

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД КАК СЛЕДСТВИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Виконано аналіз досліджень стану гірських порід як слідства різних проявів гірського тиску з метою виявлення найбільш інформативних методів контролю.

ESTIMATION OF THE STATE OF ARRAY OF MOUNTAIN BREEDS HOW CONSEQUENCES OF DISPLAY OF MOUNTAIN PRESSURE ARE

The analysis of researches of the state of mountain breeds as consequences of different displays of mountain pressure with the purpose of exposure of the most informing methods of control is executed.

Наука о горном давлении развивается весьма интенсивно. Величины горного давления и смещений в выработках, определенные с известной степенью приближения с помощью аналитических и экспериментальных методов, приведены в работах [1-11]. При этом важнейшие физико-механические характеристики горных пород, применяющиеся для решения задач прогноза устойчивости выработок, более или менее точно позволяют описать поведение горных пород под воздействием напряжений и оценить конвергенцию горных выработок, нагрузки на крепи, объем вывалов и т.п. Получение прочностных и деформационных параметров горных пород основано на упрощенном моделировании напряженно-деформированного состояния элементарных объемов горного массива (образцов) в лабораторных и натуральных условиях или же на определении косвенных характеристик (твердости, скорости прохождения упругих волн, электросопротивления и т.п.), которые связаны с искомыми параметрами достаточно четкими зависимостями.

Моделирование свойств горного массива и проявлений горного давления имеет огромное значение для оценки и прогноза инженерно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых при условии, что известна информация о геологическом строении и свойствах пород по данным разведки, а непосредственного предмета изучения, "породный массив - горные выработки", еще не существует [12].

Б.В. Смирнов [13] разделяет моделирование на следующие классы: а) образное моделирование; б) логико-математическое моделирование; в) эвристическое моделирование; г) предметно-математическое моделирование; д) физическое моделирование; е) кибернетическое моделирование; ж) содержательное (вербальное) моделирование.

Математическое моделирование заключается в формальном описании свойств и особенностей изучаемых месторождений и процессов, возникающих при их вскрытии и разработке, с помощью математических средств. Для моделирования реальных свойств и процессов используются методы теории аппроксимации, алгебраические и дифференциальные уравнения или их системы.

Развитие применения математических методов в механике горных пород связано с использованием механических моделей проявлений горного давления, характеризующих горные породы и протекающие в них процессы [13]. Основные механические модели горного массива следующие: а) упругая; б) вязкоупругая; в) жесткопластическая; г) упругопластическая; д) упругопластическая неоднородная; е) вязко-упруго-пластическая; ж) вязкая (текущая); з) дискретная.

Основные гипотезы горного давления для одиночных выработок и тоннелей: а) гипотеза полного веса столба пород; б) гипотеза части веса столба пород; в) гипотеза балок (плит); г) гипотеза свода обрушения; д) гипотеза свода давления; е) гипотеза об отсутствии давления на крепь (стволов) в скальных породах.

Классификация существующих расчетных механических моделей взаимодействия крепи одиночной выработки с массивом горных пород приведена в табл. 1, а классификация характеристик крепи, массивов и режимов их взаимодействия дана в работе [14] и приведена в табл. 2.

Кроме моделей механики сплошной среды в решении задач горного давления находят применение модели механики дискретной среды: а) нарушенная и трещиноватая среда; б) отдельно-блочного массива; в) отдельно-зернистого массива.

Таблица 1 – Классификация существующих расчетных механических моделей

Тип модели	Модель	Главный фактор, влияющий на нагруженность крепи	Режим работы
1а	Упругая	Напряжение в нетронутом массиве (глубина)	Взаимовлияющая деформация
1б	Упруго-вязкая	То же	То же
2	Жестко-пластическая	Пролет выработки	Заданная нагрузка
3а	Упруго-пластическая	Радиус зоны пластических деформаций, смещение контура сечения выработки	Взаимовлияющая деформация
3б	Упругопластическая неоднородная	Радиус зоны разрушения, смещение контура сечения выработки	То же
3в	Вязко-упруго-пластическая	Смещение контура сечения выработки	То же
4	Вязкая (текущая)	Скорость смещения пород	Взаимовлияющая скорость деформирования

Поведение дискретной среды в большинстве случаев определяется статистическими закономерностями.

