

*Докт. техн. наук, профессор Антощенко Н. И.
Канд. техн. наук Чирок А. П.
(ДонГТУ, г Алчевск, Украина)*

О ФАКТОРАХ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ИМПУЛЬСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Приведені результати комплексного теоретичного аналізу нетехнологічних чинників, що викликають імпульсні процеси у вугільних шахтах. Запропоновані методи урахування їх сумарної дії на основі показника питомої енергоємності і функції часу.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В соответствии с теорией импульсных процессов, их основной причиной является нарушение баланса между энергией деформации и восстановления. К импульсным процессам можно отнести газодинамические явления в угольных шахтах. Для таких случаев энергия деформации обусловлена технологическими (нарушением природного равновесия в зоне влияния горной выработки), а также природными факторами. Энергия восстановления развивается как ответная реакция массива, вмещающего выработку, на указанные воздействия при его формоизменении.

Применительно к горным выработкам под импульсными процессами понимаются явления разгрузки от напряженного состояния массива пород, накопившего критическое количество энергии деформации за короткий интервал времени, сопровождающееся его разрушением и перемещением массы или перемешиванием вещества. Количественная оценка энергоемкости отдельных источников имеет важное значение при решении многих практических задач горного производства, а также позволяет научно обосновать и установить суть происходящих процессов.

Анализ исследований и публикаций. До настоящего времени не производился комплексный теоретический анализ воздействий, обусловленных силами всемирного тяготения, геологическими и другими природными процессами. Хотя ряд работ [1- 7] посвящен рассмотрению отдельных составляющих данного вопроса. Их анализ показывает, что все большее внимание исследователей привлекают вопросы изучения нетехнологических факторов, способствующих возникновению разломов пород почвы и выбросов угля (породы) и газа, как элемента, необходимого, для познания их природы.

Постановка задачи. Целью данной работы является анализ факторов, вызывающих рост энергии деформации системы. При этом с научной и практической точки зрения представляет интерес произвести их ранжирование по мощности и вкладу в работу разрушения.

Идея работы состоит в предположении о независимости и суммировании (суперпозиции) действия составляющих энергии деформации. При этом предполагается отсутствие их взаимного влияния. Следствием этого предположения является возможность периодического проявления отдельных факторов, их усиления и ослабления без какого бы то ни было влияния на прочие составляющие энергетического баланса, если обстоятельства, их обусловившие проявляются циклически. К причинам такого рода можно отнести влияние солнечной и лунной гравитации, периодические колебания земной коры и тому подобное.

Изложение материала и его результаты. Факторы, вызывающие импульсные процессы, можно подразделить на технологические и природные. К первой группе отнесли все дискретные целевые воздействия (например, буровзрывные работы) и периодические (непрерывные) целевые воздействия, такие как очистные работы и т. п. Непериодические (дискретные целевые) воздействия сообщают массиву весьма ограниченный энергетический поток, однако, как правило, сосредоточенный в весьма коротких промежутках времени. Кроме того, невозможно прогнозировать корреляцию между процессами накопления энергии в массиве и его разрядки, что делает их весьма опасными.

Периодические целевые воздействия напротив, весьма энергоемки, но, как правило, рассредоточены во времени. Кроме того, они в большей степени поддаются прогнозу. При этом, именно Периодические целевые воздействия составляют основу в балансе технологических факторов, вызывающих импульсные процессы.

Другую группу воздействий составляют природные, связанные с горно-геологическими процессами, влиянием солнечной и лунной гравитации и другими обстоятельствами. Их также целесообразно подразделить на регулярные и нерегулярные факторы природы.

