

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАВИСИНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В УСЛОВИЯХ РАЗГРУЗКИ ПОРОДНОГО МАССИВА

В шахтных условиях исследовано влияние компенсационных порожин на грависинергетические процессы, які мають місце при розвантаженні ними породного масиву

### THE INVESTIGATIONS'ES RESULTS OF THE GRAVISYNERGETIC EFFECTS IN THE CONDITIONE OF THE MINING MASSIF'S UNLOADING

The compensetive cavitations effect on the gravisynergetic processes in the time of rock massif's unloading in the shaft conditions are investigated

Разработка эффективных способов поддержания горных выработок сдерживается недостаточными знаниями о геомеханических процессах, происходящих вблизи них в породных массивах. В связи с этим были проведены специальные шахтные эксперименты по исследованию влияния разгрузки массива компенсационными полостями на устойчивость горных выработок. Основное внимание было обращено на грависинергетические процессы в породных зонах при взаимном влиянии выработок. Это позволило углубить представление о формировании нарушенных зон в напряженных породах, которое закреплено в научном открытии № 188 [1]. Остановимся на анализе результатов исследований.

Были испытаны два варианта расположения, компенсационных полостей относительно охраняемой выработки – в кровле и почве с различным расстоянием между полостью и выработкой. В качестве компенсационных полостей использовались уже существующие и деформированные или специально проводимые вспомогательные выработки.

Шахтные исследования при различном расположении выработок относительно компенсационной полости были выполнены во 2-м западном магистральном откаточном штреке гор. 370 м шахты им. Героев Космоса на участке протяженностью 140 м. Штрек был проведен над существующей конвейерной сбойкой № 4, расстояние между ними по вертикали изменялось от 16 до 3 м. Магистральная выработка проводилась в почве угольного пласта  $C_{10}^6$ , сложенной неустойчивыми ( $\gamma H/\sigma_{сж} = 0,7$ ) аргиллитами прочностью 12 МПа. Крепление выработки осуществляли металлическими арками из спецпрофиля СВП-27 площадью сечения 13,8 м<sup>2</sup> и плотностью установки 2 рамы на 1 пог. м с последующим тампонажем закрепного пространства цементно-песчаным раствором.

Для оценки влияния компенсационной полости на эффективность охраны магистральной выработки рассмотрим вначале состояние последней на соседнем участке, где она проводилась в массиве как одиночная. Результаты замера смещений пород вокруг выработки приведены на графике рис. 1.

Согласно полученным данным, деформирование пород вокруг одиночной выработки начиналось непосредственно у забоя. Начальная скорость смещения пород составляла 55 мм/сут в почве, 600 мм/сут в кровле и 32 мм/сут в боках. При удалении забоя на 40 м (через 9 сут) величина смещения пород на контуре

достигла 262 мм в почве, 268 мм в кровле и 153 мм в боках; при этом зона разрушения пород вокруг выработки составляла 4 м. Подчеркнем, что после тампонажа закрепного пространства на расстоянии 84,5 м от забоя смещения пород в кровле практически прекратились, а в почве и боках продолжались со скоростями соответственно 1,7 и 0,6 мм/сут. В результате таких интенсивных смещений пород сечение выработки через 4 мес. уменьшилось на 35-40 %, а крепь потеряла эксплуатационную устойчивость.

