

УДК 622.028

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТОК

Дрибан В. А., Южанин И. А., Терлецкий А. М.
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Запропоновано критерій оцінювання стійкості гірничих виробок на основі показників змінення їхнього ефективного радіуса і площі поперечного перерізу у період експлуатації.

Criterion for the evaluation of stability of mine workings based on the indicators of their effective radius and cross-section area during their operation is proposed.

Механизмы формирования НДС массива вокруг выработок, нагрузок на крепь и разработка методов оценки устойчивости и обеспечения эксплуатационного состояния горных выработок и шахтных стволов на протяжении многих лет являются предметом многочисленных дискуссий и поисков.

Анализ экспериментальных данных показывает, что потеря устойчивости горных пород сопровождается образованием зон предельного состояния, где проявляются упругие и пластические свойства тел, которые в дальнейшем разрушаются в условиях неоднородных объемных напряженных состояний. Таким образом, поведение зоны неупругих деформаций в зависимости от изменения общего напряженного состояния массива, характеристик устанавливаемой крепи, а также истории ее нагружения, и определяет устойчивость всей системы "крепь – массив" в целом. При этом ключевыми вопросами с точки зрения обеспечения охраны и поддержания горных выработок, является выработка критериев, определяющих устойчивость упругопластической системы в це-

лом и выбор параметров крепления адекватным сложившимся геомеханическим условиям.

В работах [1–4] на основе полученных новых решений о распределении полей напряжений и деформаций в горном массиве, вмещающем горные выработки, показано, что в процессе деформирования массив последовательно проходит дискретный ряд состояний, отвечающих определенному соотношению физико-механических свойств массива и уровню горного давления. При этом было показано, что при достижении некоторого критического возмущения контура выработки, при котором при неизменных внешних параметрах нагружения становится возможным переход из сложившегося напряженного состояния массива в некоторое другое, то есть появляется точка бифуркации, что соответствует условию потери устойчивости с точки зрения классических в механике определений.

Проведенная серия модельных расчетов для различных геомеханических условий позволила установить, что относительное возмущение контура выработки, при котором наступает потеря устойчивости, составляет 12 – 18 %.

Полученный деформационный критерий устойчивости горных выработок, достаточно хорошо согласуется с классификацией устойчивости горных пород вмещающих выработку, разработанной ВНИМИ, УкрНИМИ [5].

Следует отметить, что классификация [5] была основана на совершенно иной, инженерной точки зрения, где устойчивость горных выработок, определялась, как способность выработки сохранять свои эксплуатационные свойства на протяжении всего срока ее службы. В ней за критерий принята максимальная абсолютная величина смещений пород на контуре выработки дифференцированно по ее элементам: кровле, почве и бокам (табл. 1), что дает возможность прямого сравнения указанных критериев.

Смещения пород рассчитываются по разработанной методике [5]. При этом в ней предусмотрен учет тектонических сил, структурной нарушенности. Расчет смещений пород приведен для всех геомеханических зон, включая наложение последних при разработке свит пластов.

Таблиця 1

Классификация пород по устойчивости [5]

Категория устойчивости	Оценка состояния устойчивости пород	Смещения пород на контуре выработки U, мм
I	Устойчивое	До 50
II	Среднеустойчивое	51–200
III	Неустойчивое	201–500
IV	Весьма неустойчивое	Более 500

Достоинством данного критерия является его объективность, так как величина смещений пород на контуре выработки является универсальной характеристикой, учитывающей геомеханические, горно-геологические и горнотехнические условия поддержания выработки. Поэтому данная классификация получила широкое распространение, включена в ряд нормативных документов.

Однако в этой в указанном нормативном документе величины смещений пород в выработках не увязаны с их размерами, площадью поперечного сечения, что, очевидно, не вполне корректно, поскольку одна и та же величина смещения по-разному окажет влияние на устойчивость выработок при различной площади их сечения.

