

УДК 622.831.3:622.28.042

к.т.н. Палейчук Н. Н.,
к.т.н. Пронский Д. В.,
д.э.н. Бизянов Е. Е.,
д.э.н. Коваленко Н. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

О ФОРМИРОВАНИИ НАГРУЗКИ НА КРЕПЬ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКИХ АНТРАЦИТОВЫХ ШАХТ

Установлены закономерности изменения показателей устойчивости выработок в зависимости от скорости трещинообразования. Разработан алгоритм определения отклонения от нормали к плоскости напластования пород направления превалирующей нагрузки на крепь со стороны пород кровли. При помощи метода конечных элементов обоснована рациональная форма пластовых выработок в условиях интенсивного трещинообразования.

Ключевые слова: выработки, устойчивость, показатели, интенсивность, скорость, трещинообразование, нагрузка на крепь, асимметрия.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. При ведении горных работ на глубоких горизонтах шахт Восточного Донбасса наблюдается значительный рост количества перекреплений подготовительных и капитальных выработок. Так, по статистическим данным, на шахте «Комсомольская» ГУП «Антрацит» перекрепляется до 70 % подготовительных выработок, на шахте «Партизанская» — до 65 %, на шахте им. В. В. Вахрушева «Ровенькиантрацит» — до 70 %. Значительное количество выработок требует повторного перекрепления. При ведении горных работ на пластах h_8 и h_{10} , где кровли представлены песчаными сланцами, песчаниками и глино-песчаными сланцами, наблюдается интенсивное трещинообразование. К естественной трещиноватости добавляется и искусственная, которая образуется в приконтурной области породного массива вследствие протекания геомеханических процессов, что в результате приводит к изменению эксплуатационных характеристик выработок и зачастую к аварийному состоянию последних. Смещения пород кровли на пологих пластах имеют асимметричное направление, в связи с чем срок эксплуатации рамных крепей сокращается, что вызывает дополнительные материальные затраты на поддержание та-

ких выработок. Таким образом, для расчёта параметров обеспечения устойчивого состояния выработок в интенсивно трещиноватых породах при асимметричных их смещениях со стороны кровли необходимо разработать методику, которая будет учитывать помимо величины направление превалирующей нагрузки на крепь.

Изложение материала и его результаты. В качестве объекта исследований были выбраны горизонтальные подготовительные выработки пластов h_8 и h_{10} шахт «Комсомольская» и «Партизанская» ГУП «Антрацит», а также шахты им. В. В. Вахрушева «Ровенькиантрацит». Вмещающие породы данного региона представлены: песчаными сланцами, мощность m которых в исследованных выработках находилась в пределах 4,7–9,5 м, а временная прочность на сжатие σ_c перпендикулярно плоскостям напластования составляла 53,7–64,2 МПа; песчано-глинистыми сланцами с $m=2,8$ –16,2 м, $\sigma_c=67,5$ –71 МПа; глино-песчаными сланцами с $m=7$ –24,6 м, $\sigma_c=73$ –96,8 МПа и песчаниками с $m=9$ –38 м, $\sigma_c=135,7$ –178 МПа. Углы напластования пород в исследуемых выработках составляют $\alpha=5$ –20° при диапазоне глубин $H=650$ –1100 м.

В связи с тем, что длина выработок составляла 400–3000 м, при оценке их экс-

плуатационного состояния общая их длина разбивалась на участки по 40 м. Устойчивость оценивалась известными показателями [1, 2]: ω_S как отношение фактической минимальной площади поперечного сечения участка выработки к проектной и ω_N как отношение количества работоспособных рам металлокрепки к общему их числу на исследуемом участке.

В результате анализа степени и характера деформирования контура подготовительных выработок и элементов крепления на различных участках по значению показателя ω_N выделено четыре типа наиболее характерных зон: со значением показателя менее 0,5 — зона I-го типа, с $\omega_N=0,50-0,65$ — зона II-го типа, со значением $\omega_N=0,651-0,8$ — III-го типа, а участки с $\omega_N>0,8$, соответственно, IV-го типа [1].

С целью определения изменения показателя устойчивости ω_N в зависимости от густоты трещин λ за фиксированный промежуток времени (1 мес.) в течение года проводились инструментальные исследования [1]. При помощи фотопланиметрического метода определялось исходное значение густоты трещин, затем определялось приращение количества трещин на 1 м длины выработки со временем на различных участках. При переходе участков выработок из зон одного в зоны другого типа (при наличии) рассчитывались скорости трещинообразования и изменения показателя устойчивости выработок ω_N как производные первого порядка по времени. По результатам обработки материалов исследований [1] были получены зависимости скорости изменения показателей устойчивости выработки от скорости трещинообразования при изменении типов зон, которые представлены на рисунке 1.

