

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА, СОДЕРЖАЩЕГО СОПРЯЖЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Експериментально встановлено кількісні та якісні характеристики процесу руйнування моделей з еквівалентного матеріалу, що містять спряження підготовчих виробок, розміщених в квазіоднорідному середовищі.

MODELLING AND THE INVESTIGATION RESULTS OF THE PROCESS OF THE DESTRUCTION OF A MASS CONTAINING THE CROSSING OF PREPARATORY MINING OPENINGS

Quantitative and qualitative characteristics of the process of the destruction of models from the equivalent material containing crossing of preparatory openings placed in quasi-homogeneous environment were experimentally obtained.

Ключевой задачей в обеспечении устойчивости сопряжений горизонтальных горных выработок является оценка деформационных процессов, протекающих в горном массиве. Деформации на контуре выработки первоначально проявляются на участках сопряжений, а в дальнейшем распространяются на протяженные участки выработок. Математическое моделирование процесса разрушения затруднено в виду того, что указанная задача в принципе является объемной и далека от упругой постановки. По этому для решения геомеханических задач в данном случае был выбран метод физического моделирования на эквивалентных материалах [1-3]. Анализируя места заложения сопряжений подготовительных горных выработок на шахтах государственной холдинговой компании «Павлоградуголь» (табл. 1) и руководствуясь работами [4, 5], были определены наиболее характерные условия заложения сопряжений, которые были учтены при определении параметров физических моделей.

Таблица 1 - Сведения о типичных для сопряжений характеристиках пород (сопряжение ВМОШ со сбойкой ВОШ горизонта 140 м шахты «Днепровская»)

Литогеологическое описание пород	Усредненные показатели физико-механических свойств			Геомеханические особенности заложения сопряжения
	прочность на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	прочность на растяжение σ_p , МПа	плотность ρ , 10^3 кг/м ³	
алевролит	20	1,5	2,46	наработки нет, подработки нет, вывалов нет
уголь	30	1,2	1,29	
песчаник	50	2,0	2,60	

Известны результаты исследований процесса хрупкого разрушения породного массива в окрестности сопряжения «ствол-горизонт», расположенного в однородном изотропном массиве [1]. Описанный в настоящей работе объект исследований имеет следующие отличительные особенности:

1) исследуются два варианта расположения выработок (пересечение и параллельное расположение в горизонтальной плоскости);

- 2) выработки располагаются в горизонтальной плоскости;
- 3) учтено три варианта угла пересечения выработок (30° , 40° , 60°), и четыре варианта параллельного заложения с шириной целика: $L_{ц} = 0; 5; 10; 20$ мм.;
- 4) производится оценка влияния целика на состояние смежных выработок.

Материалом для изготовления моделей использовался природный гипс. Типичные конструкции моделей представлены на рис.1 и по существу являются кубами с размерами граней 0,1 м. Сквозное цилиндрическое отверстие ($d = 0.01$ м.), проходящее по оси симметрии куба, моделирует основную выработку. Цилиндрическое отверстие, пройденное в той же плоскости, но под углом к оси симметрии до пересечения с первым, моделирует примыкающую выработку. В качестве прототипа модели взято сопряжение подготовительных горных выработок расположенное в слоях алевролита и аргиллита. Варианты моделей приведены в табл. 2. Для корректной интерпретации результатов модель должна соответствовать критериям подобия.

Коэффициент силового подобия a_p определим через основные физические показатели следующим образом

$$a_p = \frac{P_H \cdot d_H^4}{t_H^2} \div \frac{P_M \cdot d_M^4}{t_M^2}, \quad (1)$$

где: P – прилагаемое давление; d - диаметр отверстия (выработки); t - время действия нагрузки.

Нижние индексы «н» и «м» здесь и дальше означают, что характеристики относятся соответственно к натуре и модели.