Поскольку смещения пород на контуре выработок изменяет их размеры и площадь сечения, нами поставлена цель – установить влияние относительного изменения размеров и сечения выработок на их устойчивость и дать сравнительную оценку теоретических и экспериментальных критериев.

Для оценки этого влияния было проработано несколько показателей, из которых наиболее информативными оказались следующие: относительное изменение эффективного радиуса выработки и относительное изменение площади ее сечения в проходке, определяемые соответственно из выражений

$$i_{r_{\text{э}}} = \frac{|r_{\text{э}2} - r_{\text{э}1}|}{r_{\text{э}1}}; \quad i_S = \frac{|S_2 - S_1|}{S_1},$$

где $r_{э1}$, $r_{э2}$ и S_1 , S_2 – начальное и конечное значение эффективного радиуса и площади сечения выработки соответственно.

Эффективный радиус выработки определяется по формуле

$$r_{э} = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Исследования заключались в формировании базы исходных данных по смещениям пород, окружающих горные выработки, их анализе и обобщении. Основой базы данных являлись исследования, выполненные ВНИМИ [6, 7].

Характеристики анализируемых выработок представлены в табл. 1.

Исходными данными для анализа являются размеры выработки (ширина, высота, площадь сечения) и величины смещения пород на контуре выработок по их элементам.

Измерения производились в подготовительных и магистральных выработках, проводимых полевыми или по угольному пласту с различными способами охраны (массив, целики, присечка к выработанному пространству), закрепленных арочной податливой крепью КМП.

Смещения в выработках изменялись в больших пределах: суммарные смещения кровли и почвы составляли 160 – 1520 мм. Все выработки испытывали влияние очистных работ в виде полной или частичной над- или подработки. На период окончания измерений выработки находились в различном состоянии – от хорошего до полного выхода из строя.

После проведения измерений определялись ширина и высота выработки соответственно по формулам

$$b_2 = b_1 - U_{\sigma}, \quad h_2 = h_1 - (U_{\kappa} + U_n).$$

По этим величинам вычислялись новая площадь сечения выработки S_2 и ее эффективный радиус $r_{э2}$.

Таблица 1

Характеристика анализируемых выработок

№ объектов	Название шахт и объединений, источник	Наименование выработок	Размеры в проходке			
			Ширина, b , м	Высота, h , м	Сечение, S , м ²	Эффективный радиус, $r_э$, м
1	"Пионерка", Кузбассуголь, [2]	Основной штрек № 114	5,3	3,71	16,5	2,292
2	"Центральная", Воркутауголь, [3]	Конвейерный штрек лавы 523-3	5,3	3,71	16,5	2,292
3	То же	Вентиляционный штрек лавы 523-3	5,3	3,71	16,5	2,292
4	"	То же	5,3	3,71	16,5	2,292
5	"Добропольская", Красноармейскуголь, [3]	Людской ходок южного панельного уклона	3,43	2,92	8,7	1,664
5'	То же	То же	3,43	2,92	8,7	1,664
6	"Белозерская", Красноармейскуголь, [3]	Южный коренной штрек пласта m_4^0	5,77	3,84	18,5	2,427
7	"Новгородовская", Красноармейскуголь, [3]	Уклон №3 пласта l_1	3,76	3,0	9,8	1,766
7'	То же	То же	3,76	3,0	9,8	1,766
8	№ 1–1 бис, Макеевуголь, [2]	9-й восточный откаточный штрек пласта l_3	4,7	3,39	13,5	2,073
9	Им. А.Ф. Засядько, Донецкуголь, [2]	Квершлаг гор. 529 м	3,76	3,0	9,8	1,766

Результаты измерений смещений пород на контуре выработок и расчетные данные приведены в табл. 2, а величины относительных изменений площади поперечного сечения и эффективного радиуса выработок представлены на графиках рис. 1 и 2 соответственно. На графиках четко выделяются области значений величин i_S и $i_{r_э}$, в которых состояние выработок удовлетворительное – белые точки, с незначительными повреждениями крепи – серые точки, и неудовлетворительное (перекрепление, ремонт крепи, подрывка почвы) – черные точки.

