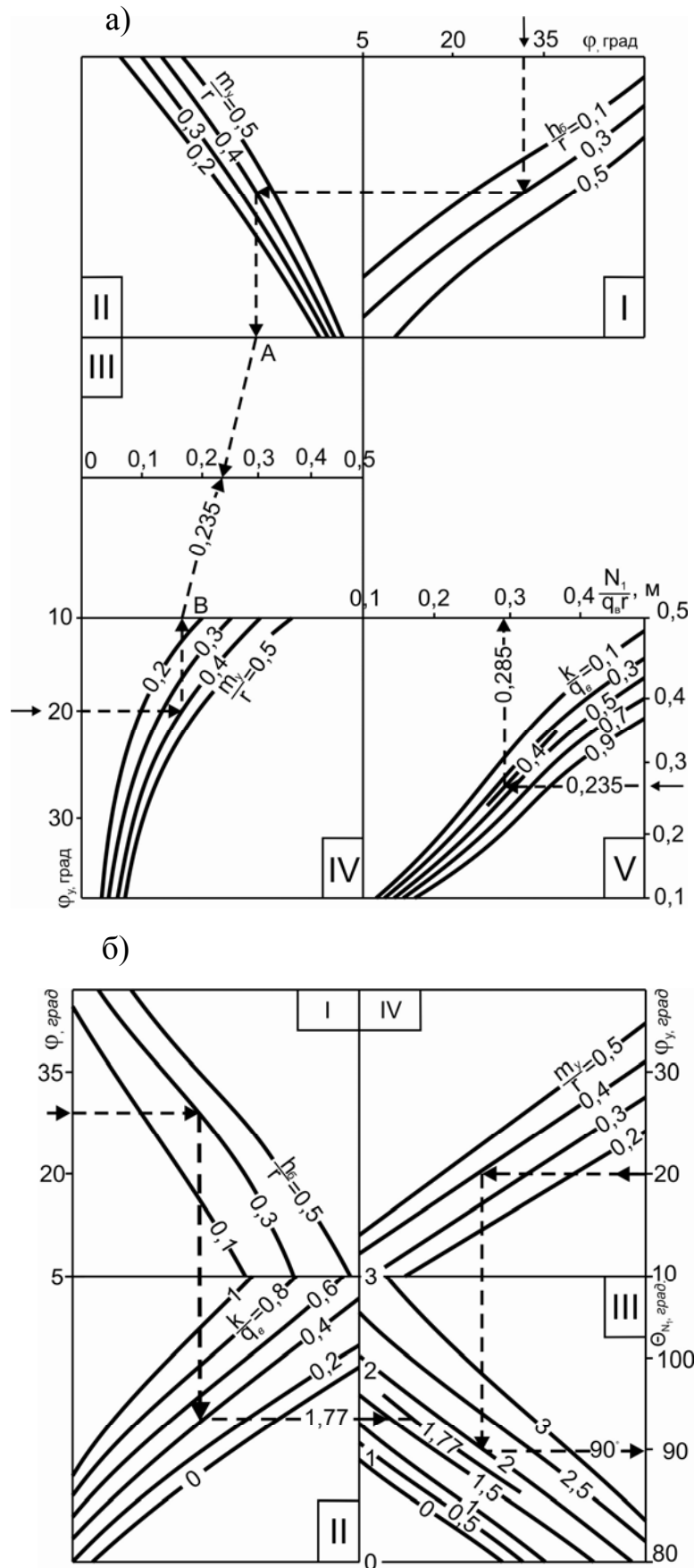


Рисунок 4 – Номограммы для расчета требуемой реакции (а) и координаты установки (б) нижнего анкера со стороны нерабочего борта выработки

Для реализации условий ресурсосберегающего поддержания выемочных выработок путем регулирования режима работы боковых анкеров сформулирован ряд требований и выбрана наиболее эффективная конструкция податливого анкера с распорным эластичным замком, работающего практически в режиме постоянного и регулируемого сопротивления согласно исследованиям [4].