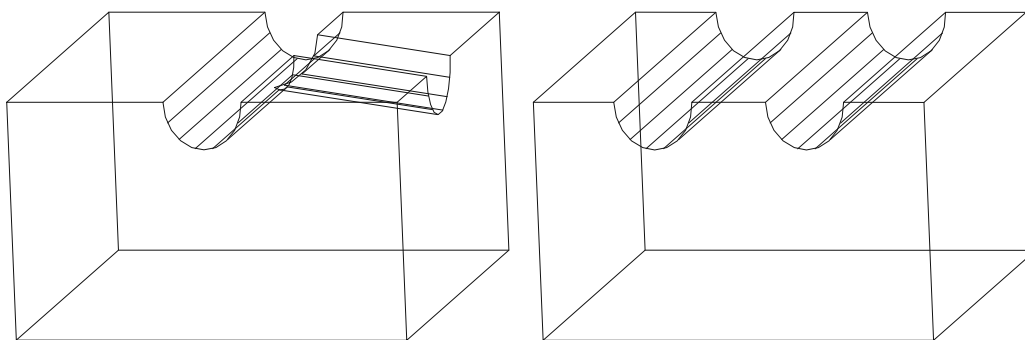


Рис.1 - Разрезы моделей

Общее условие динамического подобия по Г.Н. Кузнецову [2] должно быть представлено в виде:

$$k_n = \frac{a_p \cdot a_t^2}{a_p \cdot a_l^4} = 1 \quad (2)$$

Таблица 2 - Характеристики моделей

№ модели	Тип сооружения	Диаметр отверстий d , мм.	Угол примыкания α , град.	Расстояние между отверстиями $L_{ц}$, мм.
1	примыкание	10	30	---
2	примыкание	10	40	---
3	примыкание	10	60	---
4	//- заложение	10	---	0
5	//- заложение	10	---	5
6	//- заложение	10	---	10
7	//- заложение	10	---	20

Данные о соблюдении критериев подобия представлены в табл.3. Так как подстановка полученных значений в выражение (2) дает значение $\kappa_n = 0,92$, то данная модель пригодна как для качественного, так и для оценочно количественного анализа.

При испытаниях модель плавно нагружалась на жесткой испытательной установке. Жесткий характер нагружения обеспечивается применением гидродомкратов. Первичными регистрируемыми параметрами является сжимающее усилие F , а также абсолютная продольная деформация Δh . Для анализа осуществляют расчет удельных характеристик: действующего напряжения σ , а также относительных деформаций (ξ_{non}, ξ_{np}). После значительного увеличения поперечных деформаций и появления, визуально наблюдаемых микротрещин нагружение образца приостанавливали. Модель распиливалась на две половины в плоскости Q .

Таблица 3 - Коэффициенты и критерии подобия для исследуемых моделей

Параметр	Для массива	Для модели	Коэффициенты подобия		Критерии подобия	
Диаметр выработок d , м.	5	10^{-2}	геометрический $a_l = \frac{d_H}{d_M}$	5×10^2	динамического $K_{II} = \frac{a_p \cdot a_t^2}{a_p \cdot a_t^4}$ $K_{II} = 0,92$	подобия процесса деформирования $\sigma_{с.н.}/\sigma_{р.м.} =$ $\sigma_{р.н.}/\sigma_{р.м.} =$ E_H/E_M $17/13 =$ $= 1,31;$ $1,5/1,2 =$ $= 1,29;$ $24/17, =$ $= 1,36$
Время действия нагрузки t , с.	10^6	10^2	кинематический $a_t = \frac{t_H}{t_M}$	10^4		
Плотность среды ρ , 10^3 кг/м ³	2,5	2	динамический $a_p = \frac{\rho_H}{\rho_M}$	1,25		
Прилагаемое давление, P , МПа	17	13	силовой $a_p = \frac{P_H \cdot d_H^4}{t_H^2} \times \frac{P_M \cdot d_M^4}{t_M^2}$	$7,2 \times 10^2$		

Характерный вид полных кривых деформирования моделей в продольном направлении представлен на рис. 2. Совместный анализ полных кривых $\sigma_c - \varepsilon$ (рис. 3) для моделей позволил установить некоторые особенности их деформи-

рования. Для напряжений, не превышающих $0,7 \sigma_{сжс}$, деформирование можно считать упругим; после начинается процесс интенсивного образования микротрещин, способствующих росту нелинейных деформаций. На всех кривых наблюдается выделение следующих областей: I - зона закрытия пор и трещин ($5-7\% \sigma_{сжс}$); II - линейное деформирование, которое наблюдается в диапазоне $0,05 - 0,7\sigma_{сжс}$, деформирование можно считать упругим; III - начала микрорастрескивания материала модели, наблюдается в диапазоне $0,7 - 0,8 \sigma_{сжс}$; IV- зона ветвления и слияния микротрещин, характеризуется увеличением объема при малом росте сопротивления нагрузке, диапазон проявления $0,8 - 1,0 \sigma_{сжс}$; V- начало снижения грузонесущей способности моделей, характеризуется увеличением объема при малом снижении сопротивления внешней нагрузке, диапазон проявления $1,0 - 0,75 \sigma_{сжс}$; VI - снижение грузонесущей способности модели за счет слияния микротрещин, где участок кривой запредельного деформирования симметричен участку упругих деформаций; VII - зона развития пластических деформаций; VIII- дальнейшее падение грузонесущей способности моделей

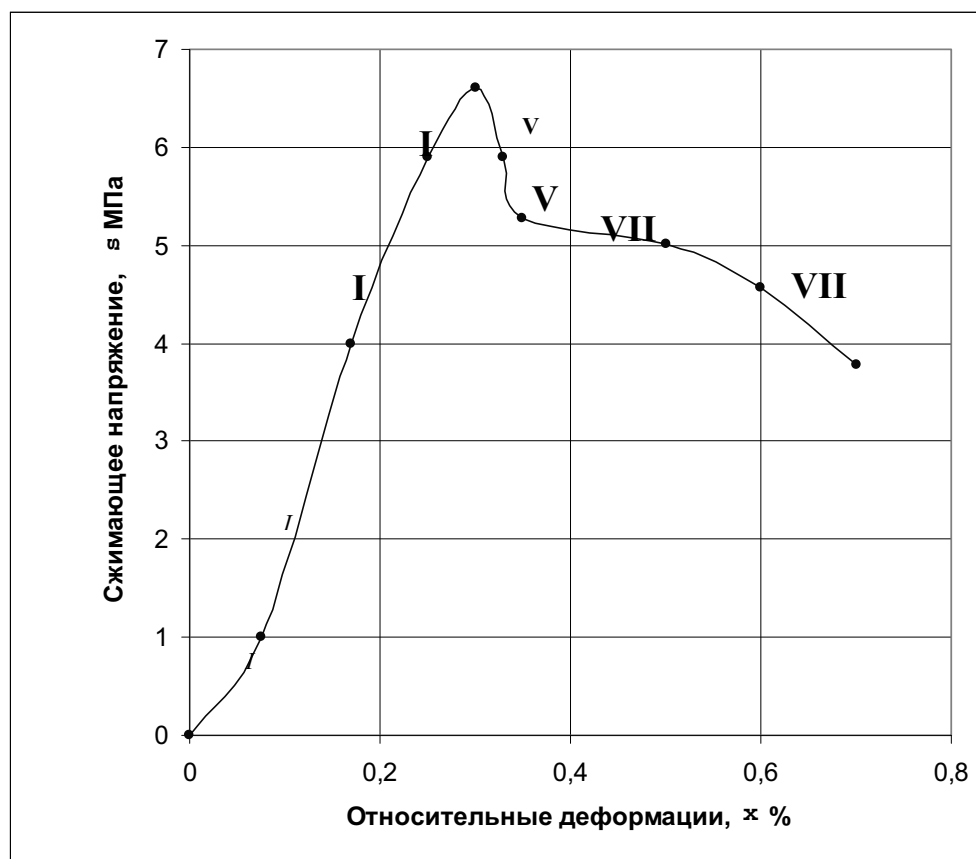


Рис.2 - Характерный вид полных кривых деформирования на примере модели № 1

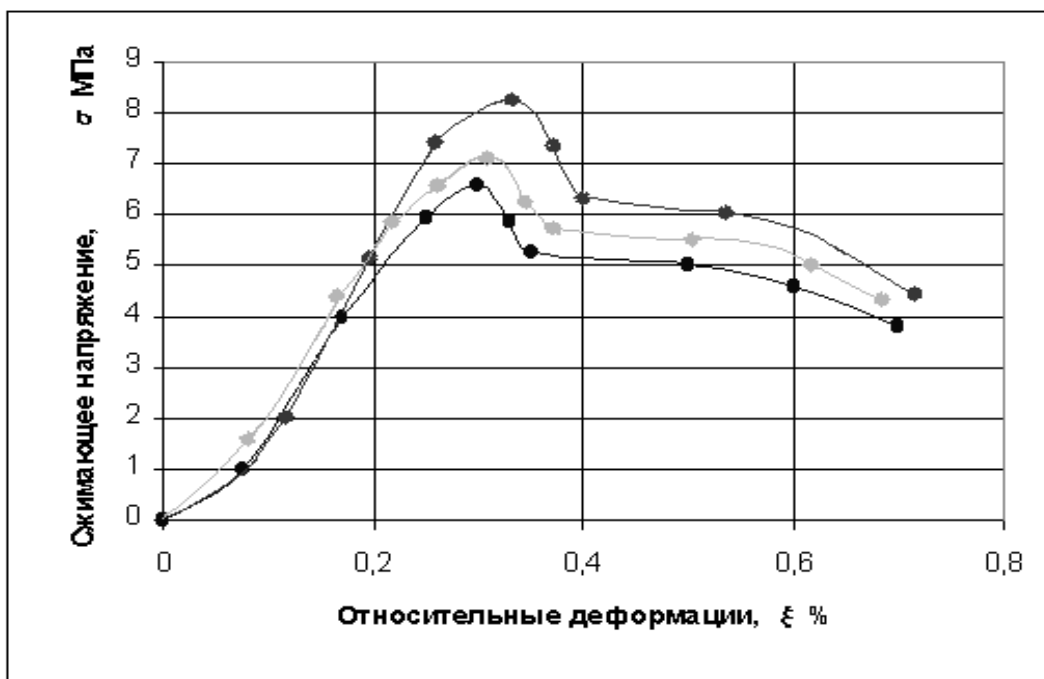


Рис.3 - Сравнительный график кривых деформирования на примере моделей № 1 - 3

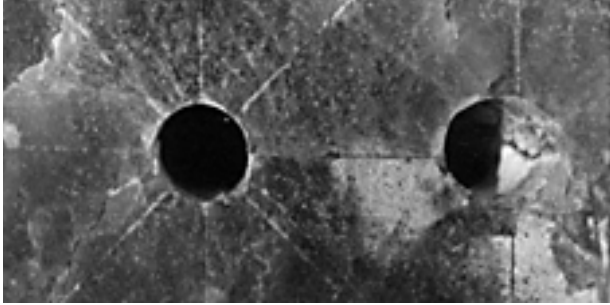
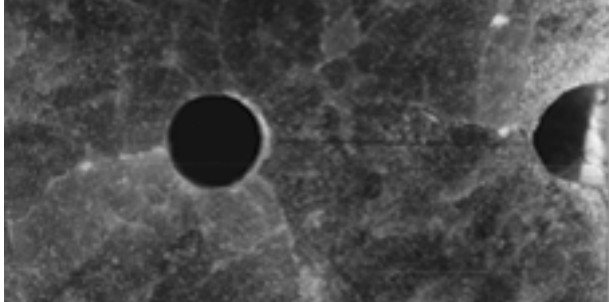
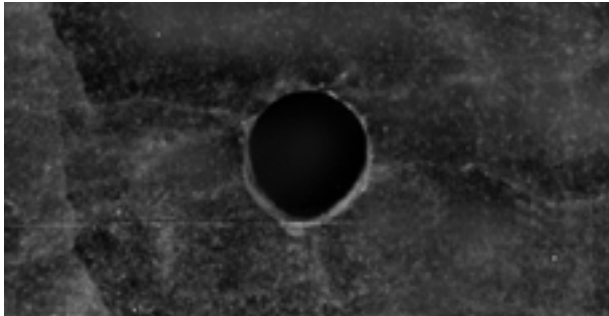
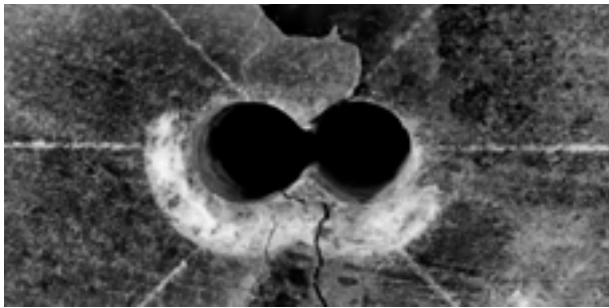
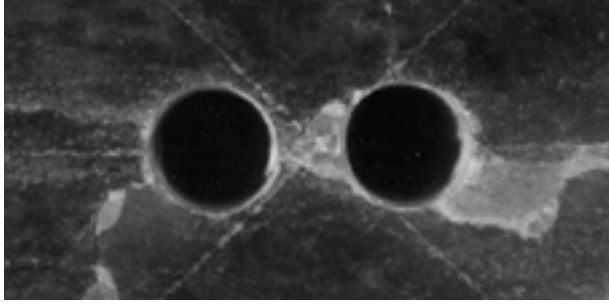
Результаты определения деформационных характеристик моделей представлены в табл. 4.

Таблица 4 - Результаты испытаний моделей

№ модели	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж.}$, МПа		Отношение $\sigma^M_{сж.} / \sigma^O_{сж.}$	Относительные деформации при $\sigma = \sigma_{сж.}$		Модуль деформации D , МПа
	кубика, $\sigma^O_{сж.}$	модели $\sigma^M_{сж.}$		продольная, $\zeta_{пр.}, \%$	поперечная $\zeta_{поп.}, \%$	
1	13,3	6,7	0,50	0,29	0,47	2,54
2		7,4	0,56	0,30	0,52	2,07
3		8,1	0,61	0,31	0,49	2,37
4		5,2	0,39	0,37	0,53	1,92
5		8,5	0,64	0,32	0,50	2,30
6		8,7	0,65	0,29	0,47	2,54
7		9,8	0,74	0,31	0,49	2,37

Проведен анализ особенностей деформирования и разрушения моделей в процессе испытаний на прессе. При этом фиксировались процессы трещинообразования по ходу нагружения модели, а также ее внешний вид после извлечения из под пресса. Более детально образование трещин изучалось после распила разрушенной модели в плоскости сопряжения. Сведения о внешнем проявлении процесса разрушения представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Визуально наблюдаемые явления при разрушении моделей

Номер модели	К _{ост.} м	Характер разрушения модели	Форма выработки и виды трещин
1	6,7	Вертикальные трещины сдвига-отрыва, мешенные в верхней части в сторону примыкающей выработки. Радиальные оперяющие трещины по контуру отверстий. Слияние трещин отрыва в разделительном целике. Смещение верхней части отверстий.	
2	7,4	Трещины сдвига-отрыва размещены в горизонтальной плоскости	
3	8,1	Трещины сдвига в горизонтальной плоскости. Наличие вертикальных трещин отрыва. Наличие радиальных оперяющих трещин выражено слабо	
4	5,2	Вертикальные трещины отрыва, проходящие по оси симметрии и точкам концентрации напряжений. Большое число оперяющих трещин.	
5	8,5	Вертикальные трещины отрыва. Горизонтальные трещины сдвига. Дезинтеграция разделительного целика оперяющими трещинами с образованием сдвиговых плоскостей	

6	8,7	Вертикальные трещины отрыва. Слияние оперяющих трещин в горизонтальной плоскости; повышенная трещиноватость разделительного целика, а также формирование зоны неупругих деформаций вокруг отверстий.	
7	9,8	Вертикальные трещины отрыва. Слияние трещин в плоскости сопряжения, значительная трещиноватость разделительного целика, образование зоны неупругих деформаций вокруг отверстий в модели	

Обобщая качественные особенности и количественные характеристики результатов исследований моделей можно сделать следующие выводы:

1) в условиях сжимающих нагрузок в целике между сопрягающимися выработками имеет место развитие сдвиго-отрывных деформаций;

