

*д.т.н. Должиков П.Н.,
Палейчук Н.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),
Демина Д.В.
(ВНУ им. В. Даля, г. Антрацит, Украина)*

О ВЛИЯНИИ ИНТЕНСИВНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ШАХТ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

Наведено результати шахтних досліджень стійкості виробок, а також параметрів інтенсивно тріщинуватих зон. За результатами досліджень розроблено класифікацію стійкості різних ділянок виробок поза зонами впливу очисних робіт і тектонічної порушеності за показником стійкості і параметрами тріщинуватості.

***Ключові слова:** підготовчі виробки, ділянки, тріщинуватість, інтенсивність, класифікація.*

Приведены результаты шахтных исследований устойчивости выработок, а также параметров интенсивно трещиноватых зон. По результатам исследований разработана классификация устойчивости различных участков выработок вне зон влияния очистных работ и тектонической нарушенности по показателю устойчивости и параметрам трещиноватости.

***Ключевые слова:** подготовительные выработки, участки, трещиноватость, интенсивность, классификация.*

К основным составляющим, которые определяют эффективность подземной добычи угля, относится состояние подготовительных выработок. Одним из основных факторов, определяющих их устойчивое состояние, является трещиноватость породного массива. Воздействие трещиноватости на физико-механические свойства пород изучалось Ерофеевым Б.Н., Малининым С. И. и др. [1-3]. Анализ отечественных и зарубежных публикаций показывает, что в настоящее время под интенсивной трещиноватостью, в основном, понимается отношение некоторого характерного размера трещин к структурному блоку со средним размером h_{cp} [4]. Однако данное определение относится к сформировавшимся системам трещин, в первую очередь, в результате тектонических процессов. Согласно [5] под интенсивной понимается такая тре-

щииноватость, которая характеризуется увеличением количества и параметров трещин за фиксированный промежуток времени в определенном направлении пространства. Этому определению в большей степени соответствует технологическая трещиноватость. В связи с этим является актуальным исследование влияния интенсивной технологической трещиноватости на устойчивость подготовительных выработок.

Целью работы является исследование влияния интенсивной трещиноватости на устойчивость горизонтальных выработок шахт восточного Донбасса.

В качестве объекта исследований были выбраны горизонтальные подготовительные выработки пласта h_{10} : 15-й западный, 18-й восточный, 18-й западный, 20-й, 203-й и 204-й пром. штреки шахты «Партизанская», 10-й западный откаточный, вентиляционный, 3-й восточный пром., диагональный конвейерный и 1-й северный штреки шахты «Комсомольская» ГП «Антрацит», а также восточный и западный дренажные, конвейерные №1, 2, 5, 7, вентиляционный №1 штреки шахты им. В. В. Вахрушева ГП «Ровенькиантрацит». Вмещающие породы представлены сланцами глинистыми, мощность m которых в исследованных выработках находилась в пределах 4,7-9,5 м, а временная прочность на сжатие σ_c составляла 53,7-64,2 МПа, песчано-глинистыми $m = 2,8-16,2$ м, $\sigma_c = 67,5,6-71$ МПа и песчаными $m = 7-24,6$ м, $\sigma_c = 73-96,8$ МПа. Для оценки устойчивости выработок общая их длина разбивалась на участки по 40 м. Устойчивость оценивалась показателем ω_S , определяемым, как отношение фактической площади поперечного сечения выработок к проектной, а также ω_N – отношением количества неразрушенных рам металлокрепления к общему их числу на данном участке и расчетными значениями смещений пород U , исходя из значений показателя ω_S [6].

Углы напластования пород в исследуемых выработках составляют $\alpha = 2 - 19^\circ$ при диапазоне глубин $H = 694 - 1115$ м.

В результате анализа степени и характера деформирования контура подготовительных выработок и элементов крепления на различных участках в условиях шахт ГП «Антрацит» и ГП «Ровенькиантрацит», по значению показателя ω_N выделено четыре типа наиболее характерных зон: со значением показателя менее 0,5 – зона I-го типа, с $\omega_N = 0,5$ ч $0,65$ – зона II-го типа, со значением $\omega_N = 0,651$ ч $0,8$ – III-го типа, а участки с $\omega_N > 0,8$ соответственно IV-го типа.

