

удельные затраты по ряду основных компонентов в 5–15 раз ниже, чем при разработке природных месторождений), а также научно-технических возможностей в сфере материаловедения и перерабатывающих производств целесообразно применение предложенной системы нормативных, информационных и организационных решений на государственном, региональном, отраслевом уровнях и в международном сотрудничестве.

### **Библиографический список**

1. **Унификация** терминов в сфере обращения с отходами / З.С.Бройде, Е.А.Макаров и др. // Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов Сб. научных статей. — Одесса: ОЦЭНТИ, 2000. — С. 12–20
2. **ДСТУ 3911-99** (ГОСТ 17.9.0.1-99) «Охрана природы. Обращение с отходами. Выявление отходов и предоставление информационных данных об отходах. Общие требования». — К.: Госстандарт Украины, 2000. — 10 с.
3. **ДСТУ 3910-99** (ГОСТ 17.9.1.1-99) «Охрана природы. Обращение с отходами. Классификация отходов. Порядок наименования отходов по генетическому принципу и отнесения их к классификационным категориям». — К.: Госстандарт Украины, 2000. — 18 с.
4. **ДСТУ 2195-99** (ГОСТ 17.9.0.2-99) «Охрана природы. Обращение с отходами. Технический паспорт отхода. Состав, содержание, изложение и правила внесения изменений» (взамен ГОСТ 17.0.0.05-93/ДСТУ 2195-93). — К.: Госстандарт Украины, 2000. — 20 с.
5. **Harmonisation** of legal basis for management of industrial waste treatment with EU Regulations & Standards /Z.Broyde, Yu.Bespalov, J.-C.Guillaneau // Abstracts of 3rd International Congress on Waste Management: Moscow: 3-6 June 2003. — P. 359–360.

*© Бройде З.С., Макаров Е.А., Бройде Г.З., 2004*

УДК 622.833/.838:622.84/.85

Канд. техн. наук ШАМАЕВ В.В., инж. КУЛИШ Е.В. (ДонНТУ)

### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ОСВОЕНИИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Проблема комплексной экономической оценки всех аспектов освоения месторождений полезных ископаемых в начале XXI века стала весьма актуальной. Только в Украине бюджет выделяет на геологические разработки 347 млн. гривен, а возвращается всего — 67 млн. Начиная с 70-х годов XX столетия общество кроме затрат на разведку, подготовку и эксплуатацию месторождений вынуждено нести затраты и после прекращения добычи полезного ископаемого. Это вызвано рядом причин. Во-первых, процессами деформирования массива горных пород, продолжающимися в течение многих лет после отработки пластов. Горнопромышленный регион — это, как правило, область земной коры с высокой плотностью застройки и неуправляемые процессы деформаций вызывают повреждение и разрушение сооружений, коммуникаций и др. объектов. Во-вторых, миграцией газов и флюидов из выработанного пространства через системы техногенной трещиноватости. В сочетании с процессами деформирования массива перераспределение в массиве горных пород флюидов (в первую очередь подземных вод) приводит к изменению уровня грунтовых вод, засолению и затоплению почв, проникновению агрессивных шахтных вод в водоемы и водоводы (каналы) с питьевой водой, в которой горнопромышленные регионы испытывают острую нехватку. Выделяющиеся из недр газы и токсичные элементы таят ряд опасностей, предотвращение которых требует значительных затрат не только в промышленности, но и в социальной сфере. Так, например, скопления метана могут

вызывать взрыв. Продукты разложения полезного ископаемого могут вызывать нарушение деятельности организма, а такие газы как радон — психосоматические расстройства, что может вызвать даже обострение социальной напряженности в регионе. Накопление отходов горного производства и продуктов переработки приводит к отчуждению плодородных земель, необратимым изменениям почвенного покрова, индуцирует экологически опасные физико-химические процессы. Продолжительность протекания таких процессов составляет десятилетия.