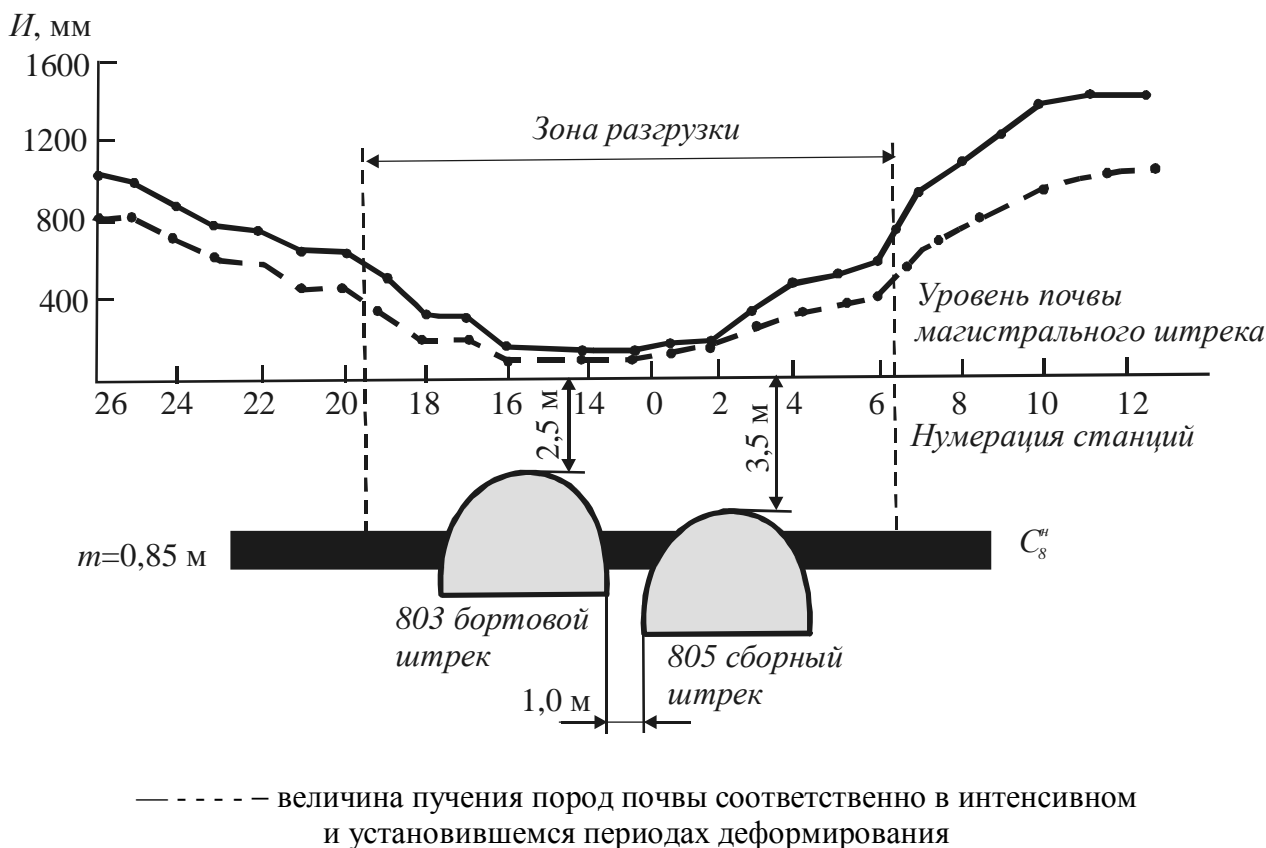


Рис. 1. Схема расположения выработок и график пучения пород почвы по длине восточного магистрального вентиляционного штрека гор. 480 м шахты им. Ленинского комсомола Украины

Оценим состояние участка той же выработки, расположенного под компенсационной полостью, в качестве которой использовалась конвейерная сбойка № 4. Последняя к этому времени за три года эксплуатации была практически полностью разрушена и имела размеры 1,2-1,5 м по высоте и 3,5-3,7 м по ширине. На этом участке магистральной выработки были оборудованы четыре глубинных реперных станции.

Согласно данным инструментальных наблюдений, на этом участке выработки, охраняемой компенсационной полостью, интенсивность смещений пород была существенно меньше, чем на ранее рассмотренном контрольном участке. Так, начальная скорость смещения породного контура снизилась в 1,8-2,2 раза и составляла 30 мм/сут в почве, 32 мм/сут в кровле и 14 мм/сут со стороны боков. Длительность интенсивного периода деформирования пород составляла 13 сут

(удаление от забоя 45 м). К этому времени смещение пород на контуре выработки достигло 185 мм в почве, 101 мм в кровле и 40 мм со стороны боков. В установленном периоде деформирования скорость смещения породного контура составляла 0,51 мм/сут в почве и 0,21 мм/сут в боках, т.е. меньше, чем в одиночной выработке в 3-3,3 раза.

