

ричность поперечного сечения става обуславливает его закручивание и выход ходового конца трубопровода из плоскости транспортировки даже в случае параллельности векторов скорости движения судна и набегающего потока.

2. В условиях качки судна на волнении продольно-поперечные колебания сильно затухают с глубиной погружения става вследствие значительного демпфирования окружающей морской среды. При вертикальных же колебаниях их максимальная амплитуда соответствует ходовому концу става, а максимальные динамические нормальные усилия – коренному концу.

3. Выполненный анализ указывает на слабую управляемость трубной системы подъема (вследствие ее больших инерционных характеристик), что накладывает дополнительные требования к разработке АСУ гидроподъемами.

4. Приведенные результаты применимы как для насосного так и для эрлифтного вариантов гидроподъема.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириченко Е.А. Полная математическая модель гидроупругих эффектов для глубоководных пульпопроводов. // Науковий вісник НГА України, №2 – Днепропетровск, 1998. – С. 53 – 57.

2. Гоман О.Г., Графский И.Ю., Кириченко Е.А. Аэродинамические характеристики погружных конструкций системы для подводной добычи полезных ископаемых. // Сб. Научных трудов НГА Украины, №2 – Днепропетровск, 1998. – С. 418 – 430.

УДК 622.28:622.831

Н.Т. Бобро, В.Е. Васильев

## ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТАХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

Виконана оцінка міцносної анізотропії порід Західного Донбасу стосовно стійкості гірничих виробок.

Многими исследованиями показано [1,2], что проблема поддержания горных выработок, а особенно в слабометаморфизованных породах [3], далека от своего решения. Прогнозирование параметров поддержания выработок вообще, и подготовительных в частности, требует обширных знаний по условиям поддержания и оценке особенностей деформирования массива пород, закономерностям их взаимодействия с охранными конструкциями выработок.

Типизация условий поддержания выработок сопряжена с определением комплекса литологических и геомеханических показателей пород продуктивной толщи, их изменением при воздействии технологических факторов. В работах [3,4] показано, что наибольшее влияние на устойчивость выработок оказывает структура массива и прочностные свойства непосредственной кровли и почвы пластов. Учитывая сказанное, выполнена количественная оценка прочностной анизотропии пород на участках поддержания подготовительных выработок в условиях шахты «Степная» ГХК «Павлоградуголь».



Характеризуя прочностные свойства пород по площади шахтного поля, следует указать на большую вариацию их показателей. В частности, прочность аргиллитов изменяется в пределах от 5 до 63 МПа, составляя в среднем 25-30 МПа. Прочность аргиллитов на растяжение составляет:  $\sigma_p^*$  – 4-5 МПа;  $\sigma_p^\perp$  – 1-1,5 МПа. Для алевролитов также характерна вариация прочности:  $27 \leq \sigma_{сж}^\perp \leq 52$  МПа (средняя 40 МПа). Пределы прочности на растяжение алевролитов изменяются в таких диапазонах:  $3 \leq \sigma_p^* \leq 6$  МПа,  $1,5 \leq \sigma_p^\perp \leq 2,5$  МПа. Для песчаников характерна большая вариация показателей прочности. Предел прочности при одноосном сжатии колеблется в пределах 10-70 МПа, достигая в максимуме 110 МПа, имея среднюю его величину, равную 35 МПа. При этом  $3 \leq \sigma_p^* \leq 6$  МПа, а  $2 \leq \sigma_p^\perp \leq 3$  МПа. Механическую характеристику дополним литолого-структурной.

Высокая угленасыщенность толщи Западного Донбасса [5] определяет существенную литологическую ее неоднородность, что проявляется в чередовании слоев пород разной мощности, выраженном прежде от одной литологической разности к другой, наличии довольно слабых контактов между слоями. Для пород шахтного поля также характерна выраженная послойная литологическая дифференциация [3] от угольных пластов вглубь массива пород почвы и кровли, что обуславливает его анизотропию. Таким образом, существенным фактором, определяющим решения по поддержанию подготовительных выработок, является литолого-механическая неоднородность пород, влияющая на их деформирование и разрушение.

Для более полной оценки свойств пород и их влияния на механизм деформирования исследованы параметры прочностной анизотропии пород согласно методике [4]. Сущность методики заключается в экспериментальном определении четырех параметров прочности: двух при сжатии –  $\sigma_{сж}^\perp$  и  $\sigma_{сж}^*$  – и двух при растяжении –  $\sigma_p^\perp$  и  $\sigma_p^*$ , и расчете на их базе параметров прочностной анизотропии:  $\sigma_{сж}^\perp / \sigma_{сж}^*$ ;  $\sigma_{сж}^\perp / \sigma_p^*$ ;  $\sigma_{сж}^* / \sigma_p^\perp$ ;  $\sigma_p^* / \sigma_p^\perp$ ;  $\sigma_{сж}^\perp \cdot \sigma_p^\perp / \sigma_{сж}^* \cdot \sigma_p^*$ . Одним из основных показателей является величина отношения  $\sigma_{сж}^\perp / \sigma_p^*$ , по которой определяют параметры паспорта прочности породы. Результаты выполненных нами определений параметров прочностной анизотропии пород приведены в табл. I.