Факторы природы можно классифицировать по физической сути в зависимости от источника потенциальной энергии. Такими источниками могут являться упруго-деформированные породы, газ и прочие флюиды. Кроме того, необходимо отметить наличие определенной зависимости в проявлении отдельных воздействий природного характера. В частности, газовое давление, обусловленное процессами десорбции, начинает вносить самостоятельный вклад при условии, если они становятся необратимыми. Это, в свою очередь, возможно только при снятии внешнего усилия, т. е. при перераспределении горного давления. Иначе говоря, некоторые элементы газовых факторов природы возникают как

следствие первичных природных факторов и являются вторичными. Это обстоятельство следует рассмотреть как исключительное, не вписывающееся в контекст принятых гипотез суперпозиции.

Противоречие может быть устранено, если учесть два обстоятельства. Во-первых, зависимость между первичными и вторичными факторами, как правило, носит разовый и односторонний характер. В частности, после превращения газового давления в самостоятельный источник влияния, последующие формоизменения массива, связанные с ростом горного давления, процессы сорбции газа не успевают произойти достаточно быстро, чтобы высвободившийся газ перестал вносить самостоятельный вклад в энергетический баланс. Во-вторых, связанные причинно-следственной связью факторы, следует рассматривать не изолированно, а объединенными в комплексы, которые оказывают сложное воздействие. В дальнейшем под понятием «факторы» будем понимать так же и их комплексы, например, «породно-газовый» природный комплекс.

Структурная схема основных воздействий согласно известным литературным источникам приведена на схеме (рис. 1).

Солнечная и лунная гравитации формируют в земной коре весьма сложный комплекс усилий. Они, как правило, носят периодический характер и связаны, в первую очередь, со следующими процессами:

- вращение Земли вокруг своей оси вызывает приливные деформации земной коры с периодом близким к половине синодических суток (усилия данной группы, вызванные движением Луны не в полной мере соответствуют солнечным, что обусловлено особенностями ее орбиты);
- перемещение Луны по своей орбите вызывает глобальные деформации земного шара, связанные с соответствующими перемещением его центра масс относительно общего центра системы «Земля-Луна», с периодом равным половине солнечных суток. Имеет место чередование сильных и слабых максимумов через одинаковые интервалы;
- лунное притяжение оказывает локальное воздействие на поверхностные слои Земли, несколько понижая горное давление в направлении Луны и ему противоположном, и увеличивая его на оси перпендикулярной к этому направлению;
- обратным по характеру воздействия процессом, который может не совпадать с ним по фазе, является притяжение глубинных слоев Земли (их следование за движением спутника), что вызывает проявление в поверхностных слоях усилий, близких по воздействию к силам поверхностного натяжения в капле жидкости, стремящихся повысить уровень горного давления.



Рисунок 1 – Структурная схема факторов, вызывающих импульсные процессы

Однозначно оценить составляющую горного давления, обусловленную силами всемирного тяготения, значит дать зависимость вносимой ею энергии деформации (ее плотности). Решение такой задачи весьма затруднено, в первую очередь по причине неоднозначности их влияния. В настоящее время, с высокой достоверностью можно оценить средний по объему земного шара уровень энергоемкости, соответствующий моменту совпадения фаз всех оговоренных колебательных процессов. При этом, следует ожидать достаточно малого значения градиента данного параметра в объеме Земли.

Движение Луны по орбите вызвано силой гравитации со стороны Земли. В соответствии со вторым законом Ньютона равное по модулю усилие оказывает и спутник. Это, безусловно, должно приводить к некоторому отклонению от земной орбиты, однако вследствие существенной разницы масс (в 81 раз) и прочих астрономических факторов этого не происходит. В то же время имеет место смещение центра тяжести Земли, а следовательно, ее деформация. Совершаемая при этом работа

$A_{тяг}^{def}$, отнесенная к объему планеты V_3 , и представляет собой искомым параметр гравитационной плотности энергии $\overline{E}_{тяг}^l$:

$$\overline{E}_{тяг}^l = \frac{A_{тяг}^{def}}{V_3}. \quad (1)$$

Работу деформации определим, используя модель абсолютно твердого тела и выражение для закона всемирного тяготения. Применим метод виртуальных перемещений. В качестве возможного перемещения Земли под действием лунного притяжения рассмотрим фактическое перемещение недеформируемого шара, находящегося под действием такого же комплекса сил. Для оценочных расчетов, точность которых допустима, исходя из принятой цели исследований, можно принять соотношение вида:

$$M \cdot L = m \cdot l, \quad (2)$$

где M и m - соответственно масса Земли и Луны;
 L и l - соответственно, перемещение Земли и Луны под влиянием лунной (солнечной) гравитации ($l = 2 \cdot \pi \cdot R_{орб}$).

Подставив в уравнение (1) значения $A_{тяг}^{def}$ и V_3 , получим:

$$\overline{E}_{тяг}^l = \frac{\gamma \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \cdot \frac{M}{m} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{орб}}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_3^3} = \gamma \cdot \frac{3 \cdot M^2 \cdot R_{орб}}{2 \cdot r^2 \cdot R_3^3}, \quad (3)$$

где γ - гравитационная постоянная;
 r -расстояние от Земли до Луны;
 $R_{орб}$ - радиус лунной орбиты;
 R_3 -радиус Земли.

Механизм воздействие солнечного притяжения принципиально не отличается от лунного, поэтому без учета фаз и периодов его составляющие могут быть оценены в пропорции к составляющим $\overline{E}_{тяг}^l$:

$$(\overline{E}_{тяг}^c)_i = k_{тяг}^i (\overline{E}_{тяг}^l)_i, \quad (4)$$

где $k_{тяг}^i$ - эмпирический коэффициент подобия.

При этом следует отметить, что влияние Солнца на порядки уступает влиянию Луны вследствие его большей удаленности.

В нетронутом горном массиве, как известно, имеют место напряжения, связанные как с давлением слоя вышележащих пород, так и с геологическими процессами. Первоначально они либо уравновешены реакцией пород, либо их действие нивелировано за счет работы трещинообразования. Исходный массив делится на блоки, которые переориентируясь в пространстве сводят свою потенциальную энергию к минимуму, который может быть уравновешен суммой работы деформации (W_δ), работой его разрушения (W_p) и энтропии (Ψ).

Негравитационные составляющие напряжения в изолированных горных породах определяются в первую очередь тектоническими процессами (глобальный уровень) и сейсмической активностью в районе (локальный уровень). Из вышесказанного становится очевидным, что сумма указанных составляющих не превышает величины:

$$W_{нс}^{глоб} + W_{нс}^{лок} \leq k_{тр}^2 \cdot W_\delta + k_{тр}^p \cdot W_p + \Psi \quad (5)$$

где $W_{нс}^{глоб}$ – негравитационные составляющие глобального уровня;

$W_{нс}^{лок}$ – негравитационные составляющие локального уровня;

$k_{тр}^2$ – коэффициент ослабления за счет трещин для гравитационной составляющей энергии деформации;

$k_{тр}^p$ – коэффициент ослабления за счет трещин для составляющей энергии деформации, связанной с разрушением пород.

Оценить влияние сейсмических факторов можно только для конкретных условий, учитывая активность земной коры.

Весь проанализированный комплекс факторов может рассматриваться как функция времени, за исключением ряда постоянных во времени воздействий (например, гравитационная составляющая горного давления). Они могут являться как дискретными для нерегулярных факторов, так и непрерывными (периодическими и непериодическими). Основной их характеристикой следует считать вид зависимости, момент проявления и период. Энергию деформации ε_i выразим в условных единицах, относительно к гравитационной составляющей, определенной для глубины H методом виртуальных перемещений W_2 :

$$W_2 = \rho \cdot g \cdot H \cdot \delta(\sigma), \quad (6)$$

где ρ - средняя плотность пород;

g - ускорение свободного падения;