Таблица 2
 Результаты измерений смещений пород на контуре выработок и
 расчетные данные

№ объектов	№ точек	Исходные данные		Расчетные данные						Состояние
		$U_{ПК}$, мм	U_6 , мм	b_i , м	h_i , м	S_i , м ²	$r_{эi2}$, м	i_s	$i_{rэ}$	
1	1	290	84	5,216	3,420	14,97	2,183	0,093	0,048	Удовлетворительное
	2	174	78	5,222	3,536	15,49	2,221	0,061	0,031	
	3	160	78	5,222	3,550	15,56	2,225	0,057	0,029	
	4	196	72	5,228	3,514	15,42	2,215	0,066	0,033	
	5	184	44	5,256	3,526	15,55	2,225	0,057	0,029	
2	6	370	328	4,972	3,340	13,94	2,106	0,155	0,081	То же
	7	524	338	4,962	3,186	13,27	2,055	0,196	0,103	
	8	358	328	4,972	3,352	13,99	2,110	0,152	0,079	
3	9	570	536	4,764	3,140	12,55	1,999	0,239	0,128	Незначительные деформации
	10	556	512	4,788	3,154	12,67	2,008	0,232	0,124	
4	11	404	318	4,982	3,306	13,82	2,097	0,162	0,085	То же
	12	322	228	5,072	3,388	14,42	2,142	0,126	0,065	
	13	290	272	5,028	3,420	14,43	2,143	0,125	0,065	
5	18	1256	800	2,630	1,664	3,80	1,100	0,563	0,339	Перекрепление
	19	1060	680	2,750	1,860	4,44	1,189	0,489	0,285	
	20	1060	400	3,030	1,860	4,90	1,248	0,437	0,250	
	21	894	296	3,134	2,026	5,52	1,325	0,366	0,204	
	22	698	280	3,150	2,222	6,08	1,391	0,301	0,164	
	23	924	400	3,030	1,996	5,25	1,293	0,396	0,223	
	24	1280	640	2,790	1,640	3,97	1,125	0,543	0,324	
5'	25	328	128	3,302	2,592	7,43	1,538	0,145	0,076	Удовлет.
5	26	1200	756	2,674	1,720	4,00	1,128	0,541	0,322	Перекрепление
	27	1062	438	2,992	1,858	4,83	1,240	0,445	0,255	
	28	800	432	5,338	3,040	13,55	2,077	0,268	0,144	
6	29	798	348	5,422	3,042	13,77	2,094	0,256	0,137	Неуд.
	31	468	308	3,452	2,532	7,59	1,555	0,225	0,120	
7	32	506	474	3,286	2,494	7,12	1,505	0,273	0,148	То же
	33	896	384	3,376	2,104	6,17	1,402	0,370	0,206	
	34	1520	720	3,040	1,480	3,91	1,115	0,601	0,368	
	39	1200	461	4,239	2,190	7,87	1,582	0,417	0,237	
8	40	985	434	4,266	2,405	8,69	1,663	0,356	0,198	"
	41	963	403	4,297	2,427	8,84	1,677	0,345	0,191	
	42	1027	600	3,160	1,973	5,42	1,313	0,447	0,257	