Характер смещения пород в кровле магистральной выработки из-за наличия вышерасположенной полости имел отличительные особенности: деформации разделяющей их толщи пород происходили в виде послойного и неравнокомпонентного расширения по вертикали в двух взаимоположенных направлениях. Эти механосинергетические эффекты во многом определяют устойчивость всей углепородной толщи.

Ближние к выработке слои пород кровли (контурный  $R_0$ , метровый  $R_1$  и двухметровый  $R_2$ ) реперы перемещались во внутрь выработки, а удаленные от нее 4- и 5-метровые реперы смешались в противоположную сторону от охраняемой выработки, т.е. в вышележащую полость. Породный слой в интервале 3-4 м от контура кровли выработки или 1-2 м от контура почвы полости подвергался знакопеременным колебаниям относительно своего начального положения, но с незначительной амплитудой. Так, репер на глубине 3 м от кровли выработки сместился на 4 мм вниз, а репер на 4-метровой глубине - на 10 мм вверх от выработки. Коэффициенты расширения слоев пород вокруг исследуемой выработки варьировали в больших пределах, о чем свидетельствуют данные табл. 1.

Подчеркнем, что коэффициент расширения породной толщи является важнейшим показателем механосинергетических процессов и свидетельствует о степени криптообразования (скрытые полости) в массиве.

Анализ показал, что в почве выработки расширение пород с удалением от контура закономерно снижается. Первый метровый слой характеризуется наибольшим значением коэффициента, расширения: 1,127 к концу интенсивного периода смещений и 1,206 через 6 мес. после наблюдения. Коэффициент расширения слоев пород в интервале 1-2 м и 2-3 м после интенсивного периода смещений стабилизировался и составил соответственно 1,034 и 1,026. Таким образом, зона разрушения пород в почве составляет 3 м.

Породы в кровле выработки характеризовались следующим распределением коэффициентов расширения. Слои, ближние к выработке и к полости, имели большие значения коэффициентов расширения: соответственно 1,045 и 1,042, а разделяющая их породная толща характеризовалась коэффициентом 1,024, при этом наименьшему расширению 1,014 подвергался слой в интервале 3-4 м.

Таким образом, наличие вышележащей полости оказывает защитное разгружающее влияние на состояние проводимой под ней выработки: смещения пород на контуре охраняемой таким способом выработки снизились в 2,3-3 раза.

Таблица 1. – Значения коэффициентов расширения слоев пород вокруг выработки, проводимой под компенсационной полостью

Время наблюдения, сут	Расстояние до забоя, м	Коэффициент расширения слоев пород по мощности							
		почва			кровля				
		0-1 м	1-2 м	2-3 м	0-1 м	1-2 м	2-3 м	3-4 м	4-5 м
1	5,5	1,017	1,011	1,002	1,010	1,010	1,004	1,010	1,005
3	13,0	1,048	1,017	1,011	1,021	1,023	1,010	1,012	1,006
4	17,5	1,057	1,020	1,014	1,021	1,031	1,014	1,012	1,020
5	21,0	1,072	1,091	1,016	1,022	1,028	1,020	1,011	1,027
6	25,0	1,078	1,022	1,016	1,020	1,034	1,020	1,011	1,031
7	30,0	1,086	1,022	1,018	1,020	1,036	1,020	1,012	1,033
8	34,5	1,097	1,025	1,016	1,021	1,037	1,022	1,013	1,036
13	45,0	1,127	1,036	1,018	1,038	1,037	1,022	1,013	1,041
18	64,5	1,139	1,033	1,023	1,043	1,037	1,022	1,014	1,042
22	83,0	1,148	1,032	1,024	1,045	1,037	1,022	1,014	1,042
27	107,0	1,154	1,032	1,024	1,045	1,037	1,022	1,014	1,042
32	-	1,161	1,032	1,024	1,045	1,037	1,022	1,014	1,042
36	-	1,168	1,032	1,024	1,045	1,037	1,022	1,014	1,042
183	-	1,206	1,034	1,026	1,045	1,037	1,022	1,014	1,042
Среднее значение		0,187			1,023				