В результате регрессионного анализа было установлено, что зависимость изменения показателей устойчивости выработок ω_N и ω_S от скорости трещинообразования v_λ со значениями показателя достоверности ап-

проксимации $r^2>0,75$ описывается логарифмическими уравнениями вида

$$\begin{aligned} v_N &= a_N \cdot \ln(v_\lambda) + b_N, \\ v_S &= a_S \cdot \ln(v_\lambda) + b_S, \end{aligned} \quad (1)$$

где v_N и v_S — скорость изменения показателей устойчивости выработок ω_N и ω_S соответственно, мес.^{-1} ; v_λ — интенсивность трещинообразования, $(\text{тр./м}) \cdot \text{мес.}^{-1}$; a_N , a_S , b_N и b_S — эмпирические коэффициенты, учитывающие литотип пород.

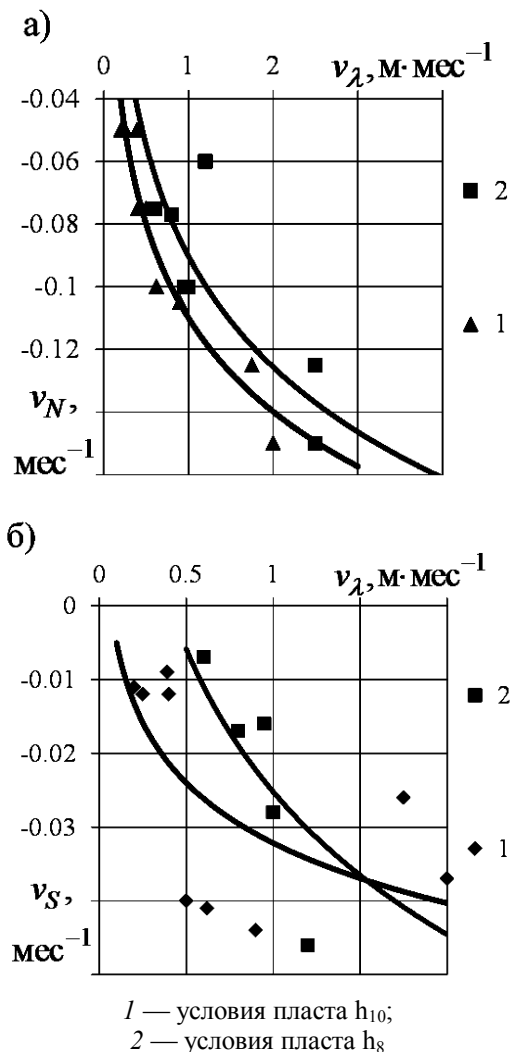


Рисунок 1 Зависимость скорости изменения показателей устойчивости выработки ω_N (а) и ω_S (б) от скорости трещинообразования

Шахтные исследования [2–4] показывают, что направление максимальной компоненты смещений пород кровли находится в прямой зависимости от значения угла напластования пород вне зон влияния очистных работ и геологических нарушений. Однако, как показали исследования [1] в условиях шахт Боково-Хрустальского и Должанско-Ровенецкого геолого-промышленных районов, в зонах с $\omega_N \leq 0,65$ направление преобладающей нагрузки на крепь более чем на 50 % исследуемых участков горизонтальных пластовых выработок не является нормальным к плоскости напластования пород.

Для определения направления максимальной компоненты смещений пород разработан алгоритм, учитывающий их характеристики в обоих направлениях от нормали к плоскости напластования. При расчёте угла отклонения от нормали к плоскости напластования пород максимальной компоненты их смещений необходимо соотнести расчётные размеры зоны неупругих деформаций (ЗНД) в квадрантах $-x0y$ и $x0y$ (рис. 2), подставив наибольшее значение по модулю из величин относительного радиуса ЗНД в знаменатель

$$\varphi = \arccos\left(\frac{r_{L\min}}{r_{L\max}}\right), \quad (2)$$

где $r_{L\min}$ и $r_{L\max}$ — соответственно наименьшая и наибольшая относительная величина ЗНД; φ — угол отклонения преобладающей нагрузки на крепь ρ от нормали к плоскости напластования пород, град.