Таблица 2 – Классификация характеристик крепи, массивов и режимов их взаимодействия

Характеристика элементов расчетной схемы	Расчетная схема		
	незакрепленная выработка	крепь в условиях сводообразования	крепь в условиях совместного деформирования крепи и породного массива
Грузонесущая способность	Отсутствие крепи	1. Оградительная крепь или облицовка 2. Грузонесущая крепь или обделка	Грузонесущая крепь или обделка
Деформационные свойства	Отсутствие крепи	1. Постоянного сопротивления 2. Линейно нарастающего сопротивления 3. Нелинейно нарастающего сопротивления	1. Постоянного сопротивления 2. Линейно нарастающего сопротивления 3. Нелинейно нарастающего сопротивления
Режим взаимодействия крепи и породного массива	Отсутствие крепи	1. Заданная нагрузка 2. Совместное деформирование крепи и массива	Совместное деформирование крепи и массива
Породный массив	Локальное вывалообразование	1. Локальное вывалообразование 2. Сплошное сводообразование	Деформирование массива без разрывов сплошности

В последнее время предлагаются новые механические модели блочно-слоистого массива горных пород на основе использования реологии взаимодействующих шероховатых поверхностей. Проблема описания блочного массива, кроме механической, включает в себя также статистическую оценку распределения размеров блоков, трещин по ограниченному объему инженерно-геологической информации. Важными задачами являются также определение механических свойств массива, сложенного множеством мелких блоков, по механическим свойствам каждого блока, и моделирование блочного массива с помощью эквивалентных материалов.

Широкое применение в механике горных пород находят вероятностно-статистические методы:

- а) статистическая обработка и оценка свойств пород и массивов;
- б) вероятностные модели оценки прочности сплошного, слоистого и блочного массивов;
- в) вероятностные методы и модели оценки надежности элементов, массивов, горных выработок и подземных сооружений;
- г) статистические модели разрушения.

По характеру применения детерминированных или статистических методов механико-математические модели проявления горного давления можно разделить на детерминированные и вероятностно-статистические.

В зависимости от учета фактора времени и скорости приложения нагрузок модели можно разделить на статистические, квазистатистические и динамические.

Проведенный анализ методов моделирования горного массива для прогноза проявлений горного давления показали сложность и огромное многообразие

механико-математических моделей. Такое разнообразие моделей является естественным следствием многообразия горно-геологических условий, свойств и состояния горного массива.

Проблеме оценки устойчивости породного массива большое внимание в своих работах уделяли В.Т. Глушко, Ж.С. Ержанов, Ю.З. Заславский, Ю.П. Капленко, К.В. Кошелев, Ю.М. Либерман, А.П. Максимов, Г.Н. Савин, В.Д. Слесарев, И.Л. Черняк, а также Р. Квапил, А. Лабасс, Р. Феннер и др.

Исследования И.В. Баклашова, А.Ф. Булата, В.В. Виноградова, А.Н. Зорина, М.П. Зборщика, Б.А. Картозии, В.Г. Колесникова, К.В. Кошелева, В.В. Назимко, Л.В. Новиковой, А.Г. Протосени, И.А. Садовенко, А.Н. Ставрогина, Z.T. Wieniawski направлены на более глубокое изучение влияния изменения упруго-пластических свойств пород на устойчивость горных выработок. Исследования поведения пород в запредельном состоянии позволили оценить параметры зон разрушения пород вокруг выработок. Современное состояние теоретических разработок в механике горных пород дает возможность качественно, а в некоторых случаях и количественно оценить степень устойчивости массива в приконтурных зонах. Большой вклад в развитие этого направления внесли А.С. Космодамианский и его ученики С.В. Кузнецов, А.А. Левшин, Н.С. Хапилова и другие.

