

про тертя Кулона, які панують у науці з часу їх введення в 1779 р. Отримана залежність сприяє вдосконаленню теорії тертя гнучких тіл, теорії і практиці транспортування вантажів із гнучким тяговим органом.

Ключові слова: гнучке тіло, ідеальна нитка, блок, натягіння, ковзання, закон тертя

It is specified the well known dependence of pull of ideal filament of Euler along the line of contact with the immobile block when sliding under the action of the forces enclosed to its ends. The dependence in particular takes in-

to account the picture of frictions of Coulomb, which dominates in science since its introduction in 1779. Received dependence contributes to the improvement of the theory of friction of flexible bodies, the theory and practice of a freight hauling with a flexible hauling organ.

Keywords: flexible body, ideal filament, block, pull, sliding, law of friction

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П Франчуком 29.06.10, к. т. н. С.С. Тімченко 16.06.10

УДК 622.023+551.243:622.268.6

© Должиков П.Н., Кобзарь Ю.И., Должиков Ю.П., 2010

П.Н. Должиков, Ю.И. Кобзарь, Ю.П. Должиков

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ АНТРАЦИТОВЫХ ШАХТ В СОДИЗЬЮНКТИВНЫХ ЗОНАХ

P.N. Dolzhikov, Yu.I. Kobzar, Yu.P. Dolzhikov

ABOUT STABILITY OF THE LEVELS OF THE DEEP ANTHRACITIC MINES IN THE ZONES NEAR-BY DISJUNCTIVES

Рассматривается зависимость увеличения вывалообразований в горные выработки от водоприток для глубоких антрацитовых шахт в содизьюнктивных зонах. За счет снижения прочности обводненных пород кровли нелинейно уменьшается коэффициент устойчивости выработок до 0,3–0,4. Установлена экспоненциальная зависимость коэффициента структурного ослабления от расстояния до тектонического нарушения, времени эксплуатации выработки и амплитуды дизьюнктива.

Ключевые слова: выработка, нарушение, водоприток, трещины, вывалы, ослабления пород

Строительство протяженных горных выработок в современных условиях сдерживается трудностью их проведения в сложных горно-геологических условиях. Это связано с тем, что с увеличением глубины ведения горных работ до 50% сооружаемых вскрывающих, подготовительных и капитальных выработок пересекают интенсивно трещиноватые нарушения (сбросы, надвиги). Имеются примеры на ряде горных предприятий, когда одна выработка встречает до 50 нарушений, т.е. на 100 м выработки приходится до 2,5 нарушений. Тектонические нарушения часто представлены чередующимися трещиноватыми обводненными предразломными зонами, неустойчивыми интервалами раздробленных пород и заразломными трещиноватыми зонами. Переход выработками нарушений сопровождается рядом осложняющих факторов, в частности, повышенным горным давлением, высокой трещиноватостью пород в районе сбросов, заполнением сместителей разрывов продуктами дробления боковых пород с различной степенью уплотнения, ведением буровзрывных работ, значительно ослабляющих окружающие породы, высокими и не всегда точно прогнозируемыми притоками и прорывами воды. Это способствует низкой устойчивости выработок, интенсивному вывалообразованию и обрушению боковых пород в выработку и, как результат, увеличению в 1,1–2,2 раза затрат на проведение и поддержание выработок [1].

Целью данной работы является изучение особенностей и закономерностей проявления вывалообразований, прогнозирования условий строительства и поддержания

выработок глубоких антрацитовых шахт в трещиноватых зонах дизьюнктивных нарушений.

Исследования по данной работе проводились в Бокво-Хрустальском и Должано-Ровенецком геолого-промышленных районах, в том числе на обособленном предприятии „Шахта „Комсомольская“ государственного предприятия „Антрацит“. Шахтное поле данного горного предприятия пересекают 19 сбросов, в том числе: Яковлевский, Щетовский №1, №2, №3, №4, Лобовский, Центральный №1, №2, №3, Ясеновский №1, №2, Юскинский Западный №1, №2, №3, Промежуточный, Юскинский Восточный №1, №2, №3.

Схема горных работ по одному из указанных шахтопластов в зонах тектонических нарушений приведена на рис. 1.

К основным геологическим факторам, определяющим поведение вмещающих пород и угольного пласта, влияющим на устойчивость горных выработок, относятся: слоистость и расслоение пород, трещиноватость пород и угольного массива, тектонические нарушения, обводненность массивов, литологический состав вмещающих пород, мощность, угол наклона и текстура угольного пласта, его физико-механические свойства [2].

Для выявления взаимосвязи обводненности, трещиноватости и факторов, определяющих формирование очагов вывалообразования при проведении и эксплуатации подготовительных выработок вблизи зон тектонических нарушений, проведены исследования по пластам h_8 и h_{10} в 9 горизонтальных выработках.

Дренажные, конвейерные, разведочные, бортовые, откаточные, вентиляционные штреки были подвержены воздействию водопритока, находились в зоне влияния или пересекали тектонические нарушения.

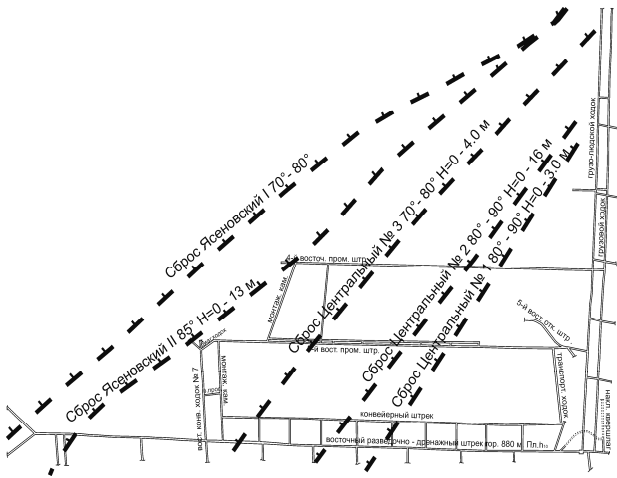


Рис. 1. Схема горных работ в зоне нарушений по пласту h_{10} ОП „Шахта „Комсомольская“ ГП „Антрацит“

Исследования вывалообразования из кровли выработки производилось с использованием методов, сущность которых заключается в следующем:

- по результатам маркшейдерских замеров определяется объем выданной в шахтных вагонетках ВГ-3,3 убранной с места вывалообразования породы с учетом коэффициента разрыхления;
- по высоте вывалообразования – учитывалась высота куполообразования с помощью мерного шеста, при этом в расчете принималась сферическая форма купола с поправочным коэффициентом неправильности формы, а также, с учетом количества разрушенных рам арочной крепи, т.е. длины участка вывалообразования;
- бурение скважин перпендикулярно слоистости пород заключалось в установке в скважинах, диаметром 59 мм, глубинных реперов. Анализ смещения глубинных реперов на момент производства замеров позволил наблюдать за ростом зоны неупругих деформаций вокруг выработки во времени, прогнозировать нагрузку на крепь и возможность вывалообразования.

При изучении вывалообразований в обводненных горных выработках, весьма характерной выработкой является восточный разведочно-дренажный штрек пл. h_{10} гор. 880 м, который пройден буровзрывным способом, закреплен стальной арочной крепью КМП-А3-13,8 с сечением в проходке $15,7 \text{ м}^2$, в свету – $12,8 \text{ м}^2$, шагом установки рам крепи 1,0 м, железобетонной затяжкой боков и кровли выработки. Штрек служит для доставки горной массы, материалов, оборуования, передвижения людей и вентиляции.

Непосредственная кровля угольного пласта h_{10} – сланец песчаный, слегка трещиноват, мощностью до

9,7 м, прочностью 76 МПа. Основная кровля – песчаник серого цвета, трещиноват, трещины расположены как вертикально, так и горизонтально, мощность 5,3 м, прочность пород 99 МПа. В почве пласта расположен сланец углисто-глинистый мощностью 0,3 м, прочностью 25 МПа, ниже – сланец песчаный мощностью 2,5 м, прочностью 81 МПа. Далее расположен сильнотрещиноватый песчаник мощностью 37,5 м, прочностью до 150 МПа.

В таблице приведены параметры вывалообразования в исследуемых подземных обводненных горных выработках с указанием: места нахождения выработки, ее наименования, типа пород кровли, их мощности, характеристики водопритока, объемов убранной породы при вывалообразовании, высоты свода обрушения пород и количества разрушенных рам.

Исследования обводненных участков выработок проведены в широком диапазоне водопритоков (1–2000 $\text{м}^3/\text{ч}$) и вывалообразований (57–662 м^3), методы компьютерной обработки результатов исследований (приложение Microsoft Excel) позволили установить линейные аппроксимирующие закономерности приведенных объемов вывалообразований от водопритоков (рис. 2).

Приведенный объем вывалообразования отражает объем пород на площади вывала

$$V_{np} = V/a \cdot l,$$

где a – характерный параметр вывала, м; l – длина вывалообразования, м; V – объем вывалообразования, м^3 .

Коэффициенты парной корреляции свидетельствуют о тесноте связи между исследуемыми параметрами (для песчаников $r = 0,83$, для песчано-глинистых и песчаных сланцев $r = 0,78$, для глинистых сланцев $r = 0,77$).

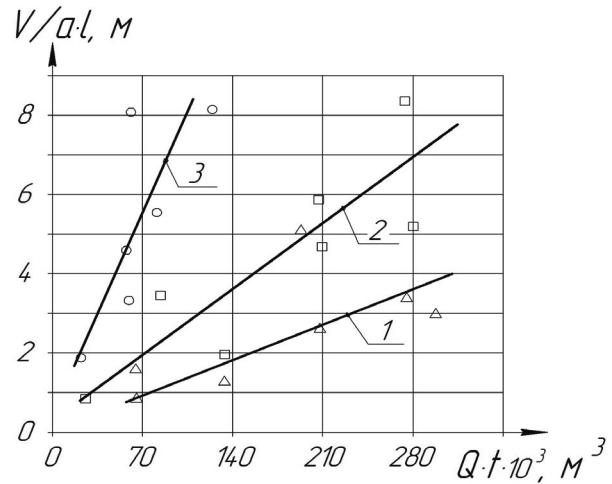


Рис. 2. Зависимость приведенного объема вывалообразования от водопритока в горную выработку: 1 – песчаник (○); 2 – сланец песчано-глинистый и песчаный(□); 3 – сланец глинистый(Δ)

Параметры вывалообразования в исследуемых обводненных горизонтальных выработках

№ п/п	Наименование выработки	Тип пород кровли, мощность	Водоприток в выработку, характеристика водопроявления	Объем вывалообразования, м ³	Высота свода обрушения пород, м	Число разрушенных рам крепи
ОП „Шахта „Комсомольская“ ГП „Антрацит“						
1	19-й западный конвейерный штрек пл. h_{10} гор. 960 м	сланец глинистый (m = 5,7 м); сланец песчано-глинистый (m = 5,99 м)	2000 м ³ /ч, прорыв воды (2000 г.); 150 м ³ /ч, выработка подтоплена (2008 г.)	662	7,5	16
2	10-й западный откаточный штрек пл. h_{10} гор. 960 м	сланец песчано-глинистый (m = 15,5 м)	398 м ³ /ч (2007 г.); 278 м ³ /ч (2008 г.)	431	6,5	11
3	10-й восточный откаточный штрек пл. h_{10} гор. 960 м	сланец песчаный (m = 21,4 м)	52 м ³ /ч (2007 г.); 195 м ³ /ч (2008 г.)	393	6,3	13
4	Восточный разведочно-дренажный штрек пл. h_{10} гор. 880 м	песчаник (m = 5,3 м); сланец песчаный (m = 9,7 м)	36 м ³ /ч (2007 г.); 10 м ³ /ч (2008 г.)	662	6,5	15
5	Северный бортовой штрек пл. h_{10} гор. 960 м	сланец песчаный (m = 19,2 м); сланец песчано-глинистый (m = 9,66 м)	100 м ³ /ч, из сбросовой трещины (2007 г.); 1 м ³ /ч, капез (2008 г.)	220	5,2	8
6	Дренажный разведочный штрек пл. h_8 гор. 960 м	песчаник (m = 19,16 м)	3,5 м ³ /ч (2004 г.); 1,5 м ³ /ч (2008 г.)	340	6,0	12
7	Западный полевой откаточный штрек пл. h_8 гор. 960 м	сланец песчаный (m = 7,25 м)	1 м ³ /ч	432	6,5	13
8	6-й западный откаточный штрек пл. h_8 гор. 960 м	сланец песчаный (m = 0,2 м); песчаник (m = 9,39 м)	150 м ³ /ч, из трещинной зоны (1982 г.); 0 м ³ /ч (2008 г.)	125	4,3	8
9	7-й восточный откаточный штрек пл. h_8 гор. 960 м	сланец глинистый (m = 0,85 м); сланец песчаный (m = 6,89 м); песчаник (m = 9,39 м)	40 м ³ /ч (1991 г.); 20 м ³ /ч (2008 г.)	322	5,9	13

В результате натурных исследований установлено, что средняя длина участка вывалообразования в горных выработках составляет 9–12 м при ширине выработки 4–5 м, а среднее время формирования приращения зоны неупругих деформаций под воздействием водопритока 3–5 мес.

Тогда для этих среднестатистических условий прогнозируемый объем вывала можно определить из уравнений следующего вида:

– для песчаников

$$V = 1,42 + 1,77 \cdot Q, \text{ м}^3;$$

– для песчано-глинистых и песчаных сланцев

$$V = 13,70 + 3,27 \cdot Q, \text{ м}^3;$$

– для глинистых сланцев

$$V = 20,79 + 9,93 \cdot Q, \text{ м}^3.$$

Необходимо отметить, что вывалы породы в окружающих выработки были разнотипными, поскольку они находились на различном расстоянии от зоны нарушения. При обследовании обрушения пород кровли и боков выработки наблюдалось в ее закрепном пространстве образование различных форм и размеров вывалообразований. В ходе обследований наблюдались сводчатая и конусная формы вывалообразований. Данные вывалообразования характеризуются не только формой, высотой и шириной, но и положением их контуров относительно выработки (рис. 3).

На рисунке видно, что вывалообразования развиваются в направлениях, ослабленных водопритоками участка пород кровли и боков выработки. Со стороны восточного пласта в обводненных условиях объем вывалообразования больше, что говорит об асимметричной форме

куполообразования и неравномерной нагрузке на стальную рамную крепь [3].

Устойчивость протяженной выработки в конкретном сечении определяется соотношением несущей способности крепи q_{np} и действующей нагрузки q [4].

Количественно устойчивость выработки оценивается коэффициентом устойчивости

$$K_y = \frac{q_{np}}{q}.$$

Оценка устойчивости протяженной горной выработки определяемой из соотношения

$$w = \frac{L_p}{L},$$

где L – общее число рам; L_p – число рам вышедших из строя.



Рис. 3. Фрагмент вывала кровли восточного разведочно-дренажного штрека пласта пл. h_{10} гор. 880 м ОП Шахта „Комсомольская“ ГП „Антрацит“

Оценивая устойчивость выработок в условиях вывалообразования и пучения пород почвы, А.Н. Шашенко принял в качестве коэффициента устойчивости отношение [4]

$$K_{\sigma} = \frac{r_L^*}{r_L} = \frac{1 + \varepsilon_v^{-0,4}}{0,8 \exp 0,5 \left(\frac{\gamma' - E_0}{R_c \cdot k_c \cdot k_a} \right)},$$

где r_L^* – относительный критический радиус области пластических деформаций; r_L – радиус зоны неупругого расширения массива пород вокруг выработки; γ – средневзвешенный удельный вес пород над выработкой; H – глубина заложения выработки; P_0 – отпор крепи; R_c – предел прочности породных образцов на одноосное сжатие; k_c – коэффициент структурного ослабления породного массива; k_a – коэффициент, учитывающий снижение прочности пород в зоне неупругих деформаций вследствие изменений их естественной влажности.

Как видно из формулы, очень важной характеристикой устойчивости выработки и породного массива в целом является коэффициент структурного ослабления. Именно с этой величиной связан на стадии проектирования прогноз возможной области предельного состояния пород в окрестностях выработки, а, следовательно, и нагрузки на крепь.

Определение значения величины коэффициента структурного ослабления k_c , равного отношению предела прочности на одноосное сжатие породного массива R_m к пределу прочности образца, т.е.

$$k_c = \frac{R_m}{R_c},$$

представляет собой сложную задачу, решению которой посвящены многочисленные аналитические и экспериментальные работы [2].

Согласно СНиП [5], величина коэффициента структурного ослабления составляет $k_c = 0,2 - 0,9$. При этом, нижний предел коэффициента структурного ослабления соответствует среднему расстоянию между поверхностями ослабления 0,1 м и менее, а верхний предел – 1,5 м и более в зависимости от среднего расстояния между поверхностями ослабления пород, т.е. трещин.

С 2007 года в угольной промышленности Украины действует стандарт „Підготовчі виробки на пологіх пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони“ [6]. В соответствии с данным стандартом для обоснования выбора типа крепления подготовительных выработок необходимо определение влияния геометрических размеров выработки, устойчивости горных пород к динамическим проявлениям горного давления. Влияние устойчивости горных пород на выбор крепления характеризуется коэффициентом K_{γ} , причем для его определения используется коэффициент структурного ослабления k_c , который имеет всего три значения:

$k_c = 1,0$ – для ненарушенного породного массива; $k_c = 0,7$ – в случае значительного количества нарушений; $k_c = 0,4$ – в зонах дробления, сминания, замках складок.

Из приведенных документов видно различие по величине коэффициента структурного ослабления. Поэтому, величина коэффициента структурного ослабления должна быть достаточно обоснована, включая в себя как объективные предпосылки формирования физической константы, так и субъективные, присущие конкретным горно-геологическим условиям.

В связи с этим, в конкретных условиях содизъюнктивных зон ОП „Шахта „Комсомольская““ проводилось изучение нарушений устойчивости выработок на примере 1-го, 2-го и 3-го северных конвейерных штреков пласта h_{10} гор. 880 м. Данные выработки проводились сечением „вчерне“ 13,8 м² в 2008–2009 г. при подготовке 326 лавы. На пути строительства штреков пересекались сбросы Ясеновский I и II, а также их апофизы. Ясеновский I сброс характеризуется азимутом простирания 280°, углом падения 70° и амплитудой до 8 м, а Ясеновский II: азимутом простирания 282°, углом падения 60° и амплитудой до 5 м. Между сбросами наблюдается серия сбросовых трещин с амплитудами 0,5–1 м.

В процессе эксплуатации конвейерных штреков в содизъюнктивных зонах наблюдалась их повышенная неустойчивость, за счет наличия зон дробления пород у сбросов и апофиз проведение выработок осложнялось локальными вывалами породы из кровли выработок высотой 2–3 м.

В содизъюнктивных зонах выполнялись исследования закономерности изменения трещиноватости пород кровли. Производились замеры густоты трещин, их раскрытия, блочности, и определялась пустотность пород и их водопроницаемость. Для Ясеновских сбросов I и II на расстоянии 100 м густота диагональных трещин составляет 2–2,5 трещины на 1 м, затем, приближаясь к дизъюнктиву, густота трещин экспоненциально увеличивается, достигая – 8–20 на 1 метр. При этом раскрытие трещин субмеридионального простирания изменяется от 2–3 мм до 10–50 мм, трещины субширотного простирания раскрыты на 1–2 мм. Коэффициент трещинной анизотропии составляет 0,4–0,5, среднее раскрытие трещин составляет 1–2 мм. Исследование окружающих пород в штреках показало, что трещиноватость пород кровли и боков выработки при приближении к нарушению увеличивается.

Одновременно в ходе наблюдений установлено, что крупность вывалившейся породы, в зависимости от расстояния до зоны нарушения, была различной. Установлено, что чем дальше от зоны нарушения произошел вывал породы, тем крупнее наблюдались куски вывалившейся породы. Изучение в выработках трещиноватости окружающих пород по мере удаления от зон нарушений показало, что расстояние между трещинами сопоставимо с крупностью вывалившейся породы и устойчивость горных выработок, по мере удаления от нарушения, увеличивается, т.е. они коррелируют между собой, между ними существует зависимость.

На основании изучения трещиноватости и блочности пород кровли в содизъюнктивных зонах сделан вывод: коэффициент структурного ослабления пород на расстоянии 50–100 м от нарушения представляет функциональную величину, зависящую от расстояния, характеристик дизъюнктива, обводненности пород и их прочности, параметров выработки и времени ее эксплуатации. Коэффициент устойчивости в этих выработках оценивался по трем показателям: соотношение длины зон вывалов к наблюдаемой длине выработки (0,4–0,8), соотношение длины деформированных участков крепи к наблюдаемым участкам (0,25–0,8), соотношение несущей способности крепи к горному давлению (0,3–0,9). В результате исследований установлена нелинейная зависимость коэффициента устойчивости выработок в содизъюнктивных зонах от расстояния до нарушения.

Таким образом, исходя из установленных ранее данных по определению коэффициента структурного ослабления k_c , а также, опираясь на полученные данные шахтных наблюдений в исследуемом районе, k_c предлагается описывать экспоненциальной функцией

$$k_c = k_w \cdot k_t \cdot k_\zeta(L) \frac{R_i}{R_c},$$

где k_w – коэффициент, учитывающий характер обводненности выработки; k_t – коэффициент влияния времени эксплуатации выработки; $k_\zeta(L)$ – коэффициент влияния дизъюнктивного нарушения, имеющий экспоненциальную зависимость; L – расстояние до дизъюнктивного нарушения.

Необходимо отметить, что экспонента будет иметь различную степень для всячего и лежачего боков нарушения. В лежачем боку, где отмечена большая трещиноватость, она больше.

Коэффициент влияния дизъюнктивного нарушения k_ζ является многофункциональным параметром, который является функцией амплитуды разлома, ее ориентации, глубины, сечения горной выработки. Для рассматриваемого района тектонические нарушения влияют на устойчивость горных выработок через водопритоки и вывалообразования в горные выработки, трещиноватость окружающих пород. В настоящее время процесс по определению коэффициента влияния дизъюнктивного нарушения k_ζ находится в стадии изучения. Определение функциональной зависимости для данного коэффициента k_ζ позволит прогнозировать объективное значение величины коэффициента структурного ослабления k_c при строительстве и поддержании выработок в содизъюнктивных зонах и на основании этого обоснованно предлагать эффективные способы проведения и поддержания выработок. Это могут быть рамно-анкерные и анкерно-инъекционные крепи, и тампонаж закрепного пространства, и т.д.

Выводы. Обводненность пород кровли выработок глубоких горизонтов определяется зонами тектонических нарушений, линейно увеличивается в зависимости от глубины и приводит к уменьшению прочно-

сти пород и формированию вывалов, объемы которых линейно зависят от водопритока.

Изучение в выработках трещиноватости окружающих пород по мере удаления от зон нарушений показало, что расстояние между трещинами сопоставимо с крупностью вывалившейся породы и устойчивость горных выработок зависит от расстояния до нарушения.

Коэффициент структурного ослабления пород в содизъюнктивных зонах на расстоянии 50–100 м от нарушения представляет функциональную величину, зависящую от расстояния, характеристик дизъюнктивного нарушения, обводненности пород и их прочности, параметров выработки и времени ее эксплуатации.

Список литературы

1. Кольчик Е.И. Влияние мелкоамплитудной дизъюнктивной нарушенности на устойчивость выработок // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП НАНУ. – 2006. – №9. – С. 202–210.
2. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В. Масштабный эффект в горных породах. – Д.: АРТ-Пресс, 2004. – 132 с.
3. Кобзарь Ю.И. Обоснование параметров перекрепления горизонтальных выработок глубоких шахт в обводненных породах: Дис... канд. техн. наук: 05.15.04 ДонГТУ. – Алчевск, 2009. – 166 с.
4. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Пульсари, 2002. – 304 с.
5. СНиП – 94–80. Строительные нормы и правила. Ч.П. Нормы проектирования. Глава 94. Подземные горные выработки. – М.: Стройиздат, 1982. – 31 с.
6. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 116 с.

Розглядається залежність збільшення вивалоутворень у гірничих виробках від водопритоків для глибоких антрацитних шахт у содиз'юнктивних зонах. За рахунок зниження міцності обводнених порід покрівлі, нелінійно зменшується коефіцієнт стійкості виробок до 0,3–0,4. Встановлено експоненціальну залежність коефіцієнта структурного ослаблення від відстані до тектонічного порушення, часу експлуатації виробок та амплітуди диз'юнктива.

Ключові слова: виробка, порушення, водоприток, тріщини, вивали, ослаблення порід

It is examined a mine workings dumping increase dependence on the water inflow for deep anthracitic mines in zones near-by disjunctives. Due to the decline of strength of the watered roof rocks the coefficient of stability of the mine workings diminishes in nonlinear way down to 0,3–0,4. It is set the coefficient of the structural weakening exponential dependence on the distance to a tectonic violation, the time of exploitation of a mine working and amplitudes of disjunctives.

Keywords: working, violation, inflow of water, fissures, dumping, weakening of rocks

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 29.05.2010