$\delta(\sigma)$ - относительная деформация пород соответствующая напряжению

$$\sigma = \rho \cdot H.$$

Тогда относительная энергоёмкость ε_i i -го фактора с энергией W_i составит:

$$\overline{\varepsilon}_i = \frac{W_i}{W_2}, \quad (7)$$

а суммарная относительная энергоёмкость будет равна:

$$\overline{E} = \sum_i \overline{\varepsilon}_i(t) \cdot \cos(\omega_i \cdot t) + \sum_j \overline{\varepsilon}_j(t) \cdot [\eta_j(t_0) + \eta_j(t_0 + \Delta t_j)], \quad (8)$$

где $\overline{\varepsilon}_i$ и $\overline{\varepsilon}_j$ - соответственно относительные амплитудные значения энергоёмкости регулярных и нерегулярных факторов;

ω_i - частота проявления i -го фактора;

η_j - зависимость для аппроксимации j -ой дискретной функции;

t - текущее время;

t_0 - начальный момент действия случайного фактора;

Δt - продолжительность действия случайного фактора.

Анализ зависимости (1) позволяет установить, что размерность параметра \overline{E} в системе СИ Дж/м², следовательно, он определяет не величину энергии, накопленную в некотором слое, а ее удельное количество, или плотность, безотносительно к его размерам и форме.

Уравнение (3) показывает, что величина \overline{E} колеблется в некотором диапазоне от значения $\overline{E}_{\min} \leq 0$ до $\overline{E}_{\max} > \min(-\overline{E}_{\min}; 0)$, т.е. при определенных условиях значение энергии деформации может быть отрицательным. Следовательно, в этом случае условия для развития энергии восстановления не возникают.

Качественное изменение энергоёмкости во времени $\overline{E}(t)$ можно представить графиками (рис. 2). Ее рассмотрение позволяет установить, что проявление импульсного процесса это случайное событие (один из четырех максимумов суммарной кривой соответствует среднему, а второй минимальному значению базовой периодической функции). Для его возникновения необходимо сочетание максимумов некоторой базовой функции $\overline{E}_0(t)$, соответствующей наиболее сильному периодическому фактору

или комплексу факторов с непериодическими составляющими. Кроме того, необходимо совпадение пика $\bar{E}(t)$ с пиком мощности $d\bar{E}(t)/dt$.

Значение относительной энергоемкости с увеличением глубины первоначально растет за счет увеличения напряженно-деформированного состояния, превышая критическое значение $\bar{E}_{кр}$, соответствующее началу разрушения массива, а затем начиная с определенной глубины убывает (рис. 3). Следовательно, для любых конкретных условий существует диапазон, глубин от $H_{кр1}$ до некоторого значения $H_{кр2}$, характеризующийся соотношением $\bar{E} < \bar{E}_{кр}$. Определить глубину залегания $H_{кр2}$ можно только при полном учете эмпирических данных о конкретных горно-геологических и технологических условиях изучаемой горной выработки, накопленных в процессе эксплуатации вышележащих горизонтов. В то же время значительно больший интерес для практики, с точки зрения безопасности ведения работ, представляет величина $H_{кр1}$, значение которой можно рассчитать теоретически.