В конце прошедшего столетия во всем мире усилилось, неослабевающее и в этом веке, внимание к устойчивому развитию природы и общества [15]. По сути своей «развитие» может происходить лишь при поддерживаемом (сбалансированном) развитии. Поэтому в некоторых работах [16] правильным считают не «устойчивое», а поддерживаемое (сбалансированное) развитие.

«Развитие» рассматривается как смена состояний, в основе которой лежит невозможность сохранения предшествующих способов функционирования. Происходит переход накапливающихся изменений в новое качество, заставляя систему переходить через порог устойчивости, в новое состояние, с адаптивным для нее видом функционирования, приобретая при этом новые качества, что исключительно важно для количественного изучения сложных геосистемных комплексов и их элементов с возможно полным учетом факторов, обуславливающих собственно процесс изменения.

Несмотря на важность, до настоящего времени не разработан (и вряд ли может быть предложен) единый, всеобъемлющий показатель, оценивающий состояние изучаемых систем, охватывающий все стороны ее жизненного цикла.

Поэтому столь существенно оценивать состояние устойчивости с помощью определяющих индикаторов (определяющих параметров), критерии которых с возможным приближением могли бы охарактеризовать состояние геосистем при воздействии внешних и внутренних факторов. Для решения этой задачи, прежде всего, необходимо сформулировать критерии, на которые должно быть ориентировано устойчивое (сбалансированное) развитие. По отношению к нему (как это принято в теории надежности – одной из быстро развивающейся ветви прикладной математики) анализируется и устойчивое развитие геосистем, и статистические данные по индикаторам для изучаемого объекта или для аналога.

Для объективного определения картины устойчивого развития необходимы

критерии и индикаторы, позволяющие адекватно описывать и оценивать систему. Выбранный для решения задачи определяющий параметр должен обладать достаточной чувствительностью к изменению главных среди основных параметров. Для решения поставленной задачи ООН опубликовал индикаторы устойчивого развития для многих стран.

Индикаторы развития делятся на 3 группы: экономические, социальные и экологические. Для более полной оценки необходим и показатель человеческого развития, включающий демографические показатели. Критерии развития (на глобальной и государственном уровнях) – это показатели уровня жизни, состояния ресурсов, оценки их наличия, потребления и воспроизводства, соотношение с возможностями биосферы в целом. На региональном и локальном уровнях – это показатели пропорций между экономическими, экологическими и социальными составляющими, их «увязка» с концептуальными позициями устойчивости развития государства и общей стратегией развития человечества. Более полно упомянутые критерии развития описываются в работе [16].

Таким образом, специфика геомеханических систем заключается в том, что они: не статичны, а находятся в непрерывном изменении, являются открытыми, отличаются сложностью. Сложность анализируемых систем связана с нелинейностью, вследствие которой аналитическое решение уравнений очень трудно, а численное моделирование требует довольно большого количества данных по определяющим параметрам и переменным. Кроме того, характерным свойством является большая изменчивость показателей поведения.

Существенную роль в классификации статистических неустойчивостей играет теория катастроф [17]. Сводка основных результатов теории катастроф дана в табл. 3.

Таблица 3 – Список семи элементарных катастроф

Складка	$q^3 + \lambda^1 q$	Предельная точка Ассиметричная
Сборка	$q^4 + \lambda^2 q^2 + \lambda^1 q$	Устойчиво симметричная
		Неустойчиво симметричная
Ласточкин хвост	$q^5 + \lambda^3 q^3 + \lambda^2 q^2 + \lambda^1 q$	
Бабочка	$q^6 + \lambda^4 q^4 + \lambda^3 q^3 + \lambda^2 q^2 + \lambda^1 q$	
Гиперболическая омбилика	$q^3_2 + q^3_1 + \lambda^1 q_2 q_1 - \lambda^2 q_2 - \lambda^3 q_1$	Моноклиная
		Гомоклиная
Эллиптическая ом- билика	$q^3_2 - 3q_2 q^2_1 + \lambda^1 (q^2_2 + q^2_1) - \lambda^2 q_2 - \lambda^3 q_1$	Антиклиная
Параболическая ом- билика	$q^2_2 + q^4_1 + \lambda^1 q^2_2 + \lambda^2 q^2_1 - \lambda^3 q_2 - \lambda^4 q_1$	