Относительный радиус зоны неупругих деформаций рассчитывается по общей формуле проф. Шашенко А. Н. [2]:

$$r_L = \frac{R_L}{R_0} = \left(\exp\left[\sqrt{\frac{\gamma H}{2R_c}} - 0,5\right] \cdot a_1 + b_1 \right), \quad (3)$$

где R_L — радиус зоны неупругих деформаций, м;

R_0 — радиус выработки, м;

γ — средневзвешенный удельный вес пород над выработкой, МН/м³;

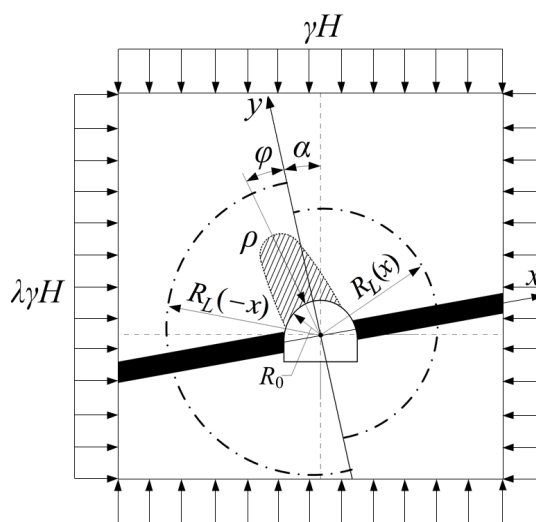
H — глубина заложения выработки, м;

R_c — средневзвешенная прочность на сжатие пород кровли, МПа;

a_1 и b_1 — эмпирические коэффициенты, учитывающие литотип пород.

Современные представления о формах проявления горного давления [2, 3] относят образование и развитие ЗНД к прерогативе «больших» глубин разработки, характерной особенностью которых является то, что разрушение большей части контура выработки происходит преимущественно от сжимающих напряжений, что подтверждается также результатами численных и натурных исследований [1] в исследуемом диапазоне глубин 650–1100 м.

Для проверки точности и адекватности разработанного алгоритма в условиях шахты «Партизанская» ГУП «Антрацит» были выполнены натурные измерения величины φ в выработках с вывалообразованиями, которые показали отклонение расчётных значений данного параметра от фактического в пределах 17 % [1].



α — угол напластования пород, град.;

ρ — направление максимальной компоненты смещений пород;

$R_L(-x)$ и $R_L(x)$ — радиусы ЗНД соответственно слева и справа от нормали к напластованию

Рисунок 2 Схема к определению направления преобладающей нагрузки на крепь со стороны пород кровли

Проведение численного эксперимента. Проверка адекватности вышеприведённого алгоритма и обоснование параметров поперечного сечения выработки в условиях асимметричной преобладающей нагрузки на крепь выполнялись при помощи метода конечных элементов. При формировании КЭ-сетки учитывались реальные геометрические параметры породного массива в пределах исследуемой области, в первую очередь, колебания мощности боковых пород. С этой целью на схеме расчётной области выбрано пять точек, в которых с точностью до $\pm 0,02$ м известно значение мощности. Размеры расчётной области составляют: длина (по горизонтальной оси) — 50 м; высота (по вертикальной оси) — 35 м. Количество конечных элементов модели — 7250, количество узлов — 7893. К верхней границе

расчётной области прикладывалась нагрузка в виде веса вышележащих пород $\sigma_z = \gamma H = 21,1$ МПа, а на боковых границах задавалась нагрузка $\sigma_x = \lambda \gamma H = 10,5$ МПа, где $\lambda = 0,5$ — коэффициент бокового распора.

Для численного эксперимента было рассмотрено три варианта формы поперечного сечения: арочная исходная, полуэллиптическая с отношением полупролёта к высоте, равным коэффициенту бокового распора, и полуэллиптическая с отклонением максимального радиуса от нормали к напластованию на величину угла φ . Задача решалась шагово-итерационным методом в нелинейной постановке.

Распределение изополей главных напряжений σ_1 , по которым проанализировано напряжённно-деформированное состояние пород вокруг выработок, представлено на рисунке 3.