Все это обуславливает необходимость затрат в течение длительного времени на поддержание систем дегазации, водоотливов, тушение отвалов, проведение экологического и геодезического мониторинга и пр. Следовательно модель затрат на освоение месторождения полезных ископаемых можно представить в следующем виде.

$$Q = Q_p + Q_s + Q_l + Q_n + Q_k, \quad (1)$$

где  $Q_p$  — затраты на разведку месторождения;  $Q_s$  — затраты на подготовку объекта к промышленной эксплуатации (строительство предприятий горнопромышленного комплекса, объектов социального комплекса и т.п.);  $Q_l$  — затраты на ликвидацию объекта горнопромышленного комплекса;  $Q_n$  — затраты на поддержание систем горнопромышленного предприятия от которых зависит состояние экосистемы региона (систем водоотлива, дегазации, геодезического мониторинга и пр.);  $Q_k$  — затраты на внедрение компенсационных энергоактивных технологий (извлечение метана, утилизация газов и флюидов, геотермальной энергии, извлечение ценных компонентов из горной породы) использование которых позволяет в определенной мере компенсировать расходы на освоение месторождения.

Использование модели затрат в предложенном варианте позволяет:

- 1) повысить объективность экономической оценки освоения месторождений;
- 2) обеспечить комплексный и системный подход к планированию затрат в рамках региона и государства в целом;
- 3) учесть социальные и экономические последствия разработки месторождения, существенно снизить или предотвратить опасность экологических катастроф.

Кроме того, использование этой модели в качестве основы при определении технико-экономических параметров освоения месторождения открывает возможности для увеличения жизненного цикла горнопромышленного комплекса, сокращения периода его окупаемости и более рационального расчета эффективности освоения месторождения. Последнее обусловлено включением в модель затрат на внедрение компенсационных технологий  $Q_k$ . Несмотря на то, что дополнение модели этим элементом, на первый взгляд, увеличивает суммарные затраты, при расчете окупаемости проекта позволяет сократить этот период за счет учета экономических выгод от утилизации полезных компонентов включенных в  $Q_k$ . Аналогичный подход применим к расчету эффективности проекта, т.к. как экономические выгоды, получаемые от внедрения компенсационных технологий, превышают затраты на их внедрение.

Вторым моментом является необходимость комплексного подхода к развитию всей инфраструктуры региона и стратегическому планированию экономики региона вследствие указанных взаимосвязей между разными на первый взгляд отраслями. Очевидно, что если горная промышленность погубит продовольственную и энерге-

тическую промышленность, то затраты на поддержание и развитие региона значительно возрастут (см. рис.1.).

Нарушение любой из указанных на рисунке 1 связей резко увеличивает расходы на освоение месторождения.

В свою очередь эффективность работы предприятий горного комплекса обусловлена внешними и внутренними воздействиями (см. рис 2)

Природные геофакторы являются доминантными (первичными) в этой системе. Их изменения протекают циклично, и эти закономерности изучают фундаментальные дисциплины. Остальные факторы вторичны и, следовательно, с целью оптимизации затрат можно попытаться вывить закономерности их взаимодействия и разработать модель прогноза с учетом изменения первичных геофакторов. Это первая часть проблемы.

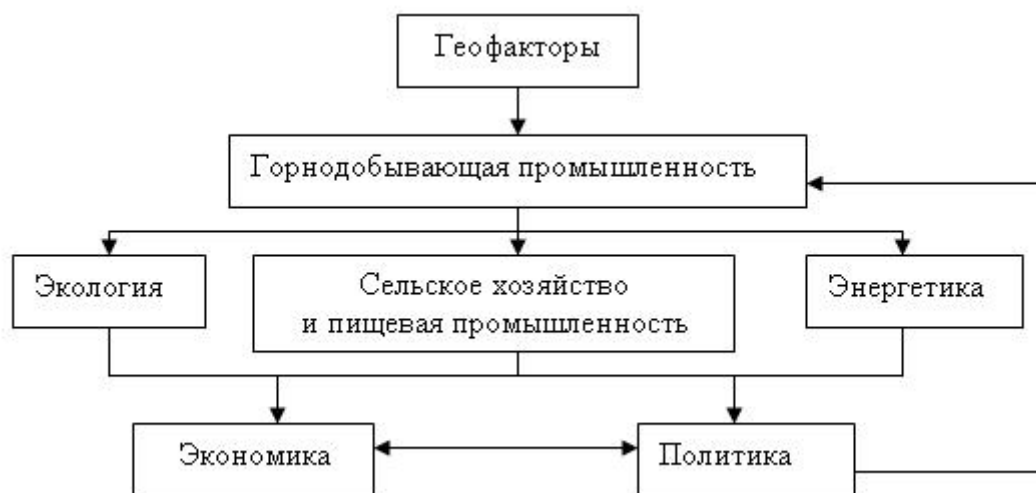


Рис. 1. Схема взаимосвязи природных и социально-экономических процессов в горнодобывающем регионе

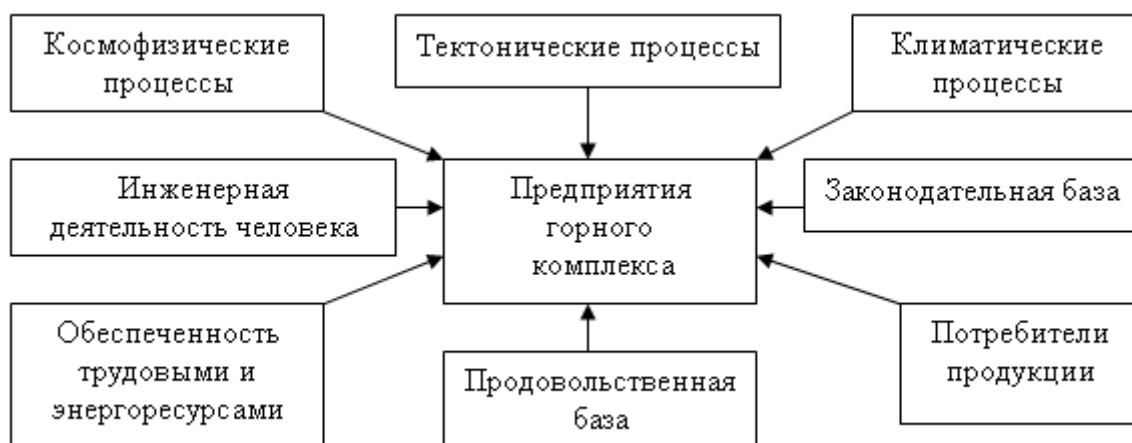


Рис. 2. Схема влияния внешних и внутренних воздействий на предприятие горнопромышленного комплекса

Вторая часть проблемы заключается в поиске новых источников сырья или энергии в том же месторождении, использование которых существенно снизит расходы, т.е. повысит эффективность и рентабельность месторождения. Известны предположения по вторичной переработке отходов горного производства и извлечения полезных минералов. Экономическая эффективность этого направления определяется геологией и геохимией шахтного поля, технологией добычи, методами и периодами складирования или переработки сырья, климатическими особенностями и временем существования, а также эффективностью технологии вторичного извлечения ценных компонентов.

Однако кроме этого и аналогичных направлений существует и другое — извлечение энергоресурсов из локальных техногенных месторождений в горном массиве, образующихся вследствие поведения горных работ. Типичными примерами таких техногенных месторождений являются *области расслоения горных пород*, в которых скапливается метан или другие флюиды. Время жизни таких техногенных месторождений сравнительно невелико (месяцы), а энергетическая и экономическая ценность значительны. По данным исследований выполненных авторами [1–3] объемы полостей расслоения составляют порядка 10% от объема извлекаемого полезного ископаемого. В то же время эволюция полостей расслоения обуславливает развитие термоупругих деформаций, обусловленных перераспределением теплового потока из недр. В отдельных случаях полости расслоения могут выступать в качестве очага геодинамического явления. Расслоения играют ту же роль, что и полости в упругой среде, вызывая концентрацию напряжений в одних направлениях и ослабление в других. Наблюдения за зонами расслоения показали уменьшение плотности среды и увеличение аномалии гравитации.