Чтобы установить эти результаты для дискретных консервативных систем, поведение которых определяется потенциальной функцией, Рэнэ Том привлек топологическую концепцию структурной устойчивости. Теория катастроф объ-

яснила зависимость экспериментально наблюдаемых форм неустойчивости от числа управляющих параметров. В связи с этим, если имеется только один управляющий параметр λ , в случае общего положения можно наблюдать лишь катастрофу складки, которая имеет локально потенциальную функцию, указанную в таблице 3.

Если имеется независимое управление двумя параметрами λ^1 и λ^2 , которые могут быть, например, поперечной нагрузкой и осевой нагрузкой на стержень, можно дополнительно наблюдать сборку. В случае независимого управления тремя параметрами λ^1 , λ^2 и λ^3 можно дополнительно наблюдать ласточкин хвост и гиперболические и эллиптические омбилические катастрофы. При четырех управляющих параметрах может наблюдаться любая катастрофа из таблицы 3.

Приведенный перечень включает все структурно устойчивые особенности, которые могут наблюдаться в окружающем нас мире при воздействии от одного до четырех управляющих параметров. Следует отметить, что первые четыре катастрофы из списка катастроф имеют только одну активную обобщенную координату q_1 и q_2 как при простой потере устойчивости, в то время как последние три катастрофы имеют активные координаты и как в случае одновременной потери устойчивости по двум формам.

В правой стороне таблицы помещены инженерные наименования некоторых из особенностей.

На рис. 1 показано более сложное явление типа катастроф складки, которое может возникать при больших перемещениях пологих арок и куполов, являющимися достаточно хорошими моделями горных выработок.

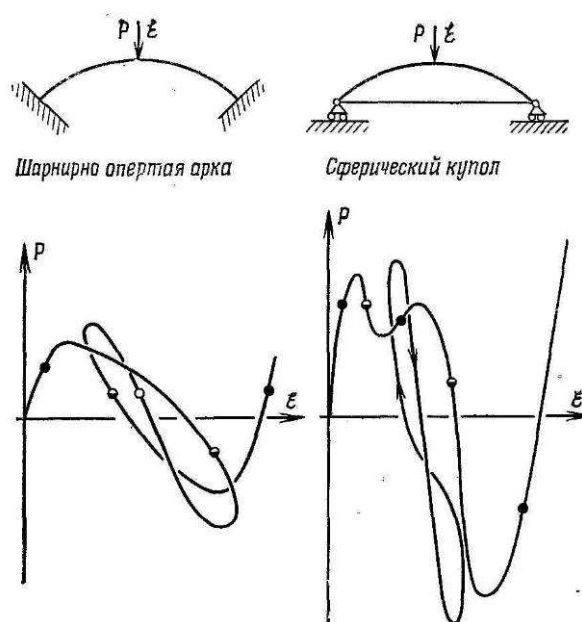


Рис. 1 – Последовательные складки на траекториях равновесия пологой арки и сферического купола

Ассиметричная или транскритическая бифуркация представляет по существу взгляд на складку под необычным углом в расширенном пространстве управлений (рис. 2).

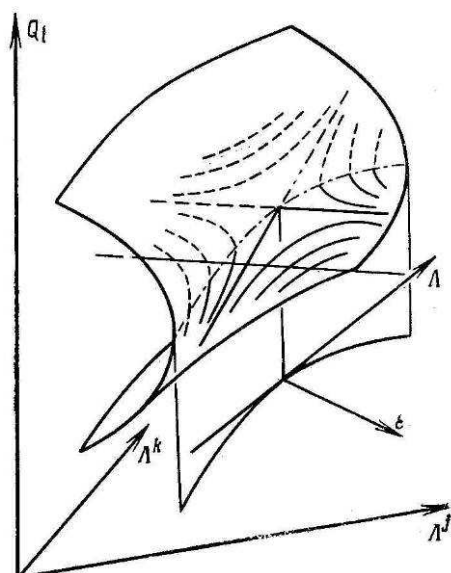


Рис. 2 – Асимметричная бифуркация как катастрофа складки

Вопросами разработки методов повышения устойчивости массива в приконтурных зонах и их эффективности успешно занимались А.Д. Алексеев, А.Т. Айруни, Г.Г. Литвинский, В.И. Николин, В.Н. Потураев, В.В. Репка, Б.М. Усаченко, однако необходимы дополнительные исследования в направлении выбора наиболее информативных показателей для оценки изменения свойств пород и степени устойчивости породного массива.

Н.К. Клишиным [18] собраны и проанализированы расчетные формулы, позволяющие характеризовать и оценивать степень устойчивости горных выработок и других обнажений. В табл. 4 приведены критерии устойчивости кровли, которые можно разделить на две группы: полученные путем расчета или непосредственно измерениями. Критерии первой группы используют в классификациях для разделения пород на классы, второй группы – для оперативной оценки состояния выработок.

В приведенных в табл. 4 формулах приняты следующие обозначения: l – полупролет выработки, м; L – пролет свода, м; u – высота свода, м; a, b – параметры заходки, м; C_p – коэффициент приведения; f – коэффициент крепости; K_i – коэффициенты, учитывающие степень нарушенности породного массива; h – мощность слоя, м; q_2, q_3 – частоты, соответствующие количеству выработок с кровлями средней устойчивости и устойчивыми; γ – объемный вес пород, Н/м³; t – время устойчивого состояния кровли, ч; $T = 1$ ч; H – глубина выработки, м; S_0 – площадь целика, м²; d – размер блока, м; σ – предел прочности горных пород, Н/м².

В результате проведенного анализа работ отечественных и зарубежных исследователей установлено, что хотя в настоящий момент накоплен значительный арсенал формул для теоретического определения давления на крепь, смещений в почве и боках выработки и т.д., однако эти формулы зачастую очень громоздки и содержат упругие, прочностные, а также вязкие и реологические параметры горных пород и материалов крепи. Поэтому возникает необходимость их оперативного определения в лабораторных или натуральных условиях.

Таблица 4 – Критерии устойчивости породных обнажений
(по материалам Н.К. Клишина [18])

Автор, год	Критерий	Зависимость
Крупенников Г.А., 1954	Угол наклона кровли (постоянная сплошности кровли)	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\partial l}{\partial x} = N$
Матвеев В.А., Андрюшенко Г.А., Козловский П.Р., 1968	Скорость опускания кровли	Опасная скорость – двукратное увеличение скорости в течение смены, более чем в 10 раз за одну минуту
Куликов В.В., Бранчугов В.К., 1972	Радиус кривизны вершины свода естественного обрушения	$r = \frac{L^2}{2u}$
Матвеев В.А., 1972	Эквивалентный пролет обнажения кровли: прямоугольной формы, треугольной формы	$l_s = aC_{np1} = a\sqrt{1 + \frac{2a^2}{3b^2}} - \frac{2a^2}{3b^2}\sqrt{3 + \frac{a^2}{b^2}}$
Булычев Н.С., 1972	Безразмерный коэффициент, учитывающий трещиноватость и влажность пород	$S = f \frac{K_M}{K_N} \frac{K_R K_W}{K_t K_A K_\alpha}$
Куликов В.В., Бранчугов В.К., Курячий В.И., 1973	Радиус кривизны вершины свода обрушения	$r = \frac{L^2}{2h} = 0,877\sigma_{сж}^{0,807}$
Проявкин В.Т., Овчаренко Б.П., Османян К.А., 1973	Уровень устойчивости в частях интервала между устойчивой и неустойчивой кровлями	$h = 0,5q_2 + q_3$
Весков М.И., Костин В.С., 1974	Предельная несущая способность слоев пород непосредственной кровли в зоне опорного давления	$k\gamma H \leq \left(3 + \frac{l}{m_n}\right) \frac{\tau_3}{2}$
Слинкин Б.П., 1979	Объем вывалов в зависимости от отношения пролета кровли и пролета раскрытия свода	$F = f(l, D_{pc})$
Мкртычан Т.А., 1980	Радиус кривизны вершины свода	$r = \frac{L^2}{8h}$
Якоби О., 1980	Индекс склонности к вывалам	$F_x = f(a)$
Выгодин М.А., Евтушенко В.В., 1990	Соотношение пределов прочности на разрыв и максимального расчетного в квазипородном слое	$\sigma_{pt}'' \geq [\sigma_p'']^\perp$
Личай Л.Б., 1980	Эквивалентный пролет	$l_{эж} = \operatorname{arctge}^{-0,6} - 0,2362S_0^{0,1383} - 4,519\left(\frac{a}{b}\right)^{2,9595} e^{-2,63a/t}$ $m = R_{cp} / d$
Палий В.Д., Смелянский Е.С., 1980	Остаточная прочность пород	$\gamma H \leq \sigma_s < \sigma_0$