Рассмотрим случай, когда компенсационная полость расположена под (в почве) охраняемой выработкой. Такие исследования были выполнены на участке восточную магистрального вентиляционного штрека гор. 480 м шахты Западно-Донбасская, расположенного над двумя выемочными штреками; 803-м бортовым и 805-м сборным, пройденными вприсечку друг к другу и перпендикулярно к исследуемой выработке. Схема расположения указанных выработок показана на рис. 1. Расстояние по вертикали между магистральным штреком и нижележащими выемочными штреками составляло 2,5-3,5 м, а между последними по горизонтали – 1 м. К моменту проведения магистрального штрека участок 803-го бортового штрека был разрушен: крепь АП-3 деформирована полностью, а величина смещения пород составляла 510-590 мм в кровле, 1100-1300 мм в почве и 580-650 мм в боках. На участке 805-го сборного штрека имела место меньшая деформация пород: 320-380 мм в кровле, 640-720 мм в почве и 280-330 мм в боках. Таким образом, магистральный штрек проводился над полостью шириной 9 м, вокруг которой уже произошли довольно значительные смещения пород.

Результаты замеров смещения пород почвы на участке магистрального штрека в зоне влияния компенсационных полостей и на смежных с ним участках (контрольных) представлены в виде графика на рис. 1.

Анализируя полученные данные, отметим, что на участке выработки, находящемся в зоне разгрузочного влияния полостей, пучение пород почвы протекало менее интенсивно, чем на контрольном участке. Так, величина пучения пород к концу интенсивного периода составляла 30-380 мм (в среднем 202 мм) на экспериментальном участке и 470-990 мм (в среднем 748 мм) на контрольном участ-

ке, а через 12 месяцев наблюдения соответственно 100-550 (290 мм) и 630-1480 (1030) мм. Таким образом, наличие в почве охраняемой выработки компенсационной полости уменьшило величину пучения пород в 3,4-3,6 раза.

Охарактеризуем данные наблюдений по оценке эффекта расположения компенсационных полостей в боках охраняемой выработки. Такой способ охраны с боковой разгрузкой массива пород был испытан в двух вариантах: при проведении выработки вприсечку к существующему деформированному штреку и с помощью бурения разгрузочных скважин по угольному пласту в боках выработки.

Рассмотрим первый вариант. Исследования были выполнены в 2-бис западном магистральном откаточном штреке гор. 370 м шахты им. Героев Космоса. Выработка была пройдена вприсечку к деформированному штреку протяженностью 216 м. Разделяющий их породный целик составлял 2-3,5 м.

Компенсационная полость (деформированный штрек) к моменту проведения охраняемой выработки была заполнена вспучившимися породами почвы на 40 % своего первоначального сечения (13,8 м), а крепь была полностью разрушена. Под воздействием проводимой выработки в компенсационной полости происходило выдавливание пород почвы, в результате чего она была почти полностью (на 90 %) заполнена вспучившимися породами. Данные инструментальных измерений, в частности, величина скорости смещения пород вокруг охраняемой выработки при проведении компенсационной полости, свидетельствует, что интенсивное смещение пород (до 47 мм/сут) наблюдалось непосредственно у проходческого забоя. Через 18 сут. (удаление от забоя 60 м) смещение пород составляло 135 мм в почве, 180 мм в кровле и 120 мм в боках выработки. После тампонажа закрепного пространства смещение пород кровля прекратилось, а почвы и боков продолжалось, но с меньшей интенсивностью. Так, средняя скорость пучения пород почвы за период 60-180 сут. уменьшилась с 3 до 0,3 мм/сут, а боков – с 0,8 до 0,1 мм/сут.

Анализ полученных данных показал, что за 12 мес. смещение пород составило 210 и 380 мм, 700 и 1100 мм, 260 и 390 мм соответственно в кровле, почве и боках охраняемой и неохраняемой выработок. Таким образом, достигнуто снижение смещения пород в 1,5-1,8 раза. Следовательно, эффективность боковой разгрузки массива пород компенсационными полостями в рассматриваемых условиях недостаточна, чтобы обеспечить безремонтное поддержание магистральных выработок на весь срок службы.

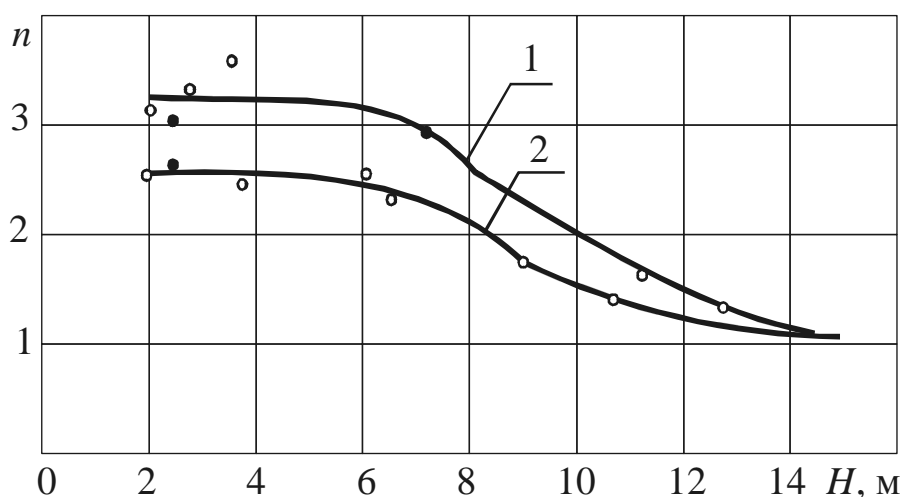
Суммируя данные исследований, можно сделать следующий вывод: наиболее приемлемым для рассматриваемых условий является способ охраны магистральных выработок при проведении их под или над компенсационными полостями, т.е. при вертикальной разгрузке массива пород имеет место наибольшее проявление механосинергетических эффектов, в первую очередь, за счет криптообразования.

Рассматривая вспомогательные выработки в качестве компенсационных полостей, исследовали два варианта их расположения относительно магистральных штреков: в кровле и почве. При этом мощность породного целика или рас-

стояние по вертикали между выработками изменялось от 2 до 12,5 м. Поскольку все вспомогательные выработки крепили крепью АП-3 сечением в свету 11,2 м, то ширина этих компенсационных полостей была одинаковой и составляла 4 м. Для оценки эффективности разгрузочного влияния компенсационной полости на состояние охраняемой выработки использовался показатель степени разгрузки  $n$ , представляющий собой отношение вертикальной конвергенции пород на контуре выработок соответственно вне зоны  $I_{k+n}^{BH}$  и в зоне влияния  $I_{k+n}^p$  полости.

На основании результатов шахтных исследований получена зависимость степени разгрузки охраняемой выработки от расстояния по вертикали до компенсационной полости (рис. 2).

Установлено, что большее снижение смещения пород в охраняемой выработке наблюдается при расположении компенсационной полости в почве выработки, чем при расположении в ее кровле. Данное обстоятельство объясняется тем, что в общей величине вертикальной конвергенции пород основная доля смещений (до 80-85%) приходится на почву выработок, на которую большее разгрузочное влияние оказывает компенсационная полость, расположенная именно в почве выработки. Вместе с тем необходимо отметить, что при расположении полости в кровле выработки также достигается существенное снижение смещения пород. На графике (рис. 2) однозначно выделяется критическая величина расстояния между полостью и выработкой, при превышении которой степень разгрузки начинает резко снижаться. При ширине полости 4 м наибольшая эффективность снижения смещений пород в охраняемой выработке наблюдается при расстоянии по вертикали между ними не более 6-8 м. В этом случае показатель степени разгрузки  $n$  составляет 2,5-3,3 и 2-2,5 соответственно при расположении компенсационной полости в почве и кровле выработки. При  $H > 11-12$  м эффект разгрузки практически отсутствует.



1, 2 – при расположении выработки соответственно над и под полостью

Рис. 2. Зависимость степени разгрузки массива пород вокруг выработки от расстояния до компенсационной полости по нормали

На схеме (рис.3) показана зона разгрузочного влияния компенсационной полости, построенная на основании шахтных инструментальных наблюдений.