Массив горных пород — это область развития физико-механических явлений и деформационных процессов в результате ведения горных работ. В массиве можно выделить компетентные слои (определяющие процесс деформирования вмещающих его слоев). Слой противостоит давлению при деформировании таким образом, что его мощность изменяется незначительно, в то время как во вмещающих его некомпетентных слоях происходит изменение мощности, вызванное неравномерными нагрузками при деформировании.

В результате деформационных процессов протекающих в массиве горных пород в нем образуют полости и зоны расслоения. Согласно определению международного общества по механике горных пород, расслоение есть такое нарушение сплошности в породном массиве, которое не связано со сколько-нибудь значительным смещением блоков.

Полости расслоения могут образовываться вследствие естественных или искусственных (техногенных) процессов. Естественными процессами обусловлены будинаж, структуры расслоения или разлинзования. Когда толща, сложенная слоями пород с различными деформационными свойствами, подвергается неравномерному сжатию, в ней развиваются пластические деформации. В более жестких слоях образуется серия расслоений (будин), разделенных тонкими слоями, а более мягкие слои «обволакивают» эти расслоения. Расслоения также могут формироваться в результате протекания геохимических реакций (растворения, выщелачивания и др.).

*Техногенные процессы образования полостей расслоения, как правило, вызваны ведением горных работ в массиве горных пород.* При различной упругости отдельных слоев возникает значительная концентрация горизонтальных и практически полное отсутствие концентрации вертикальных деформаций. При различной упругости отдельных блоков (доменов) внутри слоя, наоборот, возникает высокая концен-

трация вертикальных деформаций и незначительная — горизонтальных. В реальном массиве за счет изменчивости свойств как внутри слоев, так и между слоями, возникает довольно сложное перераспределение деформаций, величина которых в локальных объемах во много раз (десятки, сотни) превышает деформации, возникающие в однородном массиве, что приводит к образованию полостей расслоения. Впервые теоретически доказал и научно обосновал появление расслоений в процессе деформирования массива горных пород А. Лабасс [4]. Образование расслоений при разработке пологих угольных и калийных пластов описано во многих работах. Однако для сложных горно-геологических условий крутопадающих пластов появление устойчивых зон расслоения долгое время было спорным. Для проверки этого положения авторами выполнены натурные исследования в Центральном районе Донбасса в зоне главной антиклинали. Исследовались процессы деформирования массива горных пород для условий щитовой выемки — наиболее перспективного технологического направления механизации очистных работ в этом районе. Экспериментальные исследования выполнялись на участке западного крыла шахтного поля шахтоуправления им. Ю.А. Гагарина. Исследования охватывали толщу пород до горизонтов 710–830 м в массиве выбросоопасных пластов «Соленый», «Девятка» и «Мазурка». Технология и организация проведения экспериментальных исследований подробно описаны в работах [1,2,5], там же приведены горно-геологические сведения. Продолжительность эксперимента составила 27 месяцев. Развитие зон расслоения контролировалось комплексным микросейсмическим и сейсмоакустическим методами, мониторингом скважинных глубинных деформометров, использованием волоконно-оптического скважинного эндоскопа, а также путем нагнетания в полости расслоения специального пластифицированного раствора [1].