Автор, год	Критерий	Зависимость
Ковалев О.В., 1981	Длительная прочность пород	$h_i = \frac{0,2\gamma l^2}{\sigma_p} 1,52e^{\frac{t}{T} \cdot 10^{-2}}$
Иданкин И.А., Аристанов И.Д., Кабылденов А.С., 1985	Приведенное растягивающее напряжение	$[\sigma] \leq \sigma_p$
Одинцов В.Н., 1986	Наибольшие главные напряжения, действующие вдоль контура, должны быть сжимающими и меньше критических, при которых блоки обрушаются	$0 \leq \sigma_{11}(s) \leq \sigma_{крит}$
Вальштейн Г.И., Акулов М.А., 1987	Высота свода для отдельно-блочного массива, ϕ' - угол внутреннего трения	$y = \frac{x}{\text{tg}\phi'}$
Дашко Р.Э., 1987	Условие предельного равновесия сыпучей среды при расчете устойчивости откосов	$r \geq \sigma \text{tg}\phi + C$
Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А., 1987	Отношение амплитуды сигнала на участке 100 Гц и 2000 Гц	$\beta = \frac{A(100)}{A(2000)}$
Матасова Г.Г., 1989	Относительное расстояние между блоками	$\psi = \frac{\alpha_n(2000)}{\alpha_0(0)}$ $m < 0,2$
Константинова С.А., Катиков В.Н., Клишев В.Л., 1990	Интенсивность напряжений на контуре выработок больше длительной прочности пород	$\sigma_i > \sigma_{i\infty}$
Шуплецов Ю.П., 1990	Коэффициент линейной трещиноватости	$N = \frac{20}{f}$

Широкое распространение в исследовании напряженного состояния и свойств массива горных пород получили геофизические методы.

При инструментальном исследовании состояния породного массива, синергетических процессов, происходящих вокруг горных выработок, весьма важной является задача выявления оптимального месторасположения измерительных станций, позволяющих получить максимально достоверную информацию.

В геомеханических системах, которые, безусловно, относятся к нелинейным, постоянно происходят процессы диссипации, способствующие выстраиванию регулярных систем, так как хаос конструктивен в самой своей разрушительности; он создает структуру, убирая все лишнее [19].

Разнообразие горно-геологических условий отработки месторождений и строительства подземных сооружений, переход на большие глубины и опасность выбросов требуют разработки новых технологических схем и средств крепления. В свою очередь, для выбора параметров создаваемых средств крепления необходимо знание особенностей проявления горного давления, физических процессов, происходящих вблизи геомеханических систем, управление

кровлей в соответствии с характером и поведением боковых пород, их устойчивостью, которая зависит, прежде всего, от литологического состава породного массива, строения и сочетания типов пород угля, угла залегания и мощности непосредственной кровли.