Усовершенствован метод расчета параметров анкера постоянного сопротивления, который выполняется по заданной величине реакции N_i сопротивления и охватывает все его конструктивные элементы. В качестве технологического параметра рассчитывается величина регулируемого момента распора M_p эластичного замка анкера, соответствующая требуемой реакции N_i

$$M_p(N_i) = \frac{(M_p)_{max}}{\Phi \sigma_{сж}} N_i, \quad (5)$$

$$\text{где } (M_p)_{max} = (e^2 - a^2) \sigma_{сж} \left[d_1 \left(\frac{t}{d_1 + 2a} + 1,81 f_1 \right) \left(1 - 0,73 \frac{t f_1}{d_1 + 2a} \right)^{-1} + (a + e) f_1 \right];$$

$$\Phi = 7,35 d_{ш} f_{mp} \sqrt{\frac{E_{II}}{G} (d_{ш}^2 - d_1^2)} \left\{ 1 - \exp \left[-0,094 l_1 \sqrt{\frac{G}{E_{II} (d_{ш}^2 - d_1^2)}} \right] \right\};$$

$$l_1 = 0,25 l \left(8 - \frac{d_{ш}^2 - d_1^2}{e^2 - a^2} \right);$$

$\sigma_{сж}$ – сопротивление породных стенок шпура одноосному сжатию; e и a – наружный и внутренний радиус эластичных втулок; $d_{ш}$ и d_1 – диаметр шпура и несущего стержня анкера; t и f_1 – шаг резьбового соединения и коэффициент трения в нем; f_{mp} – коэффициент трения материала эластичного замка по породе; l – длина эластичного замка; E_{II} – модуль деформации породы; G – модуль сдвига материала эластичного замка. В итоге получены все необходимые соотношения не только для выбора параметров анкеров с распорным эластичным замком, но и зависимость для управления режимом работы анкеров посредством регулирования крутящего момента в процессе их установки и эксплуатации, что оформлено в соответствующий инженерный метод расчета.

Для обоснования достоверности методов расчета нагрузки на крепежную систему и выбора параметров установки боковых анкеров с целью повышения устойчивости выемочных выработок был проведен комплекс шахтных исследований многоцелевого назначения по проверке основных выводов и рекомендаций. По разработанной методике отобраны два выемочных участка на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Для получения объективной информации исследования проведены на трех участках в обеих выработках длиной не менее 80

м.

Закономерности развития проявлений горного давления установлены по разности замеров расстояний y_i и z_i между произвольным сечением выработки на некотором удалении X от очистного забоя и «нулевым» сечением отсчета. Результаты замеров подтверждают стабильность снижения сближений кровли и почвы на 25-33%, а боков выемочных выработок – на 54-65%. Это позволяет снизить потери сечения на 26,5-37,0% и повысить надежность выполнения технологических операций в пределах выемочного участка.

Таким образом, по результатам шахтных исследований, включающих комплексный анализ ряда показателей, подтверждена целесообразность применения (для повышения устойчивости выемочных выработок) разработанных рекомендаций по дифференцированному усилению рамной крепи боковыми анкерами с регулируемой деформационно-силовой характеристикой, что максимально ограничивает негативное влияние опорного давления на крепежную систему впереди очистного забоя.

Выводы. Развита представления об образовании области предельного состояния приконтурных пород, характеризующейся не только асимметрией формы, но и резкими изменениями координат границы области, как наиболее адекватно отвечающей реальным геомеханическим процессам в зоне опорного давления впереди очистного забоя. Не нарушая принципов руководящих нормативных документов по прогнозированию проявлений горного давления, учтено дифференцированное разупрочнение близлежащих пород (по контуру выработки), которое отражено в разработанном методе расчета размеров области предельного равновесия вокруг выемочной выработки в зоне опорного давления.

Комплекс многовариантных расчетов по определению параметров эпюры нагружения рамно-анкерной крепи акцентирует внимание на следующих результатах:

– доказано формирование существенно асимметричной нагрузки на крепежную систему не только в кровле, но и в боках выработки, что обуславливает резкое снижение несущей способности традиционных конструкций рамных податливых крепей (в основном серий КШПУ и КМП-А3), наиболее широко применяемых для поддержания выемочных выработок;

– если в кровле асимметричная составляющая нагрузки достигает 35-50% от вертикальной нагрузки в замке свода, то в боках выработки нагрузка со стороны ее рабочего борта в 2-3 раза и более превышает таковую со стороны нерабочего борта; такая асимметрия нагружения требует соответствующих мероприятий по усилению крепежной системы со стороны приближающегося очистного забоя;

– боковая нагрузка со стороны рабочего борта выработки зачастую превышает вертикальную нагрузку в замке ее свода; такая эпюра нагружения не соответствует конструктивным особенностям рамных податливых крепей, слабо сопротивляющихся боковым нагрузкам и нуждающимся в усилении в боковом направлении;

– для аргументированного выбора параметров средств усиления крепежной системы получены зависимости связи составляющих нагрузки по всему контуру крепи с геомеханическими и горнотехническими характеристиками поддержания выемочной выработки.