С целью определения изменения величины показателя устойчивости ω_N в зависимости от густоты трещин массива за фиксированный промежуток времени (1 мес.) для условий пласта h_{10} в течении года проводились инструментальные исследования. При помощи фотопланиметрического метода определялось исходное значение густоты трещин,

затем определялось приращение количества трещин на 1 м длины выработки со временем в различных зонах. Наибольший интерес представляет интенсивность трещинообразования, при которой происходит качественный переход участка выработки из зон предыдущего в зоны последующих типов.

Результаты исследования развития трещиноватости в горизонтальных пластовых подготовительных выработках, срок эксплуатации которых превышал 5 лет, вне зон влияния очистных работ и тектонической нарушенности для условий пласта h_{10} представлены на рисунке 1.

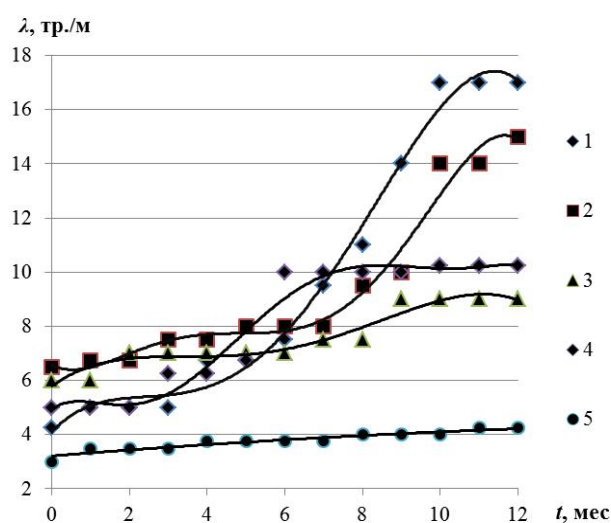


Рисунок 1 – График развития трещиноватости во времени в зонах различного типа подготовительных выработок пласта h_{10}

На рисунке 1 кривая 5 соответствует зоне IV типа на момент окончания исследования. Кривая 3 соответствует зоне II типа, (значение показателя устойчивости $\omega_N = 0,6$) переход на которую произошел на 8-м месяце исследований; до этого показатель ω_N участка выработки, представленного кривой 3, составлял 0,75 (зона III типа). На участке выработки, представленном кривой 4 в течении года показатель ω_N изменился с 0,825 (май 2009 г.) до 0,575 (апрель 2010 г.). Переход из зоны IV в зону III типа произошел на втором месяце исследований, а из зоны III в зону II типа – на пятом. В зонах, представленных кривыми 1 и 2, значение показателя ω_N составляло соответственно 0,825 и 0,7 на момент начала исследований и 0,375, 0,45 по прошествии года. На участке, характеризуемого кривой 1, значение показателя ω_N изменилось с 0,825 до 0,75 на четвертом месяце исследований, с 0,725 до 0,575 на шестом, с 0,55 до 0,375 на восьмом. На участке выработки, развитие трещиноватости в которой отражено кривой 2, исходное значение показателя устой-

чивости составляло 0,7; на третьем месяце опустилось до 0,65, а на одиннадцатом уменьшилось до 0,45.

Для аппроксимации эмпирических зависимостей кривыми 1-5 на рисунке 1 использовался табличный редактор Microsoft® Excel® 2010. При выборе наиболее оптимального вида зависимостей, из множества существующих, а также степени полиномов, использовался показатель достоверности аппроксимации R^2 . Выбирался такой вид зависимостей, которым соответствовало наибольшее значение показателя R^2 . Кривые 1-5 методом наименьших квадратов аппроксимируются соответствующими функциями вида:

$$\lambda(t)_1 = 4,093 + 1,505t - 0,646t^2 + 0,115t^3 - 0,005t^4, \text{ (тр./м)/мес,} \quad (1)$$

$$\lambda(t)_2 = 6,214 + 1,212t - 0,458t^2 + 0,065t^3 - 0,003t^4, \text{ (тр./м)/мес,} \quad (2)$$

$$\lambda(t)_3 = 5,786 + 1,028t - 0,345t^2 + 0,047t^3 - 0,002t^4, \text{ (тр./м)/мес,} \quad (3)$$