По результатам комплексного экспериментального исследования установлено, что процессы развития и затухания полостей расслоения протекают периодически. Выделены четыре основных этапа деформирования горного массива. Первый этап характеризуется плавным сдвижением слоев массива без разрыва сплошности (см. рис. 3). На этом этапе физико-механические свойства компонентов слагающих массиве не меняются. Фазовое состояние минеральных групп и воды также неизменно. На втором этапе развитие зоны деформирования массива междупластья над выработанным пространством вследствие образования несущего пролета, состоящего из крепких и мощных пород, появляются полости расслоения. На третьем этапе в результате перераспределения деформаций в массиве полости расслоения перемещаются в пространстве. Четвертый этап характеризуется плавным затуханием процессов сдвижения и деформирования, а также закрытием полостей расслоения. Происходит стабилизация состояния геодинамической системы. Период протекания каждого этапа зависит в первую очередь от горно-геологических условий (мощности вынимаемого пласта, угла падения и т.д.).

Установлено, что процессы сдвижения и деформирования носят циклический характер и сопровождаются образованием систем локальных трещин и полостей расслоения. Процессы расслоения и деформирования массива начинаются сразу за прохождением забоя, а их развитие протекает в направлении движения забоя со смещением в сторону нетронутого массива (по простирацию пласта). Деформирование массива протекает в четыре этапа: плавное сдвижение горных пород, развитие расслоений, смещение расслоений в пространстве и закрытие расслоений. «Муаровые» пульсации геодеформационного поля прослеживаются и в пульсациях глубинных деформационных структур, вызывающих попеременные деформации сжатия и растяжения слоев массива. Однако эти пульсации не влияют на цикличность протека-

ния основных этапов деформирования и расслоения горных пород и не могут привести к разрушению и расслоению породных слоев, но в тоже время оказывают влияние на величину раскрытия расслоений и вызывают сейсмическую дилатансию — множественное хрупкое разрушение неоднородного горного массива (явление стреляния и растрескивания пород и др.).

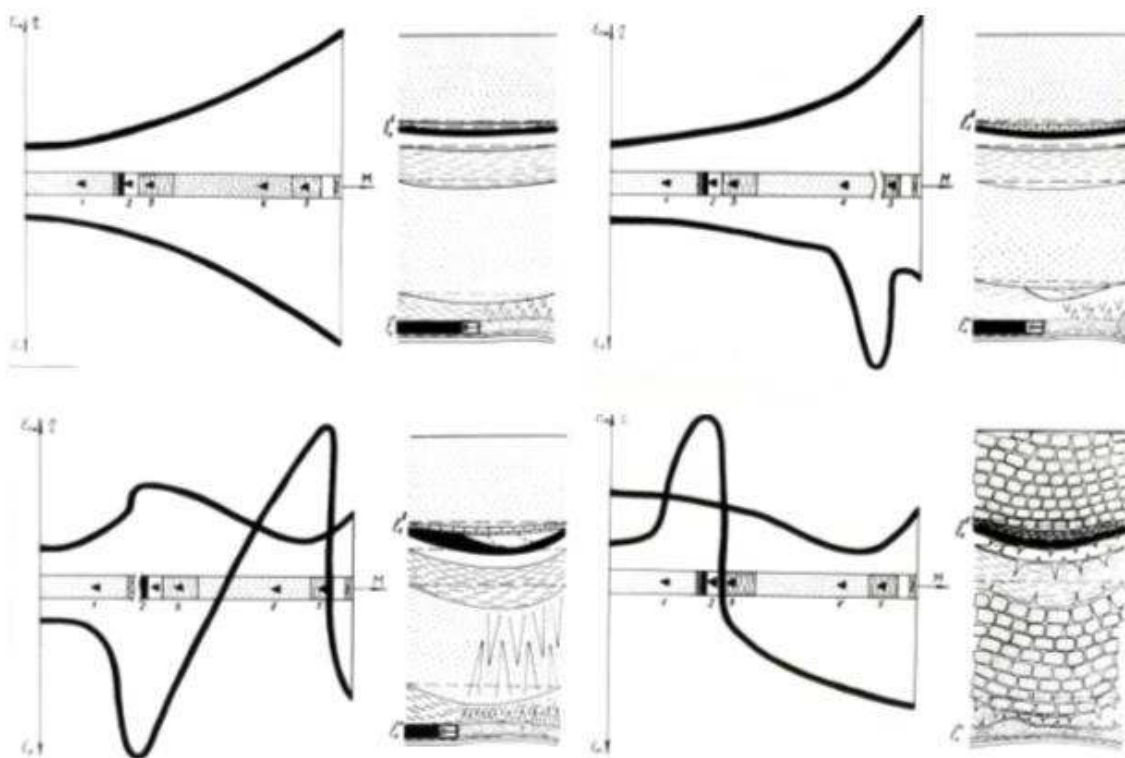


Рис. 3. Основные этапы деформирования массива горных пород с образованием областей расслоения

Практическая значимость полостей расслоения в первую очередь определяется такими параметрами как объем. Выполним оценку этого параметра исходя из полученных результатов деформирования массива. Как показано в работах [1, 3] формулы расчета оседаний слоев во времени имеют вид:

$$\eta_t = \eta_{maxi} \cdot S_t; \quad (2)$$

$$\eta'_t = \frac{\eta_{maxi}}{T} \cdot S'_t, \quad (3)$$

где  $S_t$ ,  $S'_t$  — безразмерные коэффициенты, характеризующие оседание и неравномерность оседания репера во времени. На основании изложенного в работе [1] коэффициенты принимаются равными соответственно:

$$S_t = e^{-2,8 \cdot t^2}; \quad (4)$$

$$S'_t = -5,6 \cdot t \cdot e^{-2,8 \cdot t^2}. \quad (5)$$

Подставив выражения в формулы (2) и (3), получим:

$$\eta_t = \eta_{maxi} \cdot e^{-2,8 \cdot t^2}; \quad (6)$$

$$\eta_t = \frac{\eta_{maxi}}{T} - 5,6 \cdot t \cdot e^{-2,8 \cdot t^2}. \quad (7)$$

Полученные зависимости позволяют определить объемы полостей расслоения, динамику их развития во времени и пространстве. Так, для определения объема полостей расслоения необходимо проинтегрировать кривую оседания и умножить на площадь основания. Как показано в работах [3, 6], величина оседания слоя составляет 0,7...0,9 мощности пласта. Следовательно, суммарное раскрытие полостей расслоения в плане с некоторым запасом можно принять равным площади отработанной полосы. Отсюда объем развившихся полостей расслоения можно представить в следующем виде:

$$V_{рассл} = S_{пл} \cdot 0,2 \cdot m \cdot \int_{j=-1}^{j=+1} S_z \cdot d_z, \quad (8)$$

где  $\int_{j=-1}^{j=+1} S_z \cdot d_z = 0,5$  — площадь поперечного сечения полости расслоения. Тогда:

$$\frac{V_{рассл}}{V_{выр.пр}} = \frac{S_{рассл} \cdot 0,2 \cdot m \cdot 0,5}{S_{пл} \cdot m}. \quad (9)$$

После преобразований получим:

$$\frac{V_{рассл}}{V_{выр.пр}} = 0,1, \quad (10)$$

т.е. объем развившихся полостей расслоения  $\sim 0,1$  объема выработанного пространства.

Этот вывод, а также зависимости (6) и (7) были использованы авторами при разработке способов активного управления состоянием массива горных пород.

Во время проведения эксперимента в зону расслоения массива горных пород было закачено 510 м<sup>3</sup> специального пластифицированного раствора, что составило  $\approx 12\%$  объема выработанного пространства и хорошо согласуется с расчетными данными. Режим нагнетания соответствовал изменениям поля деформаций для данного района.

Отработка крыла привела к появлению в массиве междупластья областей расслоения объемом свыше 5000 м<sup>3</sup>. Принимая во внимание количество заполнившего эти области свободного и физически связанного метана, энергетическая ценность которого значительно превышает теплотворную способность угля, можно утверждать, что использование техногенных месторождений газа экономически оправдано. Используемый газ можно использовать не только для сжигания, но и как моторное топливо для автотранспорта, хранить длительное время и транспортировать в виде гидратов метана и в других целях.