Таблица I – Прочностная анизотропия пород Западного Донбасса

№ пробы	Литотип	Предел прочности при одноосном				Параметры анизотропии				
		сжатии, $\sigma_{сж}$ , МПа		растяжении, $\sigma_p$ , МПа		$\frac{\sigma_{сж}^\perp}{\sigma_{сж}^*}$	$\frac{\sigma_{сж}^\perp}{\sigma_p^*}$	$\frac{\sigma_{сж}^*}{\sigma_p^\perp}$	$\frac{\sigma_p^*}{\sigma_p^\perp}$	$\frac{\sigma_{сж}^\perp \cdot \sigma_p^\perp}{\sigma_{сж}^* \cdot \sigma_p^*}$
		$\sigma_{сж}^\perp$	$\sigma_{сж}^*$	$\sigma_p^\perp$	$\sigma_p^*$					
1	Аргиллит	26,4	22,6	3,9	5,4	1,17	4,88	5,79	1,46	0,80
2	Алевролит	20,2	23,0	1,5	3,2	0,88	6,31	15,33	2,13	0,41



3	Аргиллит	24,0	22,0	2,1	3,1	1,08	7,74	10,57	1,48	0,73
5	Алевролит	48,0	36,0	1,2	3,4	1,33	14,12	30,0	2,83	0,47
6	Алевролит	38,0	27,0	0,9	4,3	1,41	8,84	30,0	4,78	0,29
238	Аргиллит	22,0	17,2	2,3	4,1	1,28	5,36	7,48	1,78	0,72
239	Аргиллит	22,2	15,0	2,4	4,6	1,48	4,83	6,25	1,92	0,77
240	Аргиллит	25,5	17,9	1,6	4,3	1,42	5,93	11,19	2,69	0,53

Охарактеризуем результаты определений и расчетов. Для аргиллитов  $\sigma_{сж}^{\perp} / \sigma_{сж}^{\parallel}$  изменяется от 1,08 до 1,48 при среднем значении 1,26. Отношение  $\sigma_p^{\parallel} / \sigma_p^{\perp}$  изменяется в значительно большем диапазоне – 1,46-4,78, составляя в среднем 2,38.

Обычно используемое для оценки свойств пород отношение  $\sigma_{сж}^{\perp} / \sigma_p^{\parallel}$  изменяется в диапазоне величин – 4,83-14,12. Причем наблюдается тенденция уменьшения этого отношения с увеличением абсолютного значения предела прочности при сжатии перпендикулярно слоистости. Отношение  $\sigma_{сж}^{\parallel} / \sigma_p^{\perp}$  имеет значения от 5,79 до 30,0, зависимость величины этого отношения от предела прочности при растяжении перпендикулярно слоистости близка к гиперболической.

Для обобщенной оценки прочностной анизотропии горных пород вычислен комплексный показатель  $\sigma_{сж}^{\perp} \cdot \sigma_p^{\perp} / \sigma_{сж}^{\parallel} \cdot \sigma_p^{\parallel}$ , включающий все четыре экспериментально определяемые прочностные параметры. Он указывает на степень непропорционального изменения прочностной анизотропии при сжатии и растяжении. Чем меньше коэффициент анизотропии прочности породы при растяжении отличается от аналогичного коэффициента при сжатии, тем ближе комплексный показатель к единице. Из табл. 1 видно, что значения указанного показателя для испытанных горных пород изменяются от 0,41 до 0,80.

Различные значения отношений прочности при одноосном сжатии  $\frac{\sigma_{сж}^{\perp}}{\sigma_p^{\parallel}}$  и  $\frac{\sigma_{сж}^{\parallel}}{\sigma_p^{\perp}}$  слабометаморфизованных пород указывают на то, что их объемная прочность будет зависеть от направления приложения максимального сжимающего напряжения по отношению к слоистости.

Совокупная оценка свойств пород осуществляется по парам значений для каждой пробы предела прочности при сжатии и растяжении при приложении нагрузки перпендикулярно и параллельно слоистости путем построения двух паспортов прочности анизотропной горной породы. Построение ведется в соответствии с порядком, регламентируемым ГОСТ [6]. Первый паспорт строится по значениям пределов прочности  $\sigma_{сж}^{\perp}$  и  $\sigma_p^{\perp}$  и характеризует предельное состояние пород в боках одиночной выработки, второй – в кровле или почве.

В качестве огибающей предельных кругов Мора могут быть использованы линейная или нелинейная зависимость. Количественными характеристиками



этих зависимостей (паспорта прочности) являются угол внутреннего трения  $\varphi$  и коэффициент сцепления  $C$ .