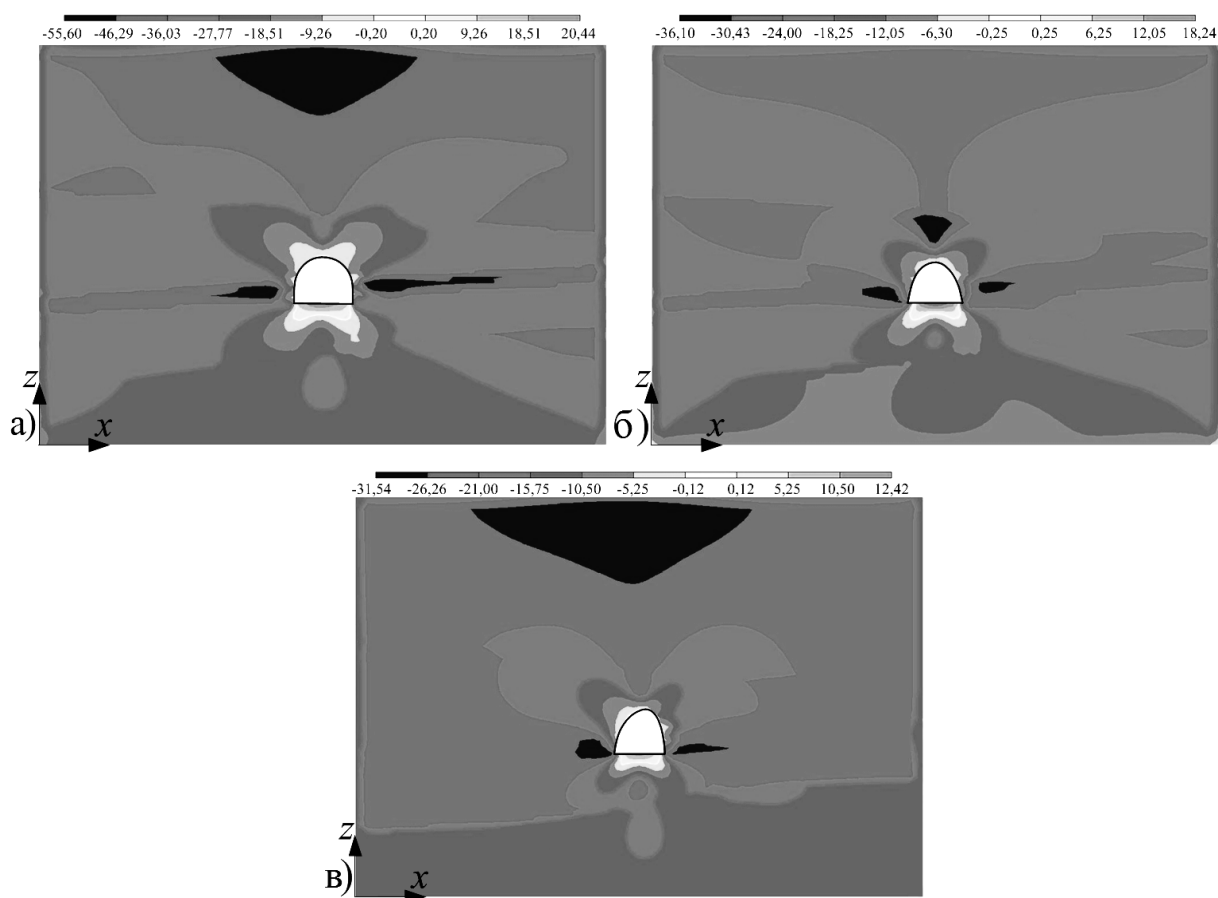


Рисунок 3 Изополя главных напряжений σ_1 в выработке арочной (а), полуэллиптической (б) и асимметричной полуэллиптической (в) форм поперечных сечений

При использовании арочной формы выработки максимальные сжимающие главные напряжения σ_I (46,3–55,6 МПа) наблюдаются в боках выработки. На большей части контура поперечного сечения арочной формы в кровле действуют сжимающие напряжения $\sigma_I=0,2-18,5$ МПа, но в крайней верхней точке контура и в почве выработки наблюдаются растягивающие усилия $\sigma_I=5,1-20,4$ МПа. В полуэллиптической выработке на большей части её контура действуют сжимающие главные напряжения $\sigma_I=0,2-12,0$ МПа, а в почве — растягивающие (0,2–18,25 МПа). Максимальные сжимающие усилия σ_I (30,1–36,1 МПа) наблюдаются в боках выработки и в слое аргиллита на расстоянии от контура выработки соответственно 0,6–1,1 и 2,8 м, что обусловлено её формой. При асимметричной полуэллиптической форме выработки максимальными являются сжимающие главные напряжения σ_I (0,2–12,0 МПа) в почве.

Растягивающие главные напряжения σ_I в почве выработки составляют 0,1–11,5 МПа, а на большей части контура наблюдаются сжимающие усилия σ_I , которые имеют значения 4,9–5,25 МПа, что позволяет отнести данную форму выработки к наиболее рациональной из рассмотренных.

К такой форме выработки наиболее адаптирована металлическая податливая крепь производства Западно-Донбасского научно-производственного центра «Геомеханика» КМП-А3-Р2 (А4-Р2 и А5-Р2) [5], которая рекомендуется в качестве средства повышения устойчивости в интенсивно трещиноватых породах глубоких антрацитовых шахт Донбасса. Численным экспериментом также подтверждается адекватность разработанного алгоритма определения направления преобладающей нагрузки на крепь.

