

3. Гаврилко В.М. Фильтры водозаборных, водопонижительных и гидрогеологических скважин. – М.: Издательство литературы по строительству, 1968. – 400 с.
4. Звягильский Е.Л., Ефремов И.А., Бобрышев Викт. В, Бобрышев Вас.В., Силин Д.П. Способы повышения дебита поверхностных дегазационных скважин // Геотехническая механика. – Вып. 37. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2004. – С. 3-8. – (Межведомственный сб. науч. тр.).
5. Кицис С.И. К оптимальной частоте высокочастотного нагрева призабойной зоны нефтяной скважины// Изв. ВУЗов: Нефть и газ. – № 2. – 2001. – С. 50-57.
6. Карпов Б.В., Воробьев В.П., Казаков В.Т., Персиянцев М.Н., Ткачук В.И. Использование физических полей для предупреждения отложений парафина при добыче нефти // Нефтяное хозяйство. – Июль. – 1997. – С. 46-47.
7. Старковский А.В., Рогова Т.С. Гидрофобизация призабойной зоны пласта как метод повышения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. – № 12. – 2003. – С. 36-38.
8. Романенко В.А. Электрофизические способы восстановления производительности водозаборных скважин. – Л.: Недра, 1986. – 79 с.
9. Павлищев А.А., Сахно Н.Е., Кабашный Ф.И. Экспериментальное исследование очистки фильтров водяных скважин электрогидравлическим способом // Электрификация сельского хозяйства. – 1975. – Вып. 32. – С. 33-37.
10. Солоухин Р.И. Ударные волны и детонация газов. – М.: Физматгиз. – 1963. – 175 с.
11. Пути совершенствования проектировки строительства и эксплуатации объектов сельскохозяйственного водоснабжения, повышения их эксплуатационной надежности и увеличения сроков службы // Тезисы докладов республиканского семинара. – М.: Минводхоз РСФСР. – 1977. – 83 с.
12. Романенко В.А., Шабашный Ф.И., Пономаренко В.П. Опыт применения электрогидравлического способа декольматации фильтров водозаборных скважин// Исследование сетей и сооружений систем водоснабжения и канализации. – Межвузовский тематический сборник трудов. – 1978. – № 8. – С. 16-21.

УДК 622.28

Канд. техн. наук В.А. Канин
(УкрНИМИ НАН Украины)

О ВОЗМОЖНОСТИ ЛОКАЛЬНОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЛЕГКО ОБРУШАЮЩИХСЯ ПОРОД В ШТРЕКАХ

Розглянуто можливість рішення задачі з вибору параметрів локального закріплення порід, що легко обрушуються, на ділянці сполучення штреку з лавою на основі методу дискретних елементів

ABOUT A POSSIBILITY OF LOCAL ANCHORING EASILY CAVING IN DRIFTS

Was examined the possibility of solution of problem by the selection of the parameters of the local fastening of the easily falling rock in the section of joining the bord with the longwall on the basis of the method of the discrete elements

Обвалы и обрушения породы по абсолютным значениям смертельного травматизма стали основным травмирующим фактором в угольной промышленности Украины, а наиболее сложным технологическим узлом, в котором происходит более 50 % обрушений породы с групповыми несчастными случаями, является сопряжение выемочной выработки (штрека) с лавой. Надлежащее состояние этого узла в условиях неустойчивой кровли возможно только при химическом закреплении пород [1]. В то же время угольная промышленность заинтересована в снижении себестоимости продукции, и для нее всегда были актуальными вопросы поиска путей снижения непроизводительных расходов, связанных с приобретением вспомогательных материалов и оборудования. Все это оп-

ределило необходимость решения задачи о возможности локального закрепления легко обрушающихся пород в зоне будущего сопряжения штрека с лавой, которое обеспечило бы, с одной стороны, его безаварийное поддержание, а с другой – минимальный расход скрепляющего состава.

В силу геомеханических особенностей деформирования пород вокруг выемочной выработки [2] их расслоение начинается еще до подхода лавы, вне зоны влияния очистных работ. В зоне опорного давления под действием повышенных напряжений деформирование приконтурного массива пород активизируется, а кровля пласта дробится на блоки. Устойчивость блочной кровли в процессе деформирования определяется степенью ее дробления и характером контактирующих поверхностей блоков. Перемещения блоков и их отдельностей, а также смещения разрушенных пород из области запредельного состояния в полость выемочной выработки не подчиняются упругим законам, а представляют собой исключительно необратимые процессы. Блочное строение пород в области запредельного состояния определяет еще один весьма интересный эффект, рассмотренный в работе [3], который авторы объясняют случайными процессами, возникающими при саморасклинивании разрушенных пород в зоне неупругих деформаций. А проявляется этот эффект в том, что в ходе активных сдвижений и формирования зоны неупругих деформаций вокруг подготовительной выработки давление по периметру рамной крепи распределено весьма неравномерно, изменяясь от 3 до 450 кПа.

Задача оценки состояния неустойчивого массива вокруг выемочной выработки в зоне влияния очистных работ существенно осложняется еще и тем, что современные высоконагруженные лавы, как правило, примыкают к выработочному пространству. Поэтому на участке сопряжения штрека с лавой происходит наложение остаточного опорного давления от ранее выработанного пространства и динамического опорного давления от движущейся лавы. Максимальный уровень остаточного опорного давления достигается после отработки 4-5 смежных лав.

Таким образом, рассматриваемая задача является достаточно сложной. Она включает несколько различных геомеханических ситуаций и ее решение должно основываться на различных условиях деформирования и разрушения горных пород. Исходя из этого, данная задача решалась в четыре этапа. На первом этапе методом, аналогичным [4], моделировался процесс перераспределения горного давления по контуру выработанного пространства при развитии очистных работ в нескольких [4, 5] смежных лавах. На втором этапе по аналогии с [5] моделировалось формирование динамического опорного давления от движущейся лавы, на основании чего была определена величина концентрации горного давления в зоне наложения остаточного и динамического опорных давлений. Решения, полученные на этом этапе, использовались на третьем этапе в качестве граничных условий при моделировании смещения разрушенных пород в полость выемочной выработки. По результатам третьего этапа был выполнен анализ динамики развития зоны разрушений легко обрушающихся пород вокруг контура выемочной выработки, кото-

рый позволил выделить в породном массиве наиболее эффективное место расположения ядра локальной зоны закрепления пород. На четвертом этапе исследовались несколько возможных вариантов локального закрепления легко обрушающихся пород в зоне будущего сопряжения выемочной выработки с лавой: № 1 – $S = 0,016S_{св}$, где S – площадь зоны закрепления породы в расчетном сечении, $S_{св}$ – исходная площадь выемочной выработки в свету; № 2 – $S = 0,055S_{св}$; № 3 – $S = 0,15S_{св}$; № 4 – $S_1 = 0,071S_{св}$, $S_2 = 0,079S_{св}$. Последняя задача решалась под руководством проф. В.В. Назимко методом дискретных элементов [6], который позволяет исследовать деформирование массива как непрерывный процесс, начиная с упругой стадии и заканчивая падением разрушенной породы на почву выработки.

Основные исходные данные, которые были использованы на всех стадиях моделирования – от определения граничных условий до выделения в породном массиве наиболее эффективного места расположения ядра локальной зоны закрепления породы – приведены в табл. 1.

Результаты, полученные на третьем этапе моделирования показали, что накопление поврежденности окружающих конвейерный штрек пород до 40000 цикла происходило постепенно и без изменения площади сечения штрека, которая составляла 14,0 м². Вначале были зафиксированы разрушения непосредственной кровли в своде штрека, а затем в его боках над пластом. Практически все разрушения произошли от предельного сдвига и лишь над сводом штрека разрушения были вызваны растягивающей нагрузкой. В непосредственной кровле пласта с правой стороны штрека (на участке будущего сопряжения с лавой) наблюдается тенденция опережающего разрушения, поскольку в этой части сечения площадь зоны разрушенных пород несколько больше, чем с левой стороны штрека (рис. 1а).

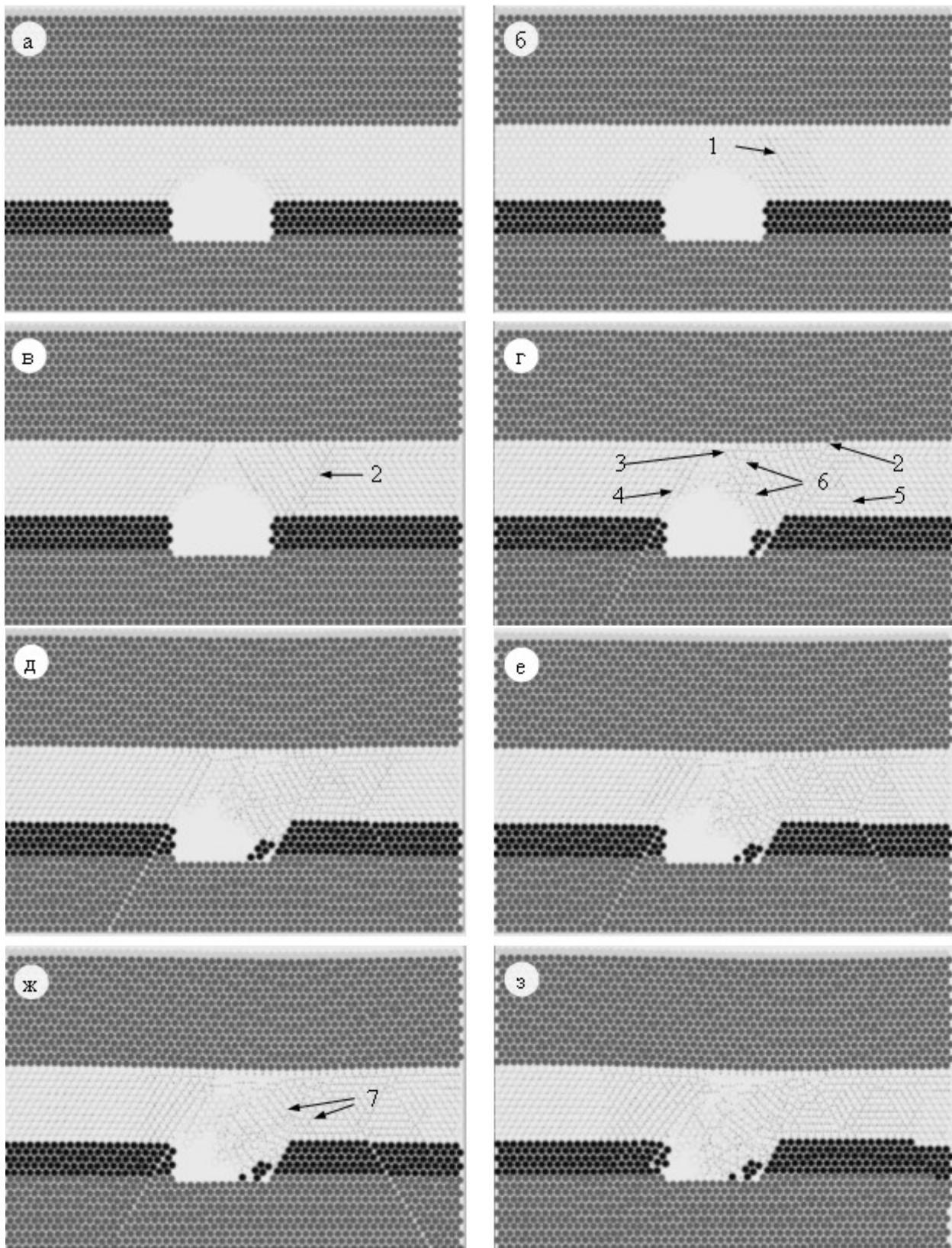
На 50000 цикле моделирования произошло скачкообразное расширение разрушенных зон (рис. 1б) и началось смещение разрушенной породы в полость конвейерного штрека. С левой стороны штрека площадь разрушенной кровли увеличилась в 4 раза, а с правой – в 7,3 раза. Это естественно, поскольку правая часть штрека находится со стороны действующей лавы, а лава приблизилась к расчетному сечению на 72 м. Особенностью дезинтеграции массива с правой стороны штрека является и то, что здесь увеличивается не только площадь разрушения, но и его интенсивность за счет возникновения дополнительных точек разрывов между соседними дискретными элементами. Эпицентр зоны дополнительного разрушения находится примерно в точке, отмеченной позицией 1 на рис. 1б. Напряженное состояние массива в этой точке характеризуется несколькими особенностями. Здесь наблюдается концентрация вертикальной компоненты напряжений, равная 1,22, а горизонтальные напряжения практически повторяют картину распределения вертикальной компоненты.

На 100000 цикле моделирования (54 м до забоя лавы) зона разрушения массива, примыкающего к конвейерному штреку, становится еще более обширной. С правой стороны штрека, в районе будущего сопряжения с лавой, зарождается

плоскость скола 2 (рис. 1в), которая образуется в результате комбинированного действия сдвига и отрыва и распространяется на всю мощность непосредственной кровли, пересекая и краевую часть угольного пласта. Площадь сечения штрека на этом цикле моделирования уменьшилась до 12,6 м².

Таблица 1 – Исходные данные для компьютерного моделирования локального закрепления легко обрушающихся пород на участке сопряжения конвейерного штрека с лавой

№ п/п	Исходные данные			
	Наименование	Размерность	Значения	
1	2	3	4	
1	Глубина горных работ	м	800	
2	Мощность угольного пласта	м	1,5	
3	Угол падения пласта	град	5	
4	Прочность угля на сжатие	МПа	15	
5	Мощность плиты-кровли	м	40	
6	Средневзвешенная прочность плиты на сжатие	МПа	40	
7	Средневзвешенный модуль упругости	ГПа	2	
8	Коэффициент Пуассона вмещающих пород	-	0,25	
9	Шаг разбивки расчетной области (в плоскости пласта)	м	25×25	
10	Непосредственная кровля	мощность	м	3,3
		прочность на сжатие	МПа	30
11	Основная кровля	мощность	м	4,8
		прочность на сжатие	МПа	60
12	Почва	мощность	м	3,3
		прочность на сжатие	МПа	60
13	Высота выемочной выработки	м	3,6	
14	Ширина выемочной выработки	м	4,2	
15	Длина лавы	м	200	
16	Скорость подвигания лавы	м/мес	150	
17	Количество ранее отработанных лав	шт.	6	
18	Длина выемочного столба	м	1600	
19	Количество дискретных элементов	шт.	2389	
20	Плотность элементов	кг/м ³	2500	
21	Вертикальное ускорение элементов	м/с ²	9,81	
22	Горизонтальное ускорение элементов	м/с ²	0,0	
23	Количество циклов расчета	тыс.	250	
24	Приращение времени за один цикл	с/цикл	0,161	
25	Нормальная прочность межблочной связи	непосредственная кровля	МПа	1,0
26		основная кровля		2,0
27	Касательная прочность межблочной связи	непосредственная кровля	МПа	0,5
28		основная кровля		1,0



$a - 40000$; $b - 50000$; $в - 100000$; $г - 150000$; $д - 180000$; $e - 200000$;
 $ж - 220000$; $з - 250000$

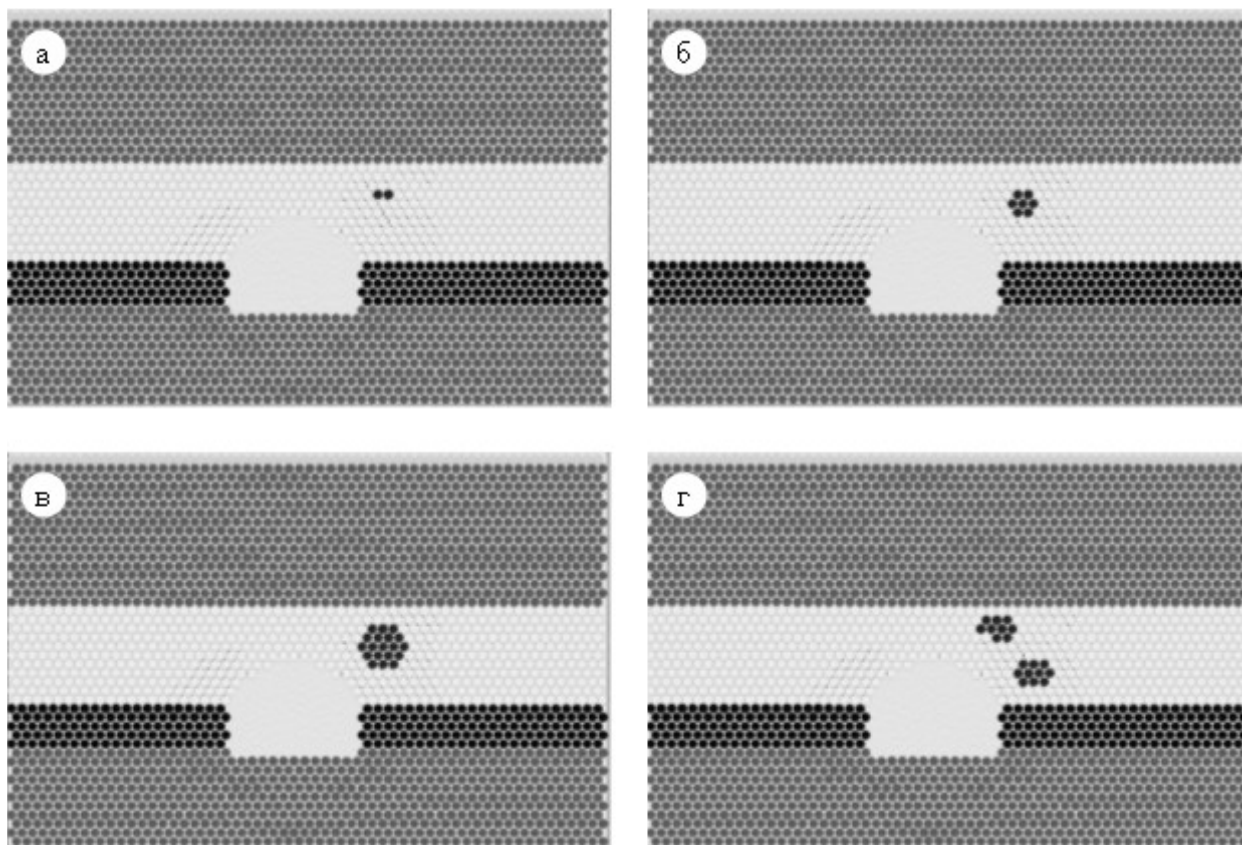
Рис. 1 – Результаты моделирования процесса разрушения пород вокруг контура выемочной выработки методом дискретных элементов на различных циклах расчета

На 150000 цикле моделирования (рис. 1з) на расстоянии 36 м от забоя лавы дезинтеграция примыкающего к штреку массива возрастает до такой степени, что образуется ряд непрерывных трещин, вдоль которых намечается отделение разрушенной части пород от остального массива. Так, трещина 3 разъединяет часть непосредственной кровли с основной, а трещина 4 формирует боковую границу зоны сдвижения. Вдоль этих трещин намечается образование свода обрушения. Боковая граница зоны сдвижения 5 начинает формироваться и с правой стороны штрека, рассекая угольный пласт и весь слой непосредственной кровли. Трещина скола 2, зародившаяся в непосредственной кровле пласта (см. рис. 1в), распространилась и в основную кровлю. В результате интенсивного развития дезинтеграции непосредственной кровли между отдельными блоками разрушенной породы начинают образовываться пустоты 6. Краевая часть пласта с правой стороны испытывает интенсивный отжим и сползает в полость штрека. С левой стороны штрека также начинается отжим краевой части пласта. Площадь сечения штрека на этом цикле моделирования уменьшилась до $9,9 \text{ м}^2$.

На последующих циклах моделирования разрушения и смещения породы в полость конвейерного штрека начинают заметно прогрессировать. На 180000 цикле (рис. 1д) в 26 м от забоя лавы произошло отделение крупного породного блока от левой границы зоны сдвижения и основной кровли пласта с образованием четко очерченного свода обрушения и крупных полостей по его границам. На 200000 цикле (рис. 1е) в 18 м от забоя лавы произошел скачок в дезинтеграции породного массива со значительным его разуплотнением и расширением зоны разрушенных пород с правой стороны штрека. На 220000 цикле (рис. 1ж) в 11 м от забоя лавы продолжилось расширение зоны разрушенных пород с правой стороны штрека и здесь же произошло образование породной складки 7, которая достаточно часто фиксируется в реальных шахтных условиях. На 250000 цикле (рис. 1з) в створе с очистным забоем практически все сечение штрека было перекрыто разрушенной породой, сместившейся со стороны его свода и правого борта.

Из анализа серии рис. 1 можно сделать вывод, что отправным пунктом разрушения породного массива за контуром конвейерного штрека является формирование на 50000 цикле моделирования плоскости разрушения с дополнительными точками разрывов между соседними дискретными элементами, эпицентр которой находится примерно в точке 1 (рис. 1б). Собственно после этого акта на 100000 цикле начинается процесс массового прорастания трещин, переходящий после 150000 цикла в спонтанную дезинтеграцию за-контурного массива со смещением разрушенной породы в полость выработки. Кроме того, рассматриваемая точка расположена над будущим сопряжением штрека с лавой. Следовательно, участок массива с центром в точке 1 можно использовать в качестве ядра локального закрепления породы.

Варианты локального закрепления породы показаны на рис. 2.



а – вариант № 1 (зона из двух дискретных элементов); *б* – вариант № 2 (семь элементов);
в – вариант № 3 (19 элементов); *г* – вариант № 4 (две зоны соответственно из девяти и десяти элементов)

Рис. 2 – Конфигурация и положение зон закрепления породы при моделировании методом дискретных элементов разрушения локально закрепленного массива вокруг контура выемочной выработки в зоне влияния очистных работ (50000 цикл)

Результаты исследований показали, что на 250000 цикле моделирования (в створе расчетного сечения с лавой) при принятой площади участков закрепления породы разрушение массива в зоне динамического опорного давления не предотвращается. В то же время закрепленные породные блоки, обладая более высокой (в 1,5 раза) прочностью, чем окружающий массив, дольше сохраняют свою целостность среди разрушенной массы, рассеивая часть энергии горного давления, уменьшают степень подвижности образовавшихся обломков, содействуют их самозаклиниванию, и тем самым сдерживают необратимое перемещение разрушенных пород в полость выработки. Эффективность локального закрепления вмещающего выработку массива однозначно зависит от площади и местоположения участков закрепления породы (рис. 3).

Наилучший результат по сохранению сечения выработки в исследованных условиях достигается при варианте № 3, но при этом варианте плохо сохраняется участок непосредственной кровли, под которым после выемки угля будут устанавливаться охранные крепежные конструкции. Несколько худшим по сохранению сечения выработки является вариант № 4, но при нем лучше сохраняется нижний слой непосредственной кровли. В целом же следует от-

метить, что разделение закрепленного участка большого размера на несколько зон равновеликой площади может приводить к более весоному результату, так как разнесение закрепленных зон в пространстве эффективнее снижает степень подвижности разрушенных пород. Это видно на графиках рис. 1 по тому, как темпы уменьшения площади остаточного сечения выработки при вариантах локального закрепления массива № 3 и № 4 попеременно меняют свои значения. Поэтому задачей дальнейших исследований является подбор такого сочетания количества локальных зон закрепления породы, их площади и конфигурации, при которых будут максимально уменьшены боковые смещения массива и обеспечена лучшая сохранность свода выработки и участка непосредственной кровли, под которым в дальнейшем для охраны выработки будут устанавливаться охранные крепежные конструкции.

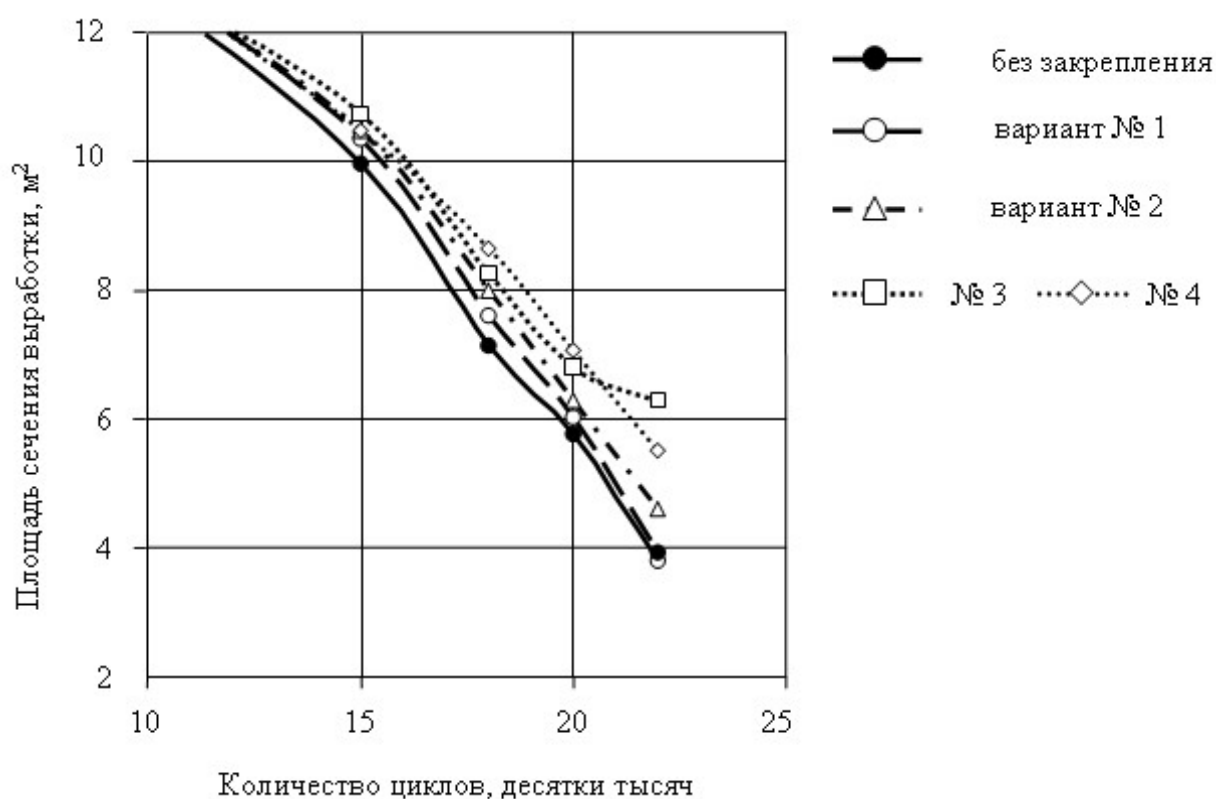


Рис. 3 – Изменение площади остаточного сечения штрека при различных вариантах локального закрепления породы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канин В.А. Приоритетные пути улучшения состояния пластовых выемочных выработок и снижения травматизма от обрушений породы // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сборник научных трудов. – Макеевка – Донбасс, 2005. – С. 262-269.
2. Канин В.А., Анциферов А.В. Охрана горных выработок газобетонной крепью. – Донецк: ООО «АЛЛАН», 2004. – 396 с.
3. Закономерности перераспределения во времени давления на крепь подготовительной выработки / А.И. Хохотва, В.В. Назимко, В.П. Сажнев, И.И. Пожитько // Проблеми гірського тиску. Випуск 9 / Під заг. Ред. О.А. Міхаєва. – Донецьк, ДонНТУ, 2003. - С. 75-93.
4. Назимко В.В. Геомеханические основы устойчивости подготавливающих выработок в зонах разгрузки при воздействии очистных работ: Дисс. ... докт. техн. наук: 05.15.02; 05.15.11 / ДГИ. – Днепропетровск, 1990. – 337 с.

5. Назимко В.В., Красько Н.И., Кузяра С.В. Геомеханическая модель для прогноза динамических проявлений горного давления в окрестности очистного забоя // Проблемы горного давления. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – №8. – С. 81-102.

6. Моделирование развития зон разрушений вокруг подготовительной выработки методом дискретных сред / В.В. Назимко, А.А. Лаптев, С.В. Напрасников, В.А. Сугаков, В.П. Сажнев // Физика и техника высоких давлений. – 1999. – Т. 9, № 3. – С. 51-54.

УДК 577.4

Канд. физ.-мат. наук М.В. Мажаров,
канд. техн. наук Н.А. Емец
(ИППЭ НАН Украины)

ОЦЕНКА КЛЮЧЕВЫХ ЭКОНОРМАТИВОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОПЕТРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

На основі цільового аналізу статистичних даних техногенно навантаженого регіону України – Дніпропетровської області, із застосуванням кореляційно – регресійних методів математичної статистики встановлено критерії сталості і проведено оцінку еконормативів, зорієнтованих на вирішення ключового завдання розвитку – досягнення такого рівня екобезпеки життєдіяльності, який забезпечує сталу демографічну стабільність регіону.

KEY ENVIRONMENTAL STANDARDISATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IS APPRECIATED FOR INSTANCE DNEPROPETROVSK REGION

Steadiness criteria on special-purpose analysis basis of statistic data are established for region with technogenous load – Dnipropetrovsk with using regresses-correlation methods mathematical statistics and standardization orientated to resolve key development task - reach such environmental safety level of vital activity which provides sustainable demographic stability of region is appreciated.

Современное состояние природной среды обитания характеризуется, как глобальный и региональные экологические кризисы, которые бросают серьезный вызов не только ученым–экологам, но и всему человечеству, поставив на повестку дня вопрос о перспективах его развития и даже выживания.

Многие представители науки связывают решение этих проблем с концепцией устойчивого развития (sustainable development), предложенной в 1987 году Комиссией по окружающей среде и развитию ООН. Однако само определение устойчивости, данное председателем Комиссии Г.Х. Брундтланд, до сих пор является предметом научной дискуссии, так как оно носит общий характер и лишено того аналитического содержания, которого требуют точный научный и практический подход.

Тем не менее, все более очевидным становится обстоятельство, которое можно признать как бесспорный факт [1]: «Из всех подобных проблем, несомненно, основной представляется рост населения нашей планеты. Остальные вопросы – состояние окружающей среды, глобальная безопасность, исчерпание ресурсов и производство энергии – возникают в связи с увеличением числа людей на планете. Однако именно росту населения в международных дискуссиях