2) в связи с криволинейной формой сопрягающихся поверхностей и как следствие изменением ширины разделительного целика наблюдается эффект «пластического течения» при нагрузках равных $0,6 - 0,65 \sigma_{сж}$, что объясняется деформационными процессами происходящими в разделяющем целике;

3) увеличение нагрузки на испытуемый образец сопровождается этапностью в развитии трещинообразования вокруг сопряжения:

- развитие трещин отрыва в местах концентрации напряжений;
- развитие оперяющих трещин вокруг сопряжения;
- образование радиальных трещин отрыва и формирование зоны разрушения близкой по формам к зонам неупругих деформаций получаемой из упруго-пластического решения задачи методом МЭК;

4) геометрическая последовательность формирования таких зон может быть отображена с помощью овалов Кассини, с помощью которых можно описать последовательность образования зона разрушения вокруг отдельных выработок и в конечном счете вокруг сопряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование процесса дезинтеграции массива на базе закономерностей случайного развития фронта его разрушения для создания высокоресурсных систем охраны выработок: Отчет о НИР (промежуточный)/ИГМ НАН Украины; Руководитель Усаченко Б.М. - № ГР 0196U014865. Днепропетровск, 2000.- 70 с.
2. Кузнецов Г.Н. Моделирование проявлений горного давления. – Ленинград: Недра, 1968. – 279 с.
3. Требования по технике и методике моделирования методом эквивалентных материалов.- Ленинград: ВНИМИ, 1973.- 55с.

4. Кирничанский Г.Т. Элементы теории деформирования и разрушения горных пород.- К.: Наукова думка, 1989.-184 с.

5. Усаченко Б.М., Кириченко В.Я., Шмиголь А.В (ПО «Павлоградуголь»). Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса Обзор./ЦНЭИуголь.- М.,1992. – 150 с.

УДК 622.363

В.А. Амелин

ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В ЗОНАХ ОТСУТСТВИЯ IV ПЛАСТА ГИПСА НА АРТЕМОВСКОЙ ГИПСОВОЙ ШАХТЕ

Запропоновані технологічні рішення щодо охорони гірничих виробок гіпсової шахти.

THE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR A RENEWAL OF THE MAIN ENTRANCE GALLERY OF ARTEMOVSK'S GYPSUM MINE

It is offered the technological solution for a gallery's preservation of the gypsum mine.

Артемовское месторождение гипса относится к осадочным эпигенетическим месторождениям. В геологическом строении месторождения принимают участие отложения нижнепермского, палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов. Четвертичные отложения покрывают все более древние породы. Толща этих отложений представлена делювиальными красноватыми и коричневыми суглинками с плотными известковыми отложениями, песками, глинами и почвенно-растительным слоем. Общая мощность их до 40 м. Третичные отложения развиты не повсеместно и представлены в основном песками и прослоями глины. Мощность их – до 25 м. Ниже залегают нижнепермские отложения Славянской свиты, которые представлены пластами гипсов и ангидритов, с прослоями карбонатных пород [1].

В настоящее время граница ведения горных работ проходит в центральной части шахтного поля. По мере продвижения очистных работ с юго – запада на северо – восток значительно усложнились горно – геологические условия разработки V, продуктивного, пласта гипса. При отработке I – II панелей геологические нарушения тектоно – карстового типа встречались достаточно редко и практически не оказывали негативного влияния на ведение горных работ. При ведении работ в пределах III – IX панелей подобные нарушения стали встречаться гораздо чаще. Характер проявления некоторых обусловил необходимость выделения их в виде «опасных зон». Некоторые из них обводнены и проявили себя локальными обрушениями потолочины камер с поступлением геомассы в выработанное пространство.

Анализ вскрытых нарушений в пределах северо–восточного участка шахтного поля показывает, что в нарушениях, характеризующихся утонением или отсутствием 3,5 метровой защитной пачки, как правило, отсутствует вышерасположенный IV пласт и в этом случае существует вероятность обрушения потолочины выработки с дальнейшим образованием воронки на земной поверхности.

Наличие IV гипсового пласта создает известные в геомеханике мостовые эффекты в налегающих породах. Доказано, что наиболее напряженными зона-