

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ПОЛОСТЕЙ РАССЛОЕНИЯ**

В статті наведено результати досліджень впливу швидкості просування очисного вибою на розміри порожнин розшарування. Зроблено висновки щодо можливості прогнозування розмірів порожнин розшарування в залежності за інших рівних умов від швидкості просування лави.

### **DEFINITION OF LAWS OF INFLUENCE OF SPEED ADVANCE OF STOPE FOR GEOMETRIC CAVITY SIZE STRATIFICATION**

The article presents the results of the impact velocity moving the coal face to the size of cavities bundles. The conclusions about predictability bundle size cavities, depending on other things being equal the speed moving longwall.

Факты расслоения пород кровли выработок известны горнякам издавна и были установлены экспериментально еще опытами М. Фойоля в 1886 г. [1], однако в дальнейшем разработка методов и методик определения условий и параметров механизма их возникновения, динамики их развития, перемещений и закрытий не получили должного развития. Исключение составляют работы [1-3], в которых рассмотрены некоторые качественные закономерности этих процессов. Причиной этого положения явилось, в первую очередь, отсутствие надежных и достоверных методов расчета количественных показателей этих процессов, позволяющих осуществлять комплексный учет всего многообразия природных и технологических условий и факторов, определяющих процесс сдвижения слоистого разномодульного горного массива, находящегося в зоне влияния очистных работ и доведенных до инженерных методик.

Механизм процесса формирования и развития полостей расслоения в породном массиве определяется качественными и количественными характеристиками и показателями напряженно-деформированного состояния подработанной толщи слоистых пород и динамики его изменения во времени и пространстве.

Поэтому к определяющим процесс формирования и развития полостей расслоения горнотехническим параметрам и факторам, относится весь их комплекс, характеризующий параметры сдвижения слоистого, разномодульного горного массива. Однако необходимо учитывать, что не только качественные, но и количественные показатели процесса расслоения пород с образованием полостей могут иметь характерные особенности, адекватные специфическим условиям ведения горных работ, другими словами быть имманентной характеристикой конкретного добычного участка во взаимосвязке со всем комплексом горнотехнических, производственных условий и фактора времени.

В работах [4-6] приведены общие данные о том, что при изменении скорости подвигания очистного забоя лавы, в частности ее увеличении, размеры полостей расслоения, которые образуются позади очистного забоя, увеличиваются по ширине и высоте. При этом не приводятся обоснований или ссылок, позволяющих однозначно трактовать это как факт. Поэтому, учитывая актуальность проблем прямо или косвенно связанных с вопросами повышения эффективности подземной скважинной дегазации, возникла необходимость в проведении ниже приведенных исследований, позволяющих сделать соответствующие выводы.

На первом этапе исследований изучались особенности напряженно-деформированного состояния (НДС) двух смежных слоев мощностью 30 м (верхний) и 7 м (нижний), деформируемых совместно в диапазоне изменения скорости подвигания очистного забоя от 1 м/сут до 5 м/сут, при постоянной длине лавы, равной 150 м.

Результаты расчета величин поперечных сил, изгибающих моментов, эквивалентных и максимальных касательных напряжений приведены в табл. 1, табл. 2 и табл. 3.

Таблица 1 – Показатели НДС слоев пород при скорости подвигания очистного забоя 1 м/сут

Сечение, м	Поперечная сила, $Q \cdot 10^2$ , МН	Изгибающий момент, $M_{(X)} \cdot 10^2$ , МН·м	Эквивалентное напряжение, $SPR$ , МПа	Максимальное касательное напряжение, $\tau_{max}$ , МПа
Верхний слой, мощность 30 м				
0	0	0	5	5
4	4418	-55655	3	4
8	8693	-100573	3	5
12	12688	-133774	4	6
16	16282	-154649	6	8
20	19374	-162975	10	11
30	24475	-133916	53	16
40	25627	-62221	17	12
50	23449	34860	19	15
60	19218	179213	49	3
70	14339	320691	78	2
80	9885	447125	108	3
Примечание. Сечение 0 м соответствует началу координат и находится в массиве на расстоянии 47,9 м от его границы				
Нижний слой, мощность 7 м				
0	0	0	11	10
4	2442	-7263	7	9
8	4302	-7948	20	15
12	5183	-6956	9	8
16	4992	-259	15	12
20	3951	8269	39	2
30	618	31645	141	4
40	457	40023	178	5
50	218	46368	206	6
60	188	54051	240	7
Примечание. Сечение 0 м соответствует началу координат и находится в массиве на расстоянии 14,2 м от его границы				

Таблица 2 – Показатели НДС пород слоев при скорости подвигания очистного забоя 3 м/сут

Сечение, м	Поперечная сила, $Q \cdot 10^2$ , МН	Изгибающий момент, $M_{(X)} \cdot 10^2$ , МН·м	Эквивалентное напряжение, $SPR$ , МПа	Максимальное касательное напряжение, $\tau_{max}$ , МПа
Верхний слой, мощность 30 м				
0	0	0	5	5
4	4712	-59113	3	4
8	9271	-106724	3	5
12	13531	-141784	4	6
16	17364	-163642	6	9
20	20662	-172059	11	12
30	26103	-142932	42	16
40	27334	-64317	16	12
50	25006	42325	21	16
60	20473	196926	53	3
70	15224	348695	85	3
80	10404	484521	117	3
Примечание. Сечение 0 м соответствует началу координат и находится в массиве на расстоянии 45,7 м от его границы				
Нижний слой, мощность 7 м				
0	0	0	12	10
4	2222	-6810	8	9
8	3990	-7817	21	16
12	4967	-7628	9	9
16	5020	-1856	15	14
20	4243	6017	31	2
30	789	31358	139	4
40	694	40471	180	5
50	469	41132	183	5
60	360	46966	209	6
70	121	51992	231	7
Примечание. Сечение 0 м соответствует началу координат и находится в массиве на расстоянии 13,5 м от его границы				

Определение закономерностей влияния скорости подвигания очистного забоя на геометрические размеры полостей расслоения

Таблица 3 – Показатели НДС пород слоев при скорости подвигания очистного забоя 5 м/сут

Сечение, м	Поперечная сила, $Q \cdot 10^2$ , МН	Изгибающий момент, $M_{(x)} \cdot 10^2$ , МН·м	Эквивалентное напряжение, $SPR$ , МПа	Максимальное касательное напряжение, $\tau_{max}$ , МПа
Верхний слой, мощность 30 м				
0	0	0	5	5
4	4636	-55796	3	4
8	9113	-100166	3	5
12	13281	-132057	5	7
16	17007	-150827	8	9
20	20179	-156268	13	12
30	25221	-123644	36	15
40	25949	-41108	17	13
50	23087	66105	23	18
60	18092	215505	57	3
70	12559	357156	93	3
80	7715	478311	116	3
Примечание. Сечение 0 м соответствует началу координат и находится в массиве на расстоянии 43,6 м от его границы				
Нижний слой, мощность 7 м				
0	0	0	11	10
4	1918	-6072	9	10
8	3503	-7630	43	14
12	4494	-8084	9	10
16	4755	-5635	14	15
20	4302	2940	21	2
30	3312	28642	127	4
40	977	40981	182	5
50	519	39978	178	5
60	319	39487	176	5
70	284	45603	203	6
80	66	48323	215	6
Примечание. Сечение 0 м соответствует началу координат и находится в массиве на расстоянии 13,0 м от его границы				

Анализ полученных данных свидетельствует о следующем. Максимальные значения поперечