

## РАСЧЕТ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОРОД С УЧЕТОМ СТАТИЧЕСКОГО, КИНЕМАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО АСПЕКТОВ В ПРОЦЕССЕ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

МИРЕНКОВ В. Е.

*Ведение очистных работ на угольных пластах сопровождается различными проявлениями горного давления, такими как обрушение кровли, отжим угля, газовыделение, зависание кровли и др. Любая задача, возникающая в практике добычи полезных ископаемых, должна анализироваться с позиций динамики, и только в этом случае можно приблизиться к пониманию процесса разрушения, сопровождающегося увеличением выработанного пространства. Сложность строения массива пород и связанное с этим большое количество параметров, его характеризующих, которые изменяются в процессе подвигания забоя, что сопровождается непрерывным процессом разрушения и подготовки к разрушению, не позволяют сформулировать и реализовать динамическую постановку проблемы. До настоящего времени прогноз проявлений горного давления основывался на упруго-пластическом анализе напряженно-деформированного состояния в окрестности выработки. В данной работе предлагается новый метод управления горным давлением, в общем случае анализирующий статическую, кинематическую и динамическую составляющие процесса. Рассмотрение статической составляющей предполагает известный классический подход к построению возможной линии разрушения. Кинематический аспект проблемы предполагает необходимость учесть влияние собственного веса пород на процесс разрушения. Динамика процесса подготовки разрушения при увеличении выработанного пространства рассматривается на примере анализа влияния единичного подвигания забоя. Все эти составляющие процесса накопления повреждений позволяют более точно отслеживать проявления горного давления.*

**Ключевые слова:** выработка; очистные работы; напряжения; смещения; накопление повреждений; разрушение; вес пород.

При ведении очистных работ на угольных пластах возникают проблемы управления горным давлением. Трудности эксплуатации месторождений связаны прежде всего с увеличением горного давления за счет отработки более глубоких горизонтов. К наиболее серьезным из них относятся: сдавливание подготовительных выработок, требующее затрат на перекрепку, которые превосходят затраты на проведение выработок; увеличение аварийности в очистных забоях, ухудшение устойчивости бортов лавы; возникновение динамических явлений, внезапных выбросов угля и газа, горных ударов, прорывов глины и т. п. Одной из таких проблем являются труднообрушаемые кровли выработок, которые можно рассматривать как частный случай ситуации, возникающей в процессе добычи полезных ископаемых, но достаточно характерный и плохо решаемый на практике. При отработке пласта движение забоя происходит в двух направлениях: по длине лавы и перпендикулярно к длине. Вопрос с труднообрушаемыми кровлями при добыче угля решается в рамках правил, предполагающих при определенном пролете очистного пространства проводить нагнетание раствора в кровлю, ожидая ее обрушения. В процессе добычи угля в таких условиях передвижная крепь в лаве перемещается последовательно, отдельными секциями.

Разрушение, согласно механическим законам, оказывается достаточно независимым от выбранной модели процесса, так что выделить единственность в момент разделения на части, как это считалось раньше, не удастся. Конечно, единственность разрушения имеет место всегда, но указать последний конкретный нюанс в этом процессе нельзя (он может быть любым и не вписываться в выбранную модель). При классическом подходе прогноз динамических проявлений горного давления в очистных забоях основывается на упруго-пластическом или реологическом решении соответствующей задачи. Все такие решения дают далекие от действительности значения момента разрушения, и поэтому вводятся всякого рода поправочные коэффициенты. В работе [1] прогноз основан на установлении

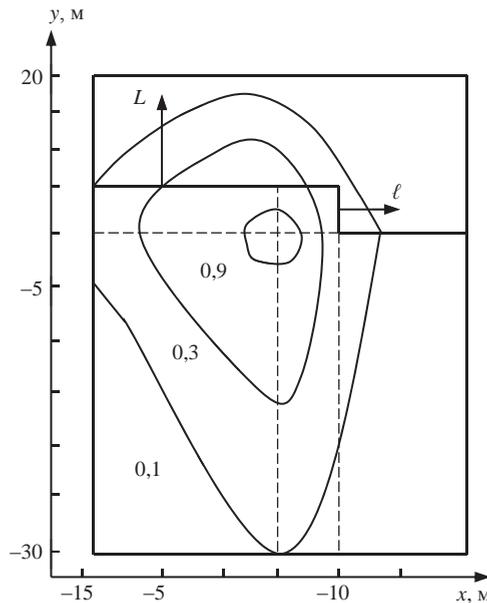


Рис. 1. Несимметричная поверхность приращений смещений от единичного подвигания очистного забоя

момента перехода окружающего массива в окрестности нескольких соседних секций крепи из стабильного в нестабильное состояние вследствие ускорения ползучести горных пород. Прогноз основывается на анализе конвергенции забоя лавы в течение рабочего цикла. Будем считать, что расчет напряженно-деформированного состояния сделан и соответствующая предельная линия возможного разрушения вычислена согласно выбранной теории прочности. При этом предполагается подвигать забой до тех пор, пока напряжения на этих линиях не будут превосходить предельно допустимые. Назовем такой подход к оценке разрушения статическим.

Движение забоя по длине лавы образует уступ, создаваемый при передвижении секции крепи. На рис. 1 приведена заимствованная из [2] поверхность приращений смещений кровли от единичного подвигания очистного забоя  $l$  в направлении оси  $x$ , сопровождаемого динамическим ударом пород кровли по соседней с подвигаемой секции. Подвигание забоя  $L$  в направлении оси  $y$  приводит к возрастанию смещений от последующих единичных перемещений секций крепи и, следовательно, к последовательному росту нагрузки на секции крепи, т. е. определяет динамику процесса отработки пласта, никак не учитываемую до настоящего времени.

**Формулировка задачи.** Остановимся на возможности управления горным давлением исходя из физики явления единичного подвигания забоя. Любая физическая проблема должна рассматриваться в трех направлениях исследования – это формулировка независимых статической, динамической и кинетической задач, позволяющих понять процесс с разных сторон. Формулировка динамической задачи и кинематический подход в геомеханике в силу сложности и неизвестности объекта не представляются рациональными. В силу этих же причин и статический подход к такой проблеме, как следует из предыдущего опыта, не применим [3, 4].

Учет напряженного состояния (статика) и собственного веса пород (кинематика) требует численного расчета напряженно-деформированного состояния в окрестности выработки. Необходимость рассматривать в этом процессе обратные задачи [5], сводящие процедуру к формулировке класса труднорешаемых задач, делает единственно возможным методом расчета использование уравнений, связывающих граничные значения компонент напряжений и смещений [6]:

$$f(t_0) + 2\mu g(t_0) = \frac{1}{\pi i \Gamma} \int \frac{f(t) + 2\mu g(t)}{t - t_0} dt;$$

$$\kappa \overline{f(t_0)} - 2\mu \overline{g(t_0)} = \frac{1}{\pi i \Gamma} \int \frac{\kappa \overline{f(t)} - 2\mu \overline{g(t)}}{t - t_0} dt - \frac{1}{\pi i \Gamma} \int [f(t) + 2\mu g(t)] d \frac{\bar{t} - \bar{t}_0}{t - t_0},$$

где  $\kappa = 3 - 4\theta$ ;  $\mu = E[2(1 + \theta)]^{-1}$ ;  $E$  – модуль Юнга;  $\theta$  – коэффициент Пуассона,

$$f(t) = i \int_0^t (X_n + iY_n) ds,$$

$X_n, Y_n$  – компоненты усилий в направлении осей  $x$  и  $y$ ;  $g = u + iv$ ;  $u, v$  – компоненты смещений в направлении осей  $x$  и  $y$ ;  $i$  – мнимая единица; черта над функцией обозначает комплексно сопряженное значение;  $\Gamma$  – граница рассматриваемой области;  $t_0$  – аффикс точки границы  $\Gamma$ . Эта система уравнений справедлива для всех трех основных задач теории упругости и позволяет выписать их решение аналитически в квадратурах, что даст возможность исключить процесс регуляризации и предложить метод последовательных приближений, сводящийся к точному при решении обратных задач.

Рассмотрим систему *обрабатываемый пласт–вмещающие породы*, в которой крепь выполняет функцию управляющего органа, регулярно нагружаемого и сбрасывающего давление, т. е. цикл заключается в нагружении от нуля до максимального давления и сбрасывания его до нуля. В момент передвижения крепи происходит динамический удар пород кровли по крепи с силой равной максимальному распуру крепи. Так как контакт *обрабатываемый пласт–породы* не нарушался, то можно считать, что тело (породы кровли) падает с нулевой высоты на крепь. Эти динамические удары с подвиганием забоя не только регулярно повторяются, но и увеличиваются. Необходимо оценить усилие на породы кровли при подвигании забоя, имея единственную силовую характеристику – отпор крепи. Существенно, что каждое подвигание забоя создает повреждаемость пород кровли, которая растет по мере увеличения выработанного пространства, пока не достигнет предельного значения, приводящего к обрушению. Если крепь передвигать последовательно по секциям (как это делается на практике), то локальные повреждения работают несинхронно, но возрастают. Если собственный вес

пород впереди забоя уравновешен, то в выработанном пространстве при передвижении крепи он реализуется, увеличивая силу динамического удара.

Для описания процесса удара пород кровли по преграде положим, что удар производится большим весом  $Q$ , моделирующим породы кровли, по крепи, моделируемой одномерным телом (стержнем). При этом масса стержня много меньше массы ударяющих пород кровли. В этих предположениях, учитывая, что единственной характеристикой взаимодействия будет отпор крепи, перейдем к оценке динамических усилий, возникающих при ударе по соседней секции крепи в момент передвижения рассматриваемой секции.

*Динамический аспект задачи.* Упругое тело при деформации является аккумулятором энергии, затрачиваемой на деформацию. При устранении действующих сил эта энергия отдается упругим телом в том или ином виде. В общем случае внешние силы, прикладываемые к упругому телу, производят работу  $A$ , которая идет, с одной стороны, на сообщение скорости частицам тела, т. е. переходит в кинетическую энергию  $T$ , с другой – накапливается в виде потенциальной энергии деформации:

$$A = T + U.$$

Величина  $U$  представляет собой ту часть работы, которая тратится на деформирование тела и, если тело упруго, остается в нем до тех пор, пока нагрузка не изменяется. Для подсчета величины  $U$  предполагается, что внешняя сила прикладывается таким образом, что кинетическая энергия  $T$  равна нулю. Для этого нужно, чтобы сила  $Q$  возрастала от нуля до максимума так медленно, что можно считать скорость деформации практически отсутствующей и пренебречь силами инерции. Только в этом случае внутренние силы упругости в каждый момент процесса уравновешиваются внешними силами, поэтому

$$A = U.$$

Сила  $Q$  с удлинением  $\Delta \ell$  согласно закону Гука:

$$Q = \frac{EF\Delta\ell}{\ell}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $F$  – площадь сечения стержня;  $\ell$  – длина стержня. Приращению удлинения  $d(\Delta \ell)$  соответствует элементарная работа

$$dA = Qd(\Delta \ell). \quad (2)$$

Интегрируя (2) от  $\Delta \ell = 0$  до конечного значения  $\Delta \ell$ , получим

$$U = \int_0^{\Delta \ell} Qd(\Delta \ell).$$

С учетом (1)

$$U = \frac{EF(\Delta \ell)^2}{2\ell}. \quad (3)$$

Рассмотрим вопрос о напряжениях и деформациях при ударе. В теоретической механике соударение предполагается мгновенным, вследствие чего силы,

возникающие при соударении абсолютно твердых тел, бесконечно велики, поэтому в рассмотрение вводятся лишь энергии и импульсы. Для упругого тела продолжительность удара всегда конечна и величина силы может быть определена. Задача о соударении упругих тел в точной постановке представляет значительные трудности ввиду волнового характера распространения деформации в упругом теле.

Приведем приближенное решение вопроса о сжимающем ударе по стержню тела большой массы, которое будем считать абсолютно твердым. Если масса стержня мала по сравнению с массой ударяющего тела, то можно считать первую вообще отсутствующей, а при отсутствии массы деформации в теле распространялись бы мгновенно. Основная гипотеза приближенной теории удара состоит в том, что деформация предполагается возникающей мгновенно во всех сечениях стержня, тогда как на самом деле деформация распространяется от конца, на котором происходит удар со скоростью звука. Гипотеза означает практически, что большая масса ударяет о стержень со скоростью, весьма малой по сравнению со скоростью звука, и продолжительность соударения значительно больше времени, необходимого для прохождения упругой волны по стержню. Пусть груз массой  $M$ , движущийся со скоростью  $v_0$ , ударяет о стержень и деформирует его. В процессе деформации, в каждый ее момент, сумма кинетической и потенциальной энергии системы *груз–стержень* равна той кинетической энергии, которой обладал груз до удара:

$$T + U = T_0 = \frac{M v_0^2}{2}. \quad (4)$$

По мере роста деформации скорость груза убывает и становится на мгновение равной нулю в тот момент, когда деформация максимальна, при этом  $T = 0$ , тогда из (4):

$$U = T_0 = \frac{M v_0^2}{2}.$$

С учетом (3) получим

$$(\Delta \ell)_{\max} = \sqrt{\frac{2T_0 \ell}{EF}}.$$

Если груз весом  $Q$  падает с высоты  $h$ , то

$$T_0 = Qh \text{ и } (\Delta \ell)_{\max} = \sqrt{\frac{2Q \ell h}{EF}}.$$

Тогда

$$(\Delta \ell)_{\text{ст}} = \frac{Q \ell}{EF},$$

где  $(\Delta \ell)_{\text{ст}}$  – деформация от груза  $Q$ , приложенного статически;

$$(\Delta \ell)_{\max} = \sqrt{2h(\Delta \ell)_{\text{ст}}}.$$

Если груз  $Q$  весьма велик и высота  $h$  невелика, уже нельзя пренебречь той дополнительной работой, которую производит груз  $Q$  на перемещении  $\Delta \ell$ .

Когда  $\Delta \ell = (\Delta \ell)_{\max}$ , уравнение работ можно записать следующим образом:

$$Q[h + (\Delta \ell)_{\max}] = \frac{EF}{2} (\Delta \ell)_{\max}^2,$$

где  $Q = \frac{EF(\Delta \ell)_{\text{ст}}}{\dots}$ , т. е. прикладывается статически.

Отсюда получены квадратное уравнение

$$(\Delta \ell)_{\max}^2 - 2(\Delta \ell)_{\text{ст}}(\Delta \ell)_{\max} - 2h(\Delta \ell)_{\text{ст}} = 0,$$

и его решение

$$(\Delta \ell)_{\max} = (\Delta \ell)_{\text{ст}} + \sqrt{(\Delta \ell)_{\text{ст}}^2 + 2h(\Delta \ell)_{\text{ст}}}. \quad (5)$$

В (5) выбран знак *плюс*, чтобы получить наибольшую деформацию. Решение со знаком *минус* приобретает смысл, когда груз остается после удара связанным со стержнем и совершает колебания около состояния статического равновесия.

Важным частным случаем соотношения (5) является внезапное приложение груза, когда  $h = 0$ . Тогда

$$(\Delta \ell)_{\max} = 2(\Delta \ell)_{\text{ст}}. \quad (6)$$

При расчете на ударную нагрузку напряжения, полученные при статическом расчете, следует умножить на динамический коэффициент, равный отношению  $(\Delta \ell)_{\max} / (\Delta \ell)_{\text{ст}}$ . Отсюда следует соотношение (6).

Забой движется вдоль лавы, так что всегда (за исключением последнего подвигания секции крепи по длине лавы) образуется уступ (рис. 1) и связанная с ним секция, на которую приходится удар от разгружаемой крепи. В окрестности начала и конца лавы удар пород кровли приходится еще и на массив пласта, и повреждаемость кровли минимальна, так как отпор распространяется на большую площадь. Подвигание секции крепи обеспечивает удар по породам кровли, согласно (6), минимум в два раза превосходящий нагрузку на секцию, обеспечивая повреждаемость пород. На начальный момент отработки пласта повреждаемость кровли локальна и незначительна (например, в виде шелушения или небольшого осыпания). С увеличением выработанного пространства нагрузка на крепь растет и, следовательно, увеличивается повреждаемость пород кровли при каждом единичном акте подвигания секции. Образовавшиеся при этом трещины не закрываются и увеличиваются при следующем подвигании. Удар по кровле может сопровождаться вдавливанием секции в почву и смятием верхняков, что характеризует повреждаемость кровли. Чем меньше мощность непосредственной кровли, тем раньше динамический удар разрушит слой и произойдет первое и последующие обрушения, т. е. одного динамического удара достаточно, чтобы разрушить слой по всей его мощности. Удар по кровле происходит при подвигании забоя, и образовавшиеся трещины не закрываются, а только увеличиваются при следующем подвигании крепи (смещения растут и трещины тоже).

*Кинематический аспект проблемы.* Для прямоугольной горизонтальной выработки в каждой точке  $i$  имеем натурные замеры смещений в кровле  $V_{ki}$  и почве  $V_{pi}$ . Тогда  $V_{ki} / V_{pi} = \kappa_i$  [5], так что по длине выработки  $\kappa_i = \kappa_i(x)$ .

Если  $V_{li}$  – смещения из классического решения, сформулированного на контуре выработки в виде

$$\sigma_y = \gamma H; \quad \sigma_x = \lambda \gamma H, \quad (7)$$

где  $\gamma$  – удельный вес пород;  $H$  – глубина заложения выработки;  $\lambda$  – боковой распор;  $V_i$  – смещения от собственного веса пород, то в точке  $i$

$$V_{ki} = V_{li} + V_i; \quad (8)$$

$$V_{ni} = V_{li} - V_i, \quad (9)$$

так как направления  $\gamma H$  и веса пород в кровле совпадают, а в почве противоположны (рис. 2). Подставляя (14), (15) в  $V_{ki} / V_{ni} = \kappa_i$ , получим

$$V_{li} = \frac{\kappa_i - 1}{\kappa_i + 1} V_i. \quad (10)$$

Из (8), (9) с учетом (10) имеем

$$V_{ki} = \frac{2\kappa_i}{\kappa_i + 1} V_i; \quad V_{ni} = \frac{2}{\kappa_i + 1} V_i.$$

Откуда

$$V_{ki} + V_{ni} = 2V_i.$$

Полученные соотношения не зависят от точки  $i$  и могут использоваться для анализа. Величина  $V_{li}$  определяется из решения задачи, сформулированной в виде (7). Для любого выделенного волокна при  $x = x_0$  строятся эпюры  $\sigma_x$  и  $\tau$ , которые при интегрировании по длине волокна определяют добавку к результату от  $\gamma$  [5].

Кинематическая составляющая разрушения в окрестности очистной выработки связана со статическим анализом, так как не дает однозначной связи смещений и напряжений [5]. В процессе ведения очистных работ рост напряженного состояния, определяемого для каждого положения забоя, позволяет судить о потенциально предельной линии будущего разрушения, которое приближается, с учетом собственного веса пород и динамических ударов по кровле выработки к предельно допустимым. На рис. 2 представлены различные положения очистного забоя, которым соответствуют линии  $\ell_1$ ,  $\ell_2$  максимальных касательных напряжений, значения которых не превышают предельных сдвиговых напряжений. На каждое такое положение забоя вычисляются длина линии  $\ell_1$ ,  $\ell_2$  и площади  $S_1$ ,  $S_2$ , ограниченные этими линиями и выработками. Вес выделенных таким образом пород кровли  $P_i = \gamma S_i$  ( $i = 1, 2$ ) распределяется как равномерная добавка к максимальным касательным напряжениям, приближая их значения к предельно допустимым.

*Алгоритм расчета разрушающей нагрузки.* Рассмотрены три аспекта: статический, кинематический и динамический, которые определяют процесс разрушения кровли выработки. Теперь необходимо объединить их в систему. Для любого положения забоя (кратного единичному подвиганию) рассчитывается напряженно-деформированное состояние в окрестности выработки, что позволяет, выбрав подходящую теорию деформирования, контролировать процесс накопления по-



управляемой, но повысится нагрузка на крепь. Аналогично, можно увеличить длину вынимаемого под секцию пространства при той же секции, это обеспечит увеличение удара и линию возможного обрушения оставит после ее подвигания за крепью (рис. 1). Это приведет к более широким возможностям управления горным давлением. Можно считать, что статический подход, используемый до сих пор, и подход, предлагаемый в этой работе, в определенном смысле аналогичны, но учет собственного веса (кинематический аспект) пород уточняет напряженное состояние нетронутого массива и механические характеристики пород, приводя их к натурным замерам смещений. Динамический аспект, связанный с единичным подвиганием секции крепи, дает возможность управлять горным давлением, меняя направления движения и геометрию секции, усиливая возможность обрушения по линии максимальных смещений (рис. 1). Под этим подразумевается любая точка лавы, из которой можно начинать движение секций влево или вправо, по одной, по две или более, одновременно добиваясь несимметрии деформирования боковых граней выработанного пространства (вызывая перенапряжение одной грани), что, как правило, быстрее приводит к разрушению, исключая зависание. Реализовать несимметрию деформирования кровли можно, используя все возможности технологии и отрабатываемого участка шахты. Новые технологические решения требуют, с одной стороны, получения новых знаний о механизмах разрушения горных пород и структурных изменениях в них, с другой – развития математической теории интерпретации натуральных экспериментов (методов решения обратных задач) и разработки технологических приемов реализации этих схем. Именно учет особенностей механических и физико-химических процессов в массиве горных пород обеспечит добычу полезных ископаемых на больших глубинах. Необходимо отметить, что новые технологические проблемы, возникающие в геомеханике в данном направлении, рассмотрены в теоретических работах [7–11].

Итак, автором рассмотрены три (в сумме с известным статическим) этапа подготовки разрушения кровли очистной выработки: статический, кинематический и динамический, они взаимосвязаны и необходим учет каждого этапа.

Динамический аспект разрушения рассматривает управляющую роль секций крепи и ее несущую способность, которая фиксируется и является объективной информацией. Учет собственного веса пород необходим и естественен (особенно при деформационных критериях разрушения), но отсутствие в предложенной теории прямой связи между смещениями и напряжениями не позволяет строго сформулировать силовые критерии. Используется условие, что статический подход фиксирует определенное ослабление массива пород кровли («натянутые» связи), которое усиливается за счет собственного веса, и если будет разрыв, то именно в этом уже ослабленном месте.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-00533).*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ройтер М., Крах М., Кисслинг У., Векслер Ю. Мониторинг геомеханического состояния очистного забоя угольной шахты в системе управления марко «Цифровая шахта» // Проблемы развития горных наук и горнодобывающей промышленности. Новосибирск: ИГД СО РАН. 2016. С. 246–252.
2. Прогнозирование и расчет проявлений горного давления / Г. И. Грицко [и др.]. Новосибирск: Наука, 1980. 159 с.
3. Tarasov V. G., Randolph M. E. Superbrittleness of rocks and earthquake activity // Int. Simp. of Rock Mech. and Min. Sci. 2011. Vol. 48. P. 890–905.
4. Mosein Rafiai. New empiricab polyaxial criterion for rock strength // Int. Simp. of Rock Mech. and Min. Sci. 2011. Vol. 48. P. 922–931.
5. Миренков В. Е. Об одном методе расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг выработок с учетом весовых характеристик // ФТПРПИ. 2016. № 3. С. 20–26.
6. Миренков В. Е. Связь напряжений и смещений на контуре выработки // ФТПРПИ. 1978. № 3. С. 19–23.

7. Клишин В. И. Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения. Новосибирск: Наука, 2002. 200 с.

8. Mirenkov V. E. Finite stress in fracture mechanics // *Engineering Fracture Mechanics*. 1994. Vol. 48, no. 1. P. 63–67.

9. Бычков И. В., Владимиров Д. Я., Опарин В. Н., Потапов В. П., Шокин Ю. И. Горная информатика и проблема «больших данных» в построении комплексных мониторинговых систем безопасности недропользования // *ФТПРПИ*. 2017. № 1. С. 164–185.

10. Опарин В. Н., Киряева Т. Н., Гаврилов В. Ю., Астраханцев И. Е., Гренев И. В. О некоторых особенностях взаимодействия между геомеханическими и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбасса // *ФТПРПИ*. 2014. № 2. С. 3–18.

11. Опарин В. Н., Секисов А. Г., Трубачев А. И., Смоляницкий Б. Н., Селихов В. С., Зыков Н. В. Перспективные технологии разработки золотороссыпных месторождений Забайкальского края // *ФТПРПИ*. 2017. № 3. С. 104–113.