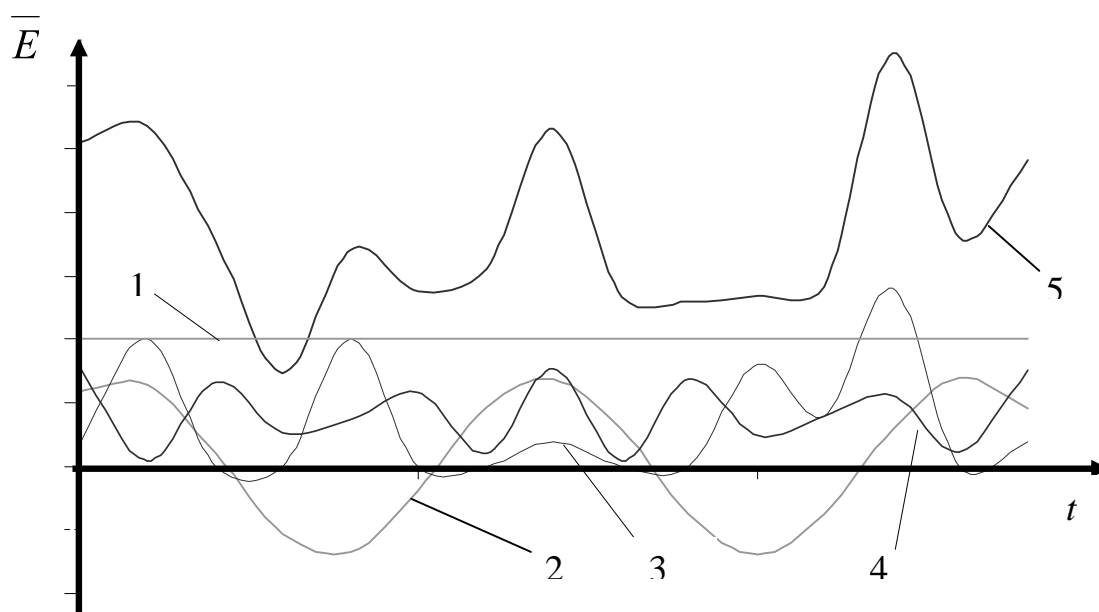
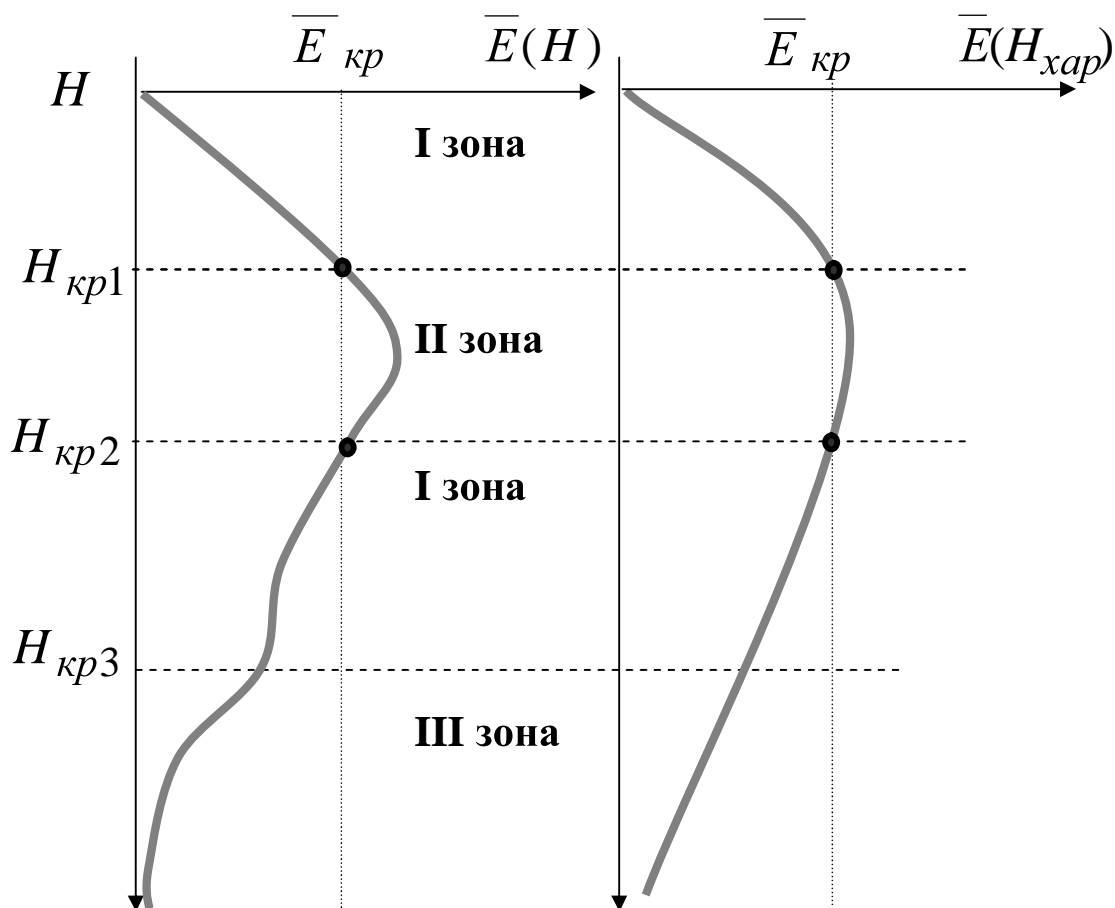