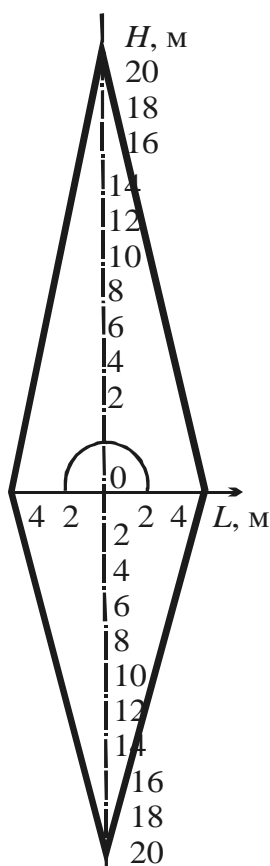


Рис. 3. Геометрия зоны разгрузки массива пород компенсационной полостью

Статистической обработкой экспериментальных данных выявлена взаимосвязь между шириной зоны разгрузки  $L$  и вертикальным расстоянием до компенсационной полости  $H$ :

$$L = 2b(1 - H / a).$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  определяют максимальную удаленность границы зоны разгрузки соответственно по вертикали и горизонтали от полости и зависят от прочностных свойств вмещающих пород, ширины полости и степени ее деформирования, а также наличия и частоты ее ремонта. Между собой они связаны соотношением

$$a / b = \operatorname{tg} (90^\circ - \rho),$$

где  $\rho$  – угол внутреннего трения пород.

Из ранее полученной формулы [30] имеем

$$a = \frac{1}{k_p - 1} (I_{\kappa+\Pi}) - \frac{2}{B} \sum_{i=1}^n l_i h_i,$$

где  $I_{к+п}$  – величина вертикальной конвергенции пород на контуре полости;  $k_p$  – коэффициент расширения пород;  $B$  – ширина полости;  $l_i, h_i$  – параметры зон разрушения пород в боках полости.

Однако для практики более удобной является зависимость между шириной компенсационной полости и расстоянием по вертикали до охраняемой выработки при условии, что последняя будет находиться в зоне разгрузки. Это вызывается потребностью двух возможных вариантов инженерных расчетов, а именно когда уже имеется полость (деформированная разгрузочная выработка) и необходимо определить расстояние до закладываемой охраняемой выработки или это расстояние задано конкретными условиями и требуется знать ширину создаваемой полости.

По данным аналитических расчетов, скорректированных результатами шахтных исследований, для рассматриваемых геолого-геомеханических условий установлено, что ширина компенсационной полости  $B$ , обеспечивающей разгрузку охраняемой выработки, должна быть не менее половины вертикального расстояния между ними, т.е.  $B \geq H/2$ .

В случае ремонта полости (деформированной выработки), перекрепления или подрывки почвы зона разгрузки вокруг нее возрастает на величину суммарной мощности вынутых пород. Следовательно, максимальное расстояние по вертикали между полостью и охраняемой выработкой составит  $H_{max} = 2,5B + m$ .

При определении расстояния между сближенными в вертикальной плоскости выработками необходимо ограничить его минимально допустимым значением  $H_{min}$ , при котором исключается возможность обрушения разделяющей выработки породной перемычки.

Для рассматриваемых условий необходимо, чтобы ширина компенсационной полости  $B$  и расстояние по вертикали от нее до охраняемой выработки  $H$  удовлетворяли неравенству:  $1,5B - 1 \leq H \leq 2,5B + m$ .

Резюмируя изложенное, укажем на следующее. Во-первых, доказана большая роль особенностей протекания механосинергетических эффектов в формировании устойчивости породного массива, вмещающего горные выработки. Во-вторых, подтверждена целесообразность использования образующихся в породном массиве скрытых крипов, величины которых зависят от коэффициентов расширения пород, для управления их состоянием. Во всех случаях тампонаж пустот и нагнетание вяжущих растворов в трещинные зоны массива существенно уменьшали смещения пород и нагрузки на крепь. Грависинергетика породного массива и управление его состоянием (образованием крипов) с помощью тампонажа крепи – задача дальнейших исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Открытие № 188. Явление образования перемещающихся нарушенных зон в напряженных горных породах / В.Я. Кириченко, Е.Л. Звягильский, А.В. Лишин, Б.М. Усаченко, Ю.М. Халимендик // Научные открытия «Сборник кратких описаний научных гипотез», РАЕН. – 2002. – с. 62-63.