Выявлен комплекс закономерностей связи максимумов изгибающего момента в рамной крепи как с параметрами нагрузки со стороны породного массива, так и с параметрами установки боковых анкеров, которые на базе критериев минимизации НДС рамы позволили установить рациональные соотношения конструктивных параметров рамно-анкерной крепи в зависимости от эпюры ее нагружения. В результате создан инженерный метод расчета параметров рамно-анкерной крепи, позволяющего оперативно и с достаточной для практики степенью точности определить: координаты установки боковых анкеров по контуру выработки; необходимую реакцию каждого анкера, дифференцированное воздействие которых на определенных участках контура рамы посредством механических связей снижает максимальный изгибающий момент в раме до минимально возможного значения, что линейно связано с повышением несущей способности рамно-анкерной крепи и позволяет увеличивать шаг ее установки либо применять более легкий тип СВП.

Обоснована наиболее эффективная конструкция и разработана методика расчета параметров податливого анкера с распорным эластичным замком, который благодаря своей работе в режиме постоянного сопротивления обеспечивает возможность регулировки процесса адаптации эпюры отпора рамно-анкерной крепи к характеру проявлений горного давления в соответствии с меняющейся горно-геологической ситуацией поддержания выемочных выработок в зоне влияния очистных работ.

Шахтные исследования закономерностей развития перемещений породного контура выемочных выработок по мере подхода очистного забоя подтвердили преимущества разработанного метода дифференцированного усиления рамной крепи с помощью анкеров постоянного сопротивления и пространственно-податливыми их связями. Для разных горно-геологических и горнотехнических условий ведения очистных работ выявлены однотипные закономерности: ограничение сближений кровли и почвы на 25-33%; уменьшение сближений боков на 54-65%; потеря сечения штреков снизилась на 26,5-37%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони: СОУ 10.1.00185790.011:2007. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 113 с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
2. Симанович, Г.А. Управление режимами взаимодействия породного массива с крепью горных выработок на основе регулирования ее деформационно-силовой характеристикой: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.11: утв. 14.05.93 / Г.А. Симанович – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 1993. – 408 с.
3. Ковалевская, И.А. Геомеханика управления устойчивостью пространственной системы «массив – упрочненные породы – крепь подземных выработок»: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.11: защищена 18.06.04: утв. 09.02.05 / И.А. Ковалевская – Днепропетровск: НГУ, 2004. – 349 с.
4. Ковалевская, И.А. Взаимодействие анкерной и комбинированной крепей с породным массивом и разработка метода расчета их рациональных параметров: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11: утв. 25.03.95 / И.А. Ковалевская – Днепропетровск: НГУ, 1995. – 200 с.

REFERENCES

1. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2007), *JMA 10.1.00185790.011:2007. Development openings on flat seams. Selecting of supporting, ways and means of protection*, Kiev, UA.
2. Simanovich, G.A. (1993), «Operating of regime interaction rock mass with the support of mining working on the base of regulation deformation force characteristic», D.Sc. Thesis, Physical processes of mining enterprise, M.S. Poljakov Institute of Mechanics under NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.
3. Kovalevskaya I.A. (2004), «Geomechanics spatial stability control system “mass-strengthening rock”», D. Sc. Thesis, Physical processes of mining enterprise, National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.
4. Kovalevskaya I.A. (1995), «Interaction anchor and combined supports with the rock mass and developing method of calculation of rational parameters», Ph.D. Thesis, Physical processes of mining enterprise, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Об авторах

Бондаренко Владимир Ильич – заведующий кафедрой подземной разработки месторождений, доктор технических наук, профессор ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина. v_domna@yahoo.com

Ковалевская Ирина Анатольевна – доктор технических наук, профессор кафедры подземной разработки месторождений ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина. kovalevska_i@yahoo.com

Вивчаренко Александр Васильевич – кандидат технических наук, директор департамента реструктуризации угольной промышленности Министерства энергетики и угольной промышленности Украины, г. Киев, Украина. alexandr.vivcharenko@mev.energy.gov.ua

Свистун Руслан Николаевич – горный инженер, директор ООО «Мокрянский каменный карьер №3», г. Запорожье, Украина. svistun_ruslan@mail.ru

Малыхин Александр Владимирович – горный инженер, заместитель председателя Шевченковской районной государственной администрации г. Киева, Украина. o.malihin@shev.gov.ua

About the authors

Bondarenko Vladimir Il'ich – Head of the Underground mining department, Doctor of Technical Science (D.Sc.(Tech)), professor SHEE “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine. v_domna@yahoo.com

Kovalevskaya Irina Anatol'evna - Doctor of Technical Science (D. Sc. (Tech), Professor of the Underground mining department SHEE “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine. kovalevska_i@yahoo.com

Vivcharenko Aleksandr Vasil'evich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Director of Department of coal industry restructuring ministry of energy and coal industry of Ukraine, Kiev, Ukraine. alexandr.vivcharenko@mev.energy.gov.ua

Svistun Ruslan Nikolaevich – M.S.(Tech.), Director of “Mokryanskiy stone quarry #3”, Zaporozhye, Ukraine. svistun_ruslan@mail.ru

Malykhin Aleksandr Vladimirovich – , M.S.(Tech.), Vice-Chairman of the Shevchenko district state administration in Kyiv, Ukraine. o.malihin@shev.gov.ua

Анотація. Встановлені закономірності керування станом кріпильних систем виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт на базі регулювання процесів зрушення заанкерованих приконтурних порід і навантаження рамно-анкерного кріплення за допомогою вибору ресурсозберігаючих режимів роботи анкерів постійного опору. Отримано комплекс розрахункових виразів з прогнозування усіх компонент епюри навантаження по контуру виробки. Виконаний комплекс досліджень з визначення внутрішніх зусиль у рамі залежно від її розмірів, компонент епюри навантаження і параметрів установаження анкерів. Отримані співвідношення зв'язку раціональних параметрів установаження анкерів з гірничо-геологічними й гірничо-технічними умовами підтримки виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт. Виявлені закономірності покладені в основу інженерного методу розрахунку ресурсозберігаючих параметрів рамно-анкерного кріплення. Шахтними дослідженнями встановлена стабільна зако-

номірність зниження зближень покрівлі й підшви виробки на 25-33%, її боків – на 54-65%, що зменшило втрату перерізу в зоні опорного тиску на 26,5-37,0%. Для підвищення стійкості виїмкових виробок підтверджена доцільність застосування розроблених рекомендацій з диференційованого посилення рамного кріплення анкерами з регульованою деформаційно-силовою характеристикою.

Ключові слова: гірський масив, виїмкова виробка, стійкість, вплив очисних робіт, рамно-анкерне кріплення, параметри, розрахунок, ресурсозбереження.

Abstract. The established control regularities of condition mine workings support system in the zone of influence stope working on the basis of controlling displacement processes of end-anchored marginal rock and loading frame-bolting support by means of choosing resource-saving regime of anchors working constant resistance are defended. The complex calculated expressions by forecasting all components of load intensity diagram, along of the mine working contour have been derived. The researches for determination the internal forces in the frame depending on its size, component of load intensity diagram and anchors installation parameters were carried out. A correlation constraint rational parameters of anchors installations with geological and mining conditions supporting mine working in the stope influence zone are derived. The revealed regularities are the basis for an engineering method of calculation of resource-saving parameters frame-bolting support. The mine researches established stability regularity of reduce roof and floor convergence mine working by 25-33%, and sides by 54-65% that reduced cross-section loss in the zone of abutment pressure by 26,5-37,0%. For improving stability of mine workings confirmed the feasibility of the developed recommendations on differential strengthening frame support by anchors with adjustable force deformation characteristic.

Keywords: massif, mine working, stability, influence of stope working, frame-bolting support, parameters, calculation, resource-saving.

Статья поступила в редакцию 3.09.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским