УДК 622.268.13;622.612.22

Д.И.РАЕВСКИЙ
Факультет освоения подземного пространства,
аспирант кафедры строительства горных предприятий
и подземных сооружений

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И СМЕЩЕНИЙ ПОРОД В ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ ДЛЯ СЛОИСТЫХ МАССИВОВ

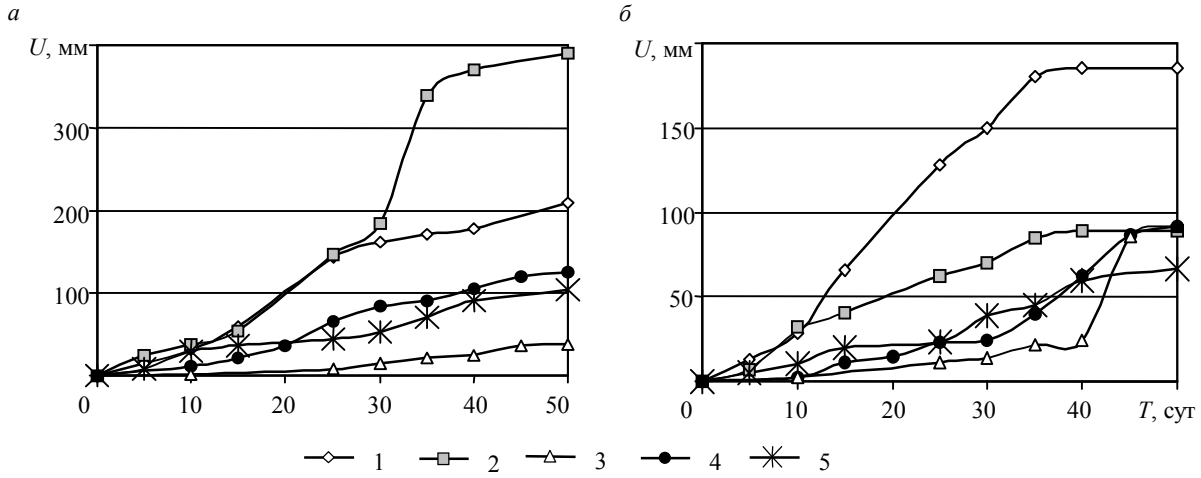
На основе проведенных замеров и компьютерного моделирования установлены зависимости формирования ожидаемых напряжений на контуре подготовительных выработок. При этом учтены основные закономерности смещений контура выработок в зависимости от их расположения относительно угольного пласта. Приведены графики смещения пород кровли и почвы. Рассмотрены вопросы перераспределения напряжений в окрестности выработок и определены пути обеспечения их устойчивости на основе анализа способов и средств воздействия на приконтурный массив.

The article gives dependences of anticipated stress formation at the gateway on the basis of actual measurements and computer simulation with allowance for the basic patterns of coal road displacement as dependent on its position in the coal seam. Diagrams of roof and foot rock displacement are given as the most significant ones. Questions of stress redistribution in the environs of coal roads and possible ways to secure their stability are determined basing on analysis of ways and means of marginal massif stimulation.

Добыча угля в Российской Федерации сопровождается увеличением глубины ведения горных работ, сечения и общей протяженности подготовительных выработок. Это приводит к росту средней несущей способности крепи в 2,5-2,7 раза, увеличению стоимости крепления в 2,3 раза, а трудоемкости – в 4 раза. Попытки улучшить состояние выработок за счет повышения несущей способности крепи и уменьшения шага ее установки не дают ощутимых результатов. Имеющиеся в багаже производственников способы повышения устойчивости выработок, основанные на создании вокруг них разгруженной и укрепленной грузонесущей оболочки, не получили широкого распространения из-за трудоемкости работ и большого расхода материалов. Вместе с тем опыт поддержания выработок показывает, что обеспечить их эксплуатационное состояние в течение всего срока службы можно лишь путем использования несущей способности породного массива, вмещающего выработку.

Развивающийся от контура в глубину массива фронт разрушения пород и крепь выработки взаимодействуют уже с имеющейся областью разрушенных пород в приконтурной зоне выработки. Закономерности и особенности такого взаимодействия недостаточно изучены до настоящего времени. Исследование этого механизма позволит найти пути снижения затрат на поддержание подготовительных выработок и средств активного управления разрушенными породами в окрестности выработок с целью существенного повышения их устойчивости.

Первым этапом на пути решения столь актуальной задачи является определение величины и характера распределения напряжений в слоистом массиве шахт российского Донбасса. Для решения данного вопроса мы рассматривали выработки с наиболее характерными условиями залегания, такими, как крепость пород по шкале Протодьяконова от 6 до 13 (аргилиты, алевролиты, песчаники и т.д.), мощность угольного пласта $m = 0{,}9 \div 1{,}3$ м; угол падения пород



Зависимость смещения пород подготовительных выработок (вне зоны опорного давления) от времени их существования: *а* – почва, *б* – кровля
1 – замерная станция № 3 (полевой штрек № 46); 2 – замерная станция № 1 (пластовый штрек № 26); 3 – замерная станция № 7 (полевой штрек № 26); 4 – замерная станция № 8 (полевой штрек № 35); 5 – замерная станция № 9 (пластовый штрек № 1214)

Данные о смещениях и напряжениях, возникающих в приконтурной зоне выработок

Номер замерной станции	Напряжения, возникающие по оси *Y*, МПа		Смещения по оси *Y*, мм		Напряжения, возникающие по оси *X*, МПа		Смещения по оси *X*, мм		Максимальные напряжения, возникающие по оси *XY*, МПа	
	Кровля	Почва	Кровля	Почва	по падению	по восстанию	по падению	по восстанию		
1	-0,47	0,07	90	390	-2	-1,5	84	68	5,04	-5,34
3	-0,33	0,09	185	209	-1,8	-1,5	78	60	5,01	-4, 79
7	-0,3	0,1	92	38	-3, 2	-2,85	24	18	3, 99	-4, 40
8	-1,5	0,01	92	125	-2,6	-2,1	39	32	3, 99	-4, 40
9	-0,6	0,08	50	104	-1,6	-1,2	28	22	6,2	-5,57

12-20°, глубина заложения 500-700 м, сечение вчерне $S_{св} = 12{,}8 \div 15{,}2$ м^2, крепь КМП-А3 с деревянной, бетонной и металлической затяжкой.

На шахтах ОАО «Гуковуголь» были оборудованы реперные замерные станции по определению смещений контура выработки. Характер этих смещений до влияния очистных работ представлен на рисунке. Анализ результатов инструментальных наблюдений за деформацией массива показывает, что породный контур штрека независимо от отпора крепи смещался по периметру неравномерно. На всех участках наибольшие смещения наблюдаются в почве, где смещения в среднем составляли 241 мм, в кровле выработки они меньше на 60 % и равны 148 мм.

Для определения размера и характера напряжений в приконтурном массиве было выполнено компьютерное моделирование. На основе натурных данных создана компьютерная модель, решена плоская задача в упругой постановке – для анизатропной (слоистой) среды. Найдены напряжения, возникающие в массиве при прохождении выработки. Следует отметить, что смещения в приконтурной зоне моделей соответствуют в среднем 10-дневному существованию выработок. Этот период был принят нами как время существования выработок, не попадающих в зону влияния очистных работ, без пластических деформаций. Данные анализа по смещениям (см. рисунок) и данные компьютерного моделирования обобщены в таблице.

Проанализировав данные таблицы, можно сделать следующие выводы.

– По оси *Y* напряжения в приконтурной зоне выработки тем меньше, чем больше смещения, это может быть объяснено разгрузкой приконтурного массива внутрь выработки. Аномальной в данной закономерности является замерная станция № 7, где противоположную картину можно объяснить демпфирующими свойствами угольного пласта, залегающего над кровлей выработки.

– По оси *X* напряжения в приконтурной зоне выработки по падению и восстанию пласта отличаются незначительно, причем в отличие от напряжений по оси *Y* напряжения растут пропорционально смещению пород в боках выработки.

– Касательные напряжения распределяются симметрично вокруг выработки (ось симметрии проходит через центр выработки перпендикулярно напластованию пород).

Таким образом, выявив характер и определив размер напряжений, мы можем сказать, что преобладание пучения почвы над вертикальными и боковыми смещениями выработок для условий ОАО «Гуковуголь» объясняется тем, что напряжения в почве выработок резко возрастают от центра к бокам выработки, вдавливая породу в свободное пространство выработки.

Кроме того, можно сказать, что особенность деформирования массива пород в рассматриваемых условиях заключается в том, что сразу после проведения выработок у контура образуется зона разгруженных пород, за пределами которой находится зона упругопластических деформаций. С течением времени границы этих зон изменяются, так как происходит перераспределение напряжений вокруг выработки вследствие удаления забоя и смещения пород, обусловленного их длительной прочностью. Пучение почвы является следствием упруговязких деформаций, вязкопластического пучения, увеличения объема пород, вызванного образованием микротрещин, и разрушения пород. Следующим этапом исследований станет моделирование упругопластической среды вокруг выработки, но уже на базе выполненных исследований можно сказать, что характер деформаций крепи и смещения пород контура выработок не отвечают геомеханическому состоянию массива и не обеспечивают эксплуатационного состояния выработок на весь срок их службы.

Анализ состояния рассмотренных выработок и фактического материала по реперным станциям позволил заключить, что:

– уменьшить конвергенцию выработок можно за счет применения комбинированных способов воздействия на вмещающий массив;

– смещение контура горных выработок может происходить без разрушения сплошности массива, с разрушением его через некоторый промежуток времени после проведения выработки или вслед за ее проведением;

– смещения контура горных выработок, возникающие вследствие разрушения пород и увеличения их объема, могут достигать 60 % общего количества смещений.

Научный руководитель д.т.н. проф. *И.Е.Долгий*