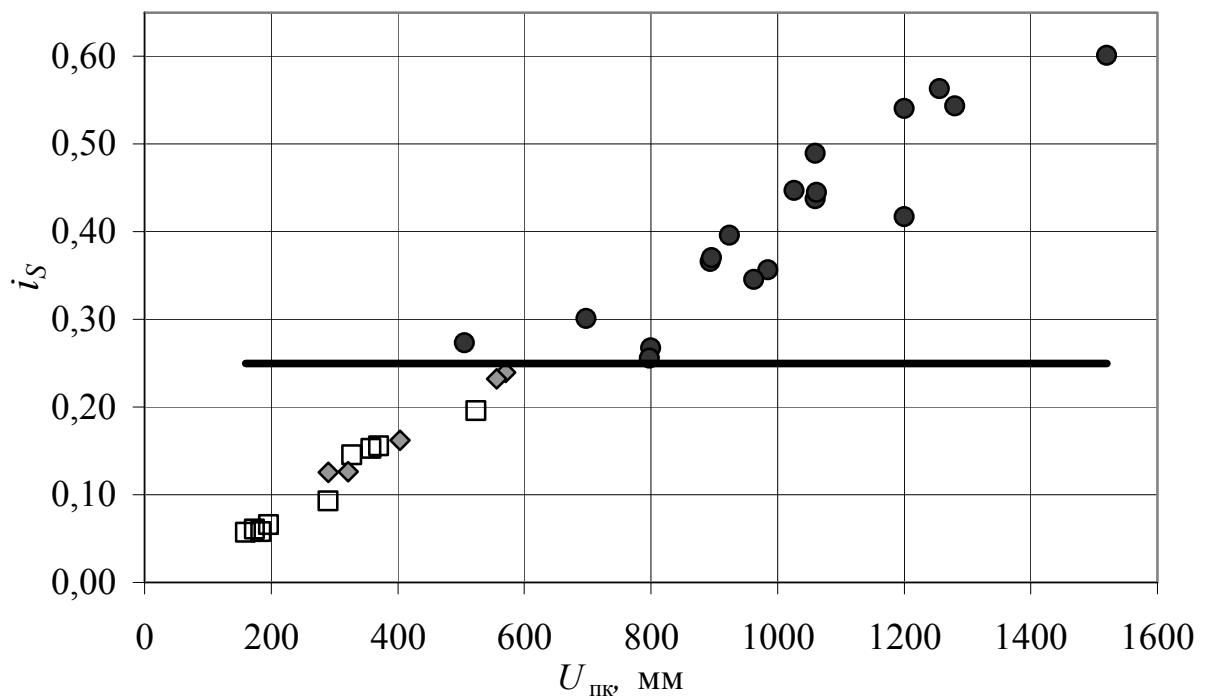


Рис. 1. Распределение по показателю i_s

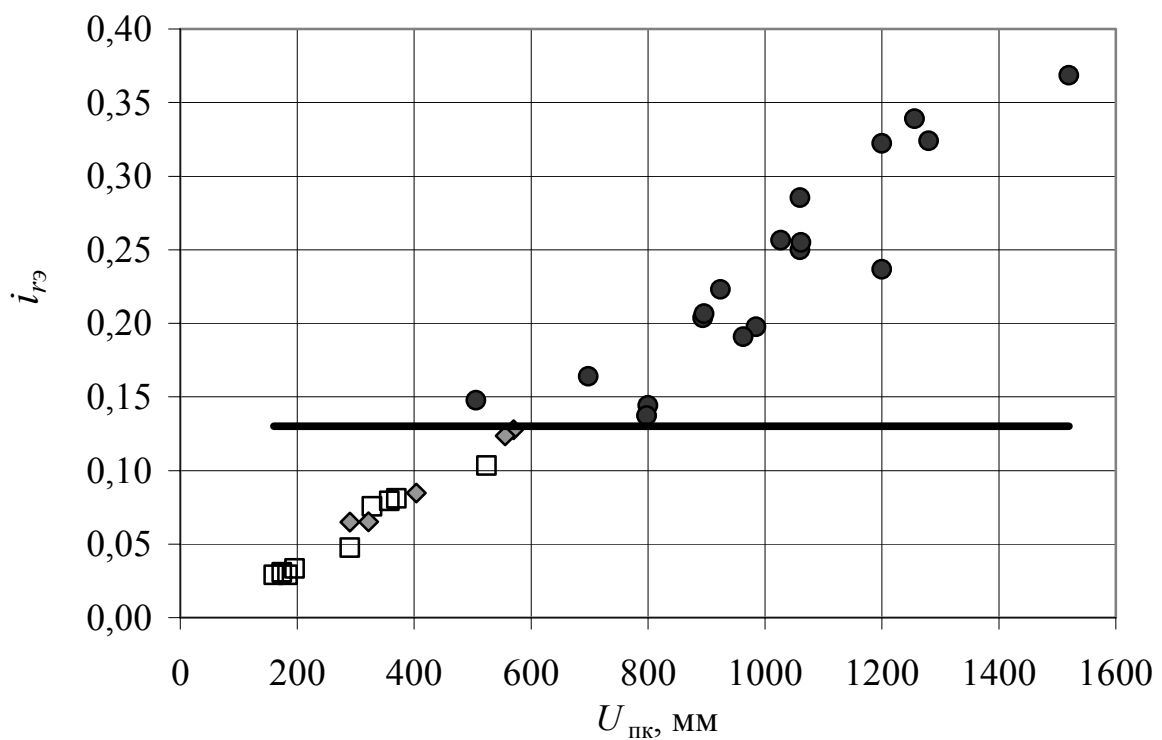


Рис. 2. Распределение по показателю $i_{rэ}$

Как видно из графиков, существенные повреждения крепи, которые можно отождествлять с потерей устойчивости выработки, начинаются при значениях $i_S > 0,25$ и $i_{rэ} > 0,14$.

Обратим внимание на тот факт, что во всех без исключения выработках, анализируемые величины не являются полными, поскольку они не включают (или включают частично) смещения вне зоны влияния очистных работ. И хотя неучтенные величины смещений существенно меньше измеренных величин в зоне влияния очистных работ, они в определенной степени повлияли на величины показателей i_S и $i_{rэ}$, характеризующих начало повреждений крепи, поэтому точки необходимо сдвинуть вверх.

Расчеты смещений пород в выработках в начальный период их поддержания до влияния очистных работ по объектам 1, 2, 3, 4, 5 показали следующее. Величины суммарных смещений пород кровли и почвы выработок изменялись в пределах от 41 до 246 мм, а смещения боков – от 14 до 190 мм. Эти смещения соответствуют величинам $0,008–0,054 i_{rэ}$ и $0,017–0,110 i_S$. Соответственно, на эти величины необходимо все точки рис. 1 и 2 сдвинуть вверх – увеличить их значения.

С учетом вышеизложенного можно сделать следующий вывод: при уменьшении эффективного радиуса выработок на величину 15–20 % или уменьшении поперечного сечения на величину более 27–36 % имеет место потеря устойчивости. Таким образом, мы имеем очень хорошее совпадение теоретического и экспериментального критериев устойчивости, что позволяет сделать вывод об их объективности.