$$\lambda(t)_4 = 5,205 - 1,033t + 0,583t^2 - 0,064t^3 + 0,002t^4, \text{ (тр./м)/мес,} \quad (4)$$

$$\lambda(t)_5 = 3,26 + 0,01t, \text{ (тр./м)/мес,} \quad (5)$$

где $\lambda(t)_1, \lambda(t)_2, \lambda(t)_3, \lambda(t)_4, \lambda(t)_5$ – густота трещин во времени для участков выработок представленных кривыми 1-5, (тр./м)/мес;

t – время фиксации соответствующего значения густоты трещин массива, мес.

Показатель достоверности аппроксимации R^2 для выражений (1)-(5) составляет 0,85, 0,78, 0,73, 0,79 и 0,83 соответственно.

Для зависимостей (1) - (4) точность постоянных коэффициентов составляет 0,001. Выбор данного значения обусловлен необходимостью в соответствующей точности аппроксимации полиномиальными зависимостями для последующего определения интенсивности трещинообразования.

Зависимость изменения густоты трещин во времени для зон I-го типа (кривые 1 и 2) аппроксимируются полиномиальными зависимостями (1) и (2). Тогда, зная время, при котором произошел переход зоны II-го в зону I-го типа, определим интенсивность развития трещиноватости, при которой произошел данный переход.

Интенсивность изменения величины x функции $y = f(x)$, при условии, что эта функция непрерывна и дифференцируема в каждой точке, определяется как производная первого порядка:

$$v = f'(x) = \frac{dy}{dx}. \quad (6)$$

Количество трещин на 1 п.м. длины выработки для участка, представленного кривой 1 в момент зафиксированного перехода из зоны II-го в зону I-го типа определяется при помощи выражения:

$$v_1 = 1,505 - 1,292t + 0,345t^2 - 0,015t^3, \text{ (тр./м)/мес,} \quad (7)$$

где v_1 – интенсивность трещинообразования на участке выработки представленном кривой 1 в точке зафиксированного перехода из зоны II-го в зону I-го типа.

На участке выработки, развитие трещиноватости в котором отражается кривой 1, показатель устойчивости изменился с 0,55 до 0,375 на восьмом месяце, т.е. $t = 8$. Тогда:

$$v_1 = 1,505 - 1,292 \cdot 8 + 0,345 \cdot 8^2 - 0,015 \cdot 8^3 = 3,01 \approx 3 \text{ (тр./м)/мес.}$$

Интенсивность трещинообразования для участка выработки, представленного кривой 2 в момент перехода из зоны II-го в зону I-го типа ($t = 11$ мес.) определяется выражением:

$$v_2 = 1,212 - 0,916t + 0,195t^2 - 0,012t^3 = 1,24 \text{ (тр./м)/мес.} \quad (8)$$

Интенсивность трещинообразования на 1 п.м. длины для участков выработок, представленных кривыми 1 и 2, в момент перехода из зон III-го в зоны II-го типа ($t_1 = 3$ мес., $t_2 = 6$ мес.) согласно (6) составляет:

$$v_1 = 1,505 - 1,292 \cdot 3 + 0,345 \cdot 3^2 - 0,015 \cdot 3^3 = 0,19 \approx 0,2 \text{ (тр./м)/мес.}$$

$$v_2 = 1,212 - 0,916 \cdot 6 + 0,195 \cdot 6^2 - 0,012 \cdot 6^3 = 0,14 \text{ (тр./м)/мес.}$$

Для участков выработок, представленных кривыми 3 и 4, в момент зафиксированного перехода из зоны III-го в зону II-го типа ($t_3 = 8$ мес., $t_4 = 5$ мес.) значение интенсивности трещиноватости составляет:

$$v_3 = 1,028 - 0,69t + 0,141 \cdot t^2 - 0,008 \cdot t^3 = 0,44 \text{ (тр./м)/мес,} \quad (9)$$

$$v_4 = -1,033 + 1,166t - 0,192 \cdot t^2 + 0,008 \cdot t^3 = 0,99 \approx 1 \text{ (тр./м)/мес.} \quad (10)$$