Рисунок 2 – Взаимодействие факторов, вызывающих импульсные процессы.

- 1 – постоянно влияющие факторы (горное давление от веса пород и др.);
- 2 – периодические факторы (силы всемирного тяготения и др.);
- 3 – случайные, регулярные факторы (технологические воздействия др.);
- 4 – случайные, нерегулярные факторы (напряжения в нетронутом массиве);
- 5 – суммарная кривая.

При дальнейшем погружении, по достижению некоторой глубины $H_{кр3}$, для которой напряжения превышают предел текучести ($\sigma_6 > \rho \cdot H$), рост энергии деформации прекращается за счет интенсивного увеличения энтропии, связанной с трещинообразованием и разрушением пород. Следовательно, величина \bar{E} начинает падать значительно интенсивнее, стремясь к некоторому постоянному значению.



а)

б)

Рисунок 3 – Распределение удельной энергоёмкости по глубине массива.

а) - удельная энергоёмкость, отнесенная к энергоёмкости сил горного давления на заданной глубине;

б) - удельная энергоёмкость, отнесенная к энергоёмкости сил горного давления на характерной глубине.

I зона – импульсные процессы происходят нерегулярно, основными являются геологические факторы;

II зона – импульсные процессы происходят с постоянным периодом;

III зона – импульсные процессы мало вероятны.

Количественные значения $\bar{\varepsilon}_i$, соответствующие $H_{хар} = 1000$ м получены и систематизированы на основании расчетов по приведенным выше методам (табл. 1). За единицу измерения принята весовая составляющая горного давления.

Таблица 1 – Количественные значения относительной энергоёмкости основных источников энергии деформации

№ п/п	Наименование источника энергии	Тип источника энергии	Характеристика, причина	Показатель $\bar{\varepsilon}_i$
1	2	3	4	5
1	Весовая составляющая горного давления	Природный, непериодический, стационарный.	База работы деформации. Вес подработанного массива пород	1,0
2	Газовое давление	Природный, непериодический, стационарный.	Давление газа, высвободившегося в процессе десорбции, при условии ее необратимости.	0,1... 0,4
3	Комплекс «горно-газовое давление» и комплекс «газ-флюиды»	Природный, непериодический, случайный.	Давление газа и других флюидов, а также давление газа, высвободившегося при обратимой десорбции.	0,05... 0,15
4	Комплекс «технология-газ»	Природный, непериодический, случайный.	Давление газа, высвободившегося при обратимой десорбции.	не более 0,05
5	Технологические воздействия	Природный, непериодический.	Опасны по вкладу в мощность импульсного процесса.	не более 0,15
6	Температурные напряжения	Технологический, непериодический, стационарный.	Охлаждение выработки атмосферным воздухом.	не более 0,02
7	Геологические процессы в земной коре	Природный, непериодический.	Трудно прогнозируемые. Давление и подвижки в земной коре	0,05... 2,3
8	Силы всемирного тяготения	Природный, периодический	Движение Солнца и Луны.	0,05... 0,45

На основании предложенных моделей можно выделить некоторые зоны, имеющие общие закономерности проявления импульсных процессов:

– в I-й зоне (диапазон глубин $H \in (0; H_{кр1}) \cup (H_{кр2}; H_{кр3}]$) импульсные процессы являются вероятными непериодическими событиями, вызываемыми случайным совпадением множества факторов. На этом участке следует ожидать преобладания геологических напряжений;

– II зона ($H \in [H_{кр1}; H_{кр2}]$), характеризуется периодическим повторением импульсов по мере накопления избыточной энергии деформации, с относительно постоянной частотой;

– для III-ей зоны ($H \in (H_{кр3}; \infty)$) свойственно влияние непериодических факторов, таких как геологические напряжения и вес пород. Логично предположить, что вероятность импульсного процесса здесь не велика, но его мощность и энергоемкость чрезвычайно высоки.

Предложенный подход весьма эффективен для отыскания критических глубин. Однако, он имеет недостаток, связанный с непостоянством W_2 . Для его устранения и упрощения зависимости $\bar{E}(H)$ в выражение (7) вместо $W_i(H)$ необходимо подставить его фиксированное значение ($H_{хар}$) для характерной глубины, определяемой зоной ведения горных работ $W_i(H = H_{хар})$.

Вклад суммы неучтенных факторов, согласно экспертных оценок, не превышает 10...20% энергоемкости.

Данные (см. табл. 1) показывают, что определяющими для возникновения импульсного процесса могут оказаться весовая составляющая горного давления и геологические процессы в земной коре, а так же совпадение более слабых.

Произведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

– кроме усилий, определяемых весом вышележащих пород и газового давления, разломы и прочие импульсные процессы в зоне влияния горных выработок могут вызываться силами всемирного тяготения и процессами, протекающими в земной коре, а так же технологическими воздействиями;

– указанные факторы можно подразделить на периодические (основные из которых составляют базу для работы разрушения) и случайные, как правило, характеризующиеся высокой мощностью;

– установлено, что вероятность и интенсивность импульсов определяется случайными процессами при совпадении максимумов энергоемкости нескольких факторов;

– силы всемирного тяготения, в первую очередь притяжение Луны, оказывают сложный комплекс воздействий, совпадение фаз и периодов которых способно обеспечить массиву весьма высокую относительную энергоемкость;

– в ряде случаев (специфика геологического района) определяющими могут оказываться усилия, вносимые негравитационными процессами.

Приведены результаты комплексного теоретического анализа нетехнологических факторов, вызывающих импульсные процессы в угольных шахтах. Предложены методы учета их суммарного воздействия на основе показателя удельной энергоемкости и временных функций.

The results of complex theoretical analysis of non-technological factors which cause impulsive processes in coal mines are resulted. The methods of account of their total action are offered on the basis of index of specific energy capacity and temporal functions.

Библиографический список

1. Васильченко А. А. Физико-химические причины пучения пород и внезапных выбросов // Уголь Украины, 1987, №2, с. 30-32.
2. Овчаренко В. Л., Приходько С. Ю. О связи выбороопасности угольных пластов Донбасса с изменением солнечной активности и силы тяжести // Уголь Украины, 1999, №10, с. 48-50.
3. Грязнов В. С., Ирисов С. Г. Влияние продолжительности очистных работ на сейсмоакустические показатели выбороопасности // Уголь Украины, 2002, №8, с. 32-34.
4. Зуев Л. А., Приходько С. Ю. О взаимосвязи частоты внезапных выбросов с космогенными и геофизическими факторами // Уголь Украины, 2000, №6, с. 41.
5. Овчаренко В. Л., Приходько С. Ю. Влияние приливных деформаций Земли на газодинамические явления в шахтах // Уголь Украины, 1998, №8, с. 35-36.
6. Гусаков Н. Г. Природа происхождения и механизм проявления внезапных выбросов угля, газа и пород // Уголь Украины, 1980, №11, с. 35-38.
7. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие/ И. М. Петухов, А. М. Линьков, В. С. Сидоров и др.- М.: недра, 1992 – 256 с.