Экономические выгоды этих направлений детально рассмотрены авторами в работах [7–9]. Использование технологии извлечения и утилизации метана из зон рас-

слоения в условиях шахт производственных объединений «Донецкуголь», «Красноармейскуголь», «Артемуголь» позволит на 70–75% увеличить объемы извлекаемого газа и снизить выбросы метана в атмосферу, и повысить экономическую эффективность предприятий минимум в 1,3–1,5 раза. Реализация проектов извлечения и утилизации шахтного метана возможна в проектах разного срока. *Краткосрочные (1–2 года) проекты* на отдельных шахтах для улучшения дегазации и повышения безопасности ведения горных работ, увеличения нагрузки на очистной забой. Газ используется для удовлетворения текущих потребностей предприятия. *Проекты средней продолжительности (2–5 лет)* — с внедрением новых технологий извлечения газа и с созданием систем передачи и распределения газа. *Долгосрочные проекты (5–10 лет)* предполагают использование метана в рамках энергетической стратегии развития региона. Эффективность проектов оценивалась путем экономического анализа альтернативных вариантов для 6 угольных объединений Донбасса.

В настоящей работе предлагается внедрение в практику технологии извлечения и утилизации шахтного метана из техногенных месторождений в отработываемых и уже отработанных шахтных полях (в частности из зон расслоения). В основу технологии извлечения положена модель деформирования массива с образованием полостей расслоения, вскрываемых направленными вертикально-горизонтальными скважинами, которые бурятся с поверхности или вышележащих горизонтов. Внедрение технологии извлечения и утилизации газа позволит снизить дефицит энерго-ресурсов в регионе и стране. Применение указанных технологий в сочетании с методами активного управления состоянием массива (управления деформационными процессами) позволит предотвратить техногенные и экологические катастрофы.

### Библиографический список

1. **Шамаев В.В.** Исследование деформационных полей в массиве горных пород при отработке месторождений полезных ископаемых в сложных геотехнических условиях Центрального района Донбасса. — М.: ИПКОН АН СССР, 1988. — 48 с.
2. **Шамаев В.В.** Влияние технологии извлечения полезных ископаемых на состояние геодинамического поля и деформирование горных пород // Физика и техника высоких давлений. — Киев, Наукова думка, 1989. — Вып. № 32. — С. 57–66.
3. **Шамаев В.В.** Закономерности эволюции расслоений в массиве горных пород обусловленные геодинамическими полями // Физика и техника высоких давлений. — Киев, Наукова думка, 1990. — Вып. № 33. — С. 58–70.
4. **Лабасс А.** Управление кровлей посредством обрушения. // Международная конференция по горному давлению. — М.: Углетехиздат, 1957. — С. 61–85.
5. **Шамаев В.В., Рязанцев Н.А.** О природе формирования деформационных структур в массиве горных пород и их связи с аномальными геодинамическими явлениями. // Физика и техника высоких давлений. — Киев, Наукова думка, 1990. — Вып. № 34. — С. 46–55.
6. **Шамаев В.В.** Развитие концепции деформационных структур в проблеме контроля и прогноза состояния массива горных пород // Физика и техника высоких давлений. — Киев, Наукова думка, 1992. — Т. 2. — № 1. — С. 58–69.
7. **Шамаев В.В., Варзар Л.Э.** Технология утилизации шахтного метана // Изв. Донецкого горного института, 1999. — №2. — С. 110–114.
8. **Кулиш Е.В., Шамаев В.В.** Экономические аспекты использования шахтного газа в развитии инфраструктуры энергоресурсов региона // Материалы 2 международной конференции молодых ученых «Экономика и маркетинг», ДонНТУ, 2001. — С. 94–95.
9. **Кулиш Е.В., Шамаев В.В.** Эколого-экономические аспекты использования шахтного газа в регионе // Материалы 1 международной конференции «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», ДонНТУ, 2002. — С. 89–91.

© Шамаев В.В., Кулиш Е.В., 2004