Библиографический список

1. Должиков, П. Н. Устойчивость выработок в интенсивно трещиноватых породах глубоких шахт [Текст] : монография / П. Н. Должиков, А. Э. Кипко, Н. Н. Палейчук. — Донецк : Світ книги, 2012. — 220 с.
2. Шашенко, А. Н. Некоторые задачи статистической геомеханики [Текст] / А. Н. Шашенко, С. Б. Тулуб, Е. А. Сдвижкова. — К. : Пульсары, 2002. — 302 с.

Разработанная на основе предложенного алгоритма определения направления преобладающей нагрузки на крепь со стороны пород кровли обобщённая методика расчёта параметров повышения устойчивости пластовых выработок [1] позволяет проектировать параметры перекрепления горизонтальных выработок глубоких угольных шахт.

Выводы:

1. Для характеристики трещиноватости пород помимо таких параметров, как раскрытие и густота трещин, целесообразно использовать показатель интенсивности, который соответствует скорости трещинообразования.

2. В результате исследований установлено, что зависимость изменения показателей устойчивости выработок от скорости трещинообразования описывается логарифмической функцией.

3. В условиях глубоких шахт Восточного Донбасса в подавляющем своём большинстве выработки имеют арочную форму и закреплены соответствующей крепью. Однако данная форма является морально устаревшей и не обеспечивает надлежащего уровня эксплуатационного состояния выработок, особенно в зонах интенсивного трещинообразования, что в дальнейшем может привести к экономической нецелесообразности поддержания подобных выработок в связи с ростом количества перекреплений таких участков.

4. При помощи метода конечных элементов обоснована форма поперечного сечения выработки, при которой обеспечивается вертикальная и горизонтальная симметрия смещений пород кровли и нагрузки на крепь, — полуэллипс со смещением вертикальной оси на величину угла φ .

3. Литвинский, Г. Г. Основные закономерности проявлений горного давления на «малых» и больших» глубинах [Текст] / Г. Г. Литвинский // Форум горняков–2009 : материалы междунар. конф. — Д. : Национальный горный ун-т, 2009. — С. 13–21.

4. Мартыненко, С. В. Задача подготовки исходных данных для расчёта параметров металлической крепи и её реализация на системе управления базами данных «Visual Fox Pro 6.0» [Текст] / С. В. Мартыненко // Горнодобывающая промышленность Украины и Польши : актуальные проблемы и перспективы : Украинско-Польский форум горняков. — Д. : Национальный горный ун-т, 2004. — С. 92–104.

5. Прокопенко, В. И. Экономическая целесообразность внедрения инновационных крепей на шахтах [Текст] / В. И. Прокопенко, А. В. Кириченко, В. Я. Кириченко // Уголь Украины, 2011. — № 3. — С.18–22.

© Палейчук Н. Н.
 © Пронский Д. В.
 © Бизянов Е. Е.
 © Коваленко Н. В.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. ГД ЛНУ им. В. Даля Рябичевым В. Д., к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.

Статья поступила в редакцию 30.05.18

к.т.н. Палейчук М. М., к.т.н. Пронский Д. В., д.е.н. Бизянов Е. Е., д.е.н. Коваленко Н. В.
 (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ПРО ФОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА КРІПЛЕННЯ ВИРОБОК В УМОВАХ ГЛИБОКИХ АНТРАЦИТОВИХ ШАХТ

Встановлено закономірності зміни показників стійкості виробок в залежності від швидкості утворення тріщин. Розроблено алгоритм визначення відхилення від нормалі до площини на шарування порід напрямку переважаючого навантаження на кріплення з боку порід покрівлі. За допомогою методу кінцевих елементів обґрунтовано раціональну форму пластових виробок в умовах інтенсивного тріщиноутворення.

Ключові слова: *виробки, стійкість, показники, інтенсивність, швидкість, тріщиноутворення, навантаження на кріплення, асиметрія.*

PhD Paleychuk N. N., PhD Pronskiy D. V., Doctor of Economic Sciences Bizianov E. E., Doctor of Economic Sciences Kovalenko N. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

FORMING THE SUPPORT LOADING UNDER THE ANTHRACITE MINE CONDITIONS

The dependencies of parameters varying of the output sustainability have been determined on the rate of cracking. There has been developed the algorithm for determining the underline to the plane rock bedding of the direction of prevailing loading on support from the roof rock side. Using the finite element method there has been proved the rational form of the in-seam working under the intensive cracking conditions.

Key words: *working, stability, parameters, intensity, rate, cracking, support loading, asymmetry.*