Предложенные показатели позволяют более точно и объективно контролировать состояние горных выработок и разрабатывать мероприятия по их охране и поддержанию, используя установленные механизмы изменения напряженно-деформированного состояния вмещающего массива.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Driban, V. New approach to assessment of mine working stability [Text] / V. Driban // 7-th International Scientific Conference Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental

Protection SGEM - Albena, (Bulgaria). – 2007. – P. 251 – 259.

2. Driban, V. On the of mine working stability [Text] / V. Driban // Форум гірників – 2007 - Дніпропетровськ, (Україна). – 2007. – с. 35 – 41.

3. Driban, V. On the new approach to the problem of maintenance mine workings [Text] / V. Driban // 21th World Mining Congress “New Challenges and Visions for Minings” – Krakow (Poland). – 2008. – P. 65 – 72.

4. Driban, V. Shaft massif and shaft lining stability [Text] / V. Driban // 20th World Mining Congress “Mining and Sustainable Development” – Tehran (Iran). - 2005. – P. 669 – 672.

5. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания [Текст]: КД 12.01.01.201–98. – Донецк: УкрНИМИ, 1998 – 149 с.

6. Каталог паспортов наблюдений за проявлением горного давления в подготовительных выработках (часть I – наработка выработок) [Текст]. Л.: ВНИМИ, 1975. – 107 с.

7. Каталог паспортов наблюдений за проявлением горного давления в подготовительных выработках (часть II – подработка выработок) [Текст]. Л.: ВНИМИ, 1978. – 102 с.