При небольших сжимающих напряжениях предельное напряженное состояние пород может быть экстраполировано с помощью прямолинейной огибающей, построенной только по значениям прочности при одноосном сжатии и растяжении. В этом случае угол внутреннего трения определяется из выражения

$$\sin \varphi = \frac{\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p} - 1}{\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p} + 1}. \quad (1)$$

Так как  $\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p}$  зависит от направления приложения нагрузки относительно слоистости, то и угол внутреннего трения будет больше при приложении максимального напряжения вдоль слоистости, чем при приложении перпендикулярно слоистости. От направления приложения напряжений зависит также коэффициент сцепления.

Лучшую сходимость с экспериментальными данными обеспечивает огибающая к наибольшим кругам напряжений Мора в виде, предложенном М.М. Протодыяконовым. Метод определения угла внутреннего трения и коэффициента сцепления по этой огибающей описан в работе [7].

Определенные по экспериментальным испытаниям горных пород Западного Донбасса параметры паспорта прочности приведены в табл. 2. Индексом 1 обозначены параметры, определенные по результатам испытаний при сжатии перпендикулярно и растяжении параллельно слоистости, а индексом 2 – при сжатии параллельно и растяжении перпендикулярно слоистости. Как видно из данных табл. 2 во втором случае угол внутреннего трения больше в 1,12÷1,43 раза, чем в первом. При сжатии параллельно слоистости коэффициент сцепления уменьшается на 16÷50%.

В табл. 2 приведены также значения параметра  $A$  прямолинейной огибающей, который широко используется при упругопластических расчетах напряженно-деформированного состояния. При сжатии перпендикулярно слоистости параметр  $A$  имеет значения от 2,72 до 6,04, а при сжатии параллельно слоистости – от 3,00 до 9,00. Максимальное увеличение параметра  $A$  наблюдается у пробы алевrolита – почти в два раза.

Параметр  $A$  является характеристикой разрыхляемости горных пород, что следует из ассоциированного закона пластического течения. Его влияние на смещения массива вокруг выработки прослеживается из решения упругопластической задачи с учетом разупрочнения пород. Можно сделать вывод о высокой разрыхляемости испытанных пород.

Полученные результаты важны как для типизации условий и выбора параметров поддержания горных выработок, так и имеют общеметодическое значение для постановки шахтных исследований закономерностей деформирования пород и их взаимодействия с крепью выработок.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушко В.Г., Кирничанский Г.Т. Инженерно-геологическое прогнозирование устойчивых выработок глубоких угольных шахт. – М., Недра, 1974. – 176 с.
2. Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятностей в геомеханике. – К.: Техніка, 1994. – 216 с.
3. Усаченко Б.М., Кириченко В.Я., Шмиголь А.В. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса: Обзор/ДНИЭИуголь. – М., 1992. – 168 с.
4. Усаченко Б.М., Чередниченко В.П., Головчанский И.Е. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизованных породах. – К.: Наук. думка, 1990. – 144 с.
5. Закономерности угленакопления на территории Западного Донбасса/ Под ред. А.З. Широкова. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 452 с.
6. ГОСТ 21153.6–88. Породы горные. Расчетный метод построения паспорта прочности по данным определения пределов прочности при одноосном сжатии и растяжении. – М., Введ. 01.07.88. – 5 с.
7. Результаты изучения прочностных и деформационных свойств горных пород Западного Донбасса. – К.: Наукова думка, 1969. – 44 с.

Таблица 2 – Параметры паспорта прочности анизотропных пород

№ пробы	Литологическая разность	$\varphi_1$ , град	$\varphi_2$ , град	$\frac{\varphi_2}{\varphi_1}$	$C_1$ , МПа	$C_2$ , МПа	$\frac{C_2}{C_1}$	$A_1$	$A_2$	$\frac{A_2}{A_1}$
1	аргиллит	26,5	30,0	1,13	8,1	6,5	0,82	2,72	3,00	1,10
2	алевролит	32,5	46,5	1,43	5,5	4,6	0,84	3,328	6,14	1,97
3	аргиллит	37,0	41,3	1,12	6,6	5,0	0,83	4,65	4,88	1,33
238	аргиллит	28,3	36,4	1,29	6,5	4,3	0,66	2,80	3,92	1,40
239	аргиллит	26,5	32,2	1,22	6,9	4,1	0,59	2,72	3,28	1,20
240	аргиллит	30,5	41,9	1,34	7,2	4,0	0,56	3,17	4,99	1,57
5	алевролит	45,5	53,0	1,16	9,8	6,0	0,61	5,90	9,00	1,42
6	алевролит	39,0	53,0	1,36	9,1	4,5	0,49	6,04	9,00	1,49

УДК 622.631.3.022

А.С. Поляшов

### ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ И МЕТАМОРФИЗМ УГЛЕЙ

Обґрунтовано інформаційний показник оцінки перерозподілу мікрокомпонентного складу в зруйнованому вугіллі та дослідженні природні процеси його руйнування.

Угольные пласты в геологическом разрезе – индикаторы проявления тектоники: интенсификация тектонических процессов приводит к образованию па-