В открытых нелинейных системах, а значит и в массиве горных пород, любое малое воздействие, флуктуация, случайность могут привести к заметным изменениям состояния системы. Малая флуктуация может разрастаться в макроструктуру, однако для этого необходимо, чтобы наша система в этот момент была неустойчивой. То есть управление процессами развития нелинейной системы возможно лишь в том случае, когда наше воздействие на систему согласовано с ее внутренними свойствами, иными словами, воздействие должно быть резонансным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф. Геофизический контроль массива при отработке угольных пластов / А.Ф. Булат, В.К. Хохолев. - К.: Наук. думка, 1990. - 167 с.
2. Усаченко Б.М. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса / Б.М. Усаченко, В.Я. Кириченко, А.В. Шмиголь. - М.: ЦНИИЭИуголь, 1992. - 168 с.
3. Зорин А.Н. Механика управления гетерогенным упруго-пластичным массивом / А.Н. Зорин, Н.Н. Долина, В.Г. Колесников. - К.: Наук. думка, 1981. - 286 с.
4. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. - К.: Наук. думка, 1989. - 192 с.
5. Москалев А.Н. Влияние температуры на изменение внутренних напряжений в образцах сплава ВКВ / А.Н. Москалев, Т.В. Приходько // Способы разрушения и управления состоянием горного массива. - К.: Наук. думка, 1985. - С. 90-95.
6. Шевелев Г.А. В.С. Буримость как метод оценки механических свойств горных пород / Г.А. Шевелев, В.С. Кулинич // Уголь. - 1974. - № 12. - С. 38-41.
7. Васильев Л.М. Определение предельного состояния угольного массива с учетом трения пласта / Л.М. Васильев, А.В. Кононыхина, О.Н. Бычков // Управление процессами разрушения горных пород. - К.: Наук. думка. - 1984. - С. 8-13.
8. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости / В.В. Болотин. - М.: Физматгиз, 1961. - 339 с.
9. Глушко В.Т. Механика горных пород и охрана выработок / В.Т. Глушко, А.З. Широков. - К.: Наук. думка, 1967. - 153 с.
10. Егоров П.В. Результаты комплексных исследований напряженного состояния на Таштагольском месторождении / П.В. Егоров, Л.М. Лазаревич // Измерение напряжений в массиве горных пород. - Ч. 1. - Новосибирск: СО ИГД. - 1976. - С. 25-28.
11. Ержанов Ж.С. Об оценке напряженного состояния нетронутого горного массива / Ж.С. Ержанов // Математические методы в горном деле. - Ч. 2. - Новосибирск: Наука. - 1964. - С. 32-37.
12. Паламарчук Т.А. Теоретические основы геофизической диагностики геомеханического состояния породного массива с учетом синергетических процессов: дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.15.11 «Физические процессы горного производства»; 05.15.09 «Механика грунтов и горных пород» / Т.А. Паламарчук. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2002. - 385 с.
13. Смирнов Б.В. Использование моделирования для прогноза инженерно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых. - М.: Недра, 1975. - 99 с.
14. Научные основы автоматизированного контроля геомеханических процессов в углепородном массиве при горно-технологических работах. Отчет о НИР (заключительный) / НАН Украины Институт геотехнической механики. - № ГР 0195U015134. - К., 1999. - 173 с.
15. Мирцхулави Ц.Е. Проблемы экологии: количественная оценка состояния и риска опасностей географических систем, их устойчивость развития / Ц.Е. Мирцхулави // Инженерная экология. - М.: Инженерная экология, 2003. - №1. - С. 25-34.
16. Котляков В.М. Географические подходы к проблеме устойчивого развития / В.М. Котляков, Н.Ф. Глазовский, Л.Г. Руденко // Известия РАН. Серия географическая. - 1997. - №6. - С. 8-15.
17. Томсон Дж. М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике / Томпсон Дж. М.Т. - М.: Мир, 1985 - 254 с.
18. Клишин Н.К. Геомеханические основы системы контроля состояния и параметров упрочнения кровли в очистном забое: дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец.05.15.02. - Донецк, 1994. - 351 с.
19. Садовский М.А. О значении и смысле дискретности в геофизике / М.А. Садовский. - М.: Наука, 1989. - 189 с.