Поступила в редакцию 6 февраля 2018 года

## CALCULATION OF ROCK DEFORMATION WITH THE ACCOUNT OF STATIC, KINEMATIC, AND DYNAMIC ASPECTS IN THE PROCESS OF STOPPING

**Mirenkov V. E.** – The Institute of Mining, the Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, the Russian Federation. E-mail: mirenkov@misd.nsc.ru

Stopping at coal beds is accompanied by various manifestations of rock pressure, such as roof caving, coal sloughing, gas emission, poor caving of roof, etc. Any aim, appearing in practice of mineral production, has to be analyzed from the position of dynamics, and only in this case it is possible to approach the understanding of the process of breaking, accompanied by the increase of the mined-out area. The complexity of the rock mass structure and the connected large quantity of parameters which it is characterized by, which vary through the process of the face advance, which is accompanied by the continuous process breaking and preparation for breaking, keep from formulating and realizing dynamic setting of a problem. Up to the present time the forecast of rock pressure manifestations was based on the elastoplastic analysis of stress-strained state in the vicinity of the working. The present paper suggests a new method of controlling rock pressure, generally analyzing static, kinematic and dynamic constituent of a process. The consideration of static constituent assumes a well known classic approach to the construction of a possible line of breaking. Kinematic aspect of a problem assumes the necessity to take into account the influence of rock dead weight on the process of breaking. The dynamics of the process of breaking preparation under the increase of the mined-out area is examined by the example of the analysis of face single advance influence. All these constituents of the process of damage accumulation make it possible to trace the manifestations of rock pressure more precisely.

**Key words:** working; stopping; stresses; shifts; damage accumulation; breaking; rock weight.

### REFERENCES

1. Roiter M., Krakh M., Kissling U., Veksler Iu. [Monitoring of the geomechanical state of a coal mine stopping face in the controlling system marco “Digital Shaft”]. *Problemy razvitiia gornykh nauk i gornodobyvaiushchei promyshlennosti* [The Problems of Mining Sciences and Mining Industry Development] Novosibirsk: IM SB RAS, 2016, pp. 246–252.
2. Gritsko G. I., and others. *Prognozirovanie i raschet proiavlenii gornogo davleniia* [Forecast and calculation of rock pressure manifestations]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1980. 159 p.
3. Tarasov B. G., Randolph M. E. Superbrittleness of rocks and earthquake activity. *Int. Simp. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 2011, vol. 48, pp. 890–905.
4. Mosein Rafiai. New empiricab polyaxial criterion for rock strength. *Int. Simp. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 2011, vol. 48, pp. 922–931.
5. Mirenkov V. E. [Regarding one method of calculating stress-strain state of rock mass around the workings with the account of weight characteristics]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Journal of Mining Science*, 2016, no. 3, pp. 20–26. (In Russ.)
6. Mirenkov V. E. [Connection of stresses and shifts at the contour of a working]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Journal of Mining Science*, 1978, no. 3, pp. 19–23. (In Russ.)
7. Klislin V. I. *Adaptatsiia mekhanizirovannykh krepей k usloviyam dinamicheskogo nagruzheniia* [Adaptation of mechanized supports in conditions of dynamic loading]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2002. 200 p.
8. Mirenkov V. E. *Finite stress in fracture mechanics*. *Engineering Fracture Mechanics*, 1994, vol. 48, no. 1, pp. 63–67.
9. Bychkov I. V., Vladimirov D. Ia., Oparin V. N., Potapov V. P., Shokin Iu. I. [Mining computer science and the problem of “big data” in the construction of integrated monitoring security systems of subsoil use]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Journal of Mining Science*, 2017, no. 1, pp. 164–185. (In Russ.)
10. Oparin V. N., Kiriaeva T. N., Gavrilov V. Iu., Astrakhantsev I. E., Grenev I. V. [Regarding some peculiarities of interrelation between geomechanical and physical-chemical processes in coal beds of Kuzbass]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Journal of Mining Science*, 2014, no. 2, pp. 3–18. (In Russ.)
11. Oparin V. N., Sekisov A. G., Trubachev A. I., Smolianitskii B. N., Selikhov V. S., Zыkov N. V. [Advanced technologies in the development of gold placer deposits of Zabaykalsky Krai]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Journal of Mining Science*, 2017, no. 3, pp. 104–113. (In Russ.)