Для участка выработки, представленного кривой 4, в момент перехода из зоны IV-го в зону III-го типа ($t_4 = 2$ мес.) интенсивность развития трещиноватости составляет:

$$v_4 = -1,033 + 1,166 \cdot 2 - 0,192 \cdot 2^2 + 0,008 \cdot 2^3 = 0,59 \approx 0,6 \text{ (тр./м)/мес.}$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что в условиях пласта h_{10} наиболее интенсивное развитие трещин (3 и 0,5 (тр. / м) /мес для зон, представленных кривыми 1 и 2 соответственно) происходит при переходе участка выработки из зоны II-го в зону I-го типа, а наименее интенсивное – при переходе из зоны III-го в зону II-го типа.

В результате обобщения материалов шахтных исследований (значений показателя ω_S , временной прочности на сжатие пород кровли σ_c , мощности пород кровли m , среднего значения смещений пород U , а также вероятностей вывалообразований) в зонах подготовительных выработок различных типов, вне зон влияния очистных работ и тектонической нарушенности, разработана классификация, которая приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация трещиноватых зон выработок

Параметры	Значения показателя ω_N на участках выработок			
	$\omega_N < 0,5$	$0,5 \leq \omega_N \leq 0,65$	$0,65 \leq \omega_N \leq 0,8$	$\omega_N > 0,8$
1	2	3	4	5
Обозначение зон	I-го типа (интенсивно-трещиноватая)	II-го типа (активного развития трещин)	III-го типа (активизации трещинообразования)	IV-го типа (потенциального развития трещин)
Значение показателя ω_S	< 0,6	0,6 - 0,72	0,73 - 0,85	> 0,85
Среднее значение временной прочности пород кровли σ_c , МПа	50 - 90	50 - 80	62,5 - 85	72 - 97
Среднее значение мощности пород кровли m , м	5 - 13	7 - 14	8,5 - 20	13,6 - 25

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Значение густоты трещин λ , м ⁻¹	7 - 20	5 - 10	4 - 9	3 - 7
Среднее значение смещений пород U , м	1,835	1,1	0,65	0,155
Интенсивность трещиноватости ν , инициирующая переход в зону данного типа, (тр. / м) /мес	1,24 - 3	0,14 - 1	0,05 - 0,6	--
Вероятность выва-лообразования $P(A)$, %	87	30	2,8	0,5

Выводы Таким образом, к понятию «интенсивно трещиноватые» следует относить участки породного массива, развитие определенного значения трещиноватости в которых происходит за значительно меньший промежуток времени по сравнению с другими участками.

Тогда прогнозирование изменения показателя устойчивости в условиях шахт ГП «Антрацит» и ГП «Ровенькиантрацит» может осуществляться в соответствии с разработанной классификацией на основании степени (густоты) и интенсивности трещиноватости приконтурного породного массива, а также мощности и прочности пород кровли.

К направлению дальнейших исследований относится разработка аналогичной классификации для различных горно-геологических условий Восточного Донбасса и аналитическое описание соответствующих моделей поведения горного массива.

Библиографический список

1. Малинин С.И. Геологические основы прогноза поведения пород в горных выработках по разведочным данным / С. И. Малинин. – М.: Недра, 1969. – 192 с.

2. Парчевский Л.Я. Исследование влияния породных полос на состояние подготовительных выработок: тез. докл. и сообщ. республ. межвуз. научн.- технич. совещ. по охране подготов. выработок на шахтах Донецкого бассейна / Л.Я. Парчевский, А.М. Симанович – Коммунарск, 1966. – С. 45 –51.

3. Ерофеев Б.Н. Прогнозирование устойчивости горных выработок / Б.Н. Ерофеев. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 81 с.

4. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: учебник для ВУЗов. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.

5. Должиков П.Н. Исследование особенностей условий эксплуатации арочных рамных крепей в зонах интенсивной трещиноватости / П.Н. Должиков, Н.Н. Палейчук, Ю.И. Кобзарь // Сборник научных трудов НГУ. – 2010. – №34, Т. 1. – С. 67-74.

6. Палейчук Н. Н. О горно-геометрических параметрах вывалообразования подготовительных выработок глубоких шахт / Н. Н. Палейчук // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – №11-12. – С. 43-45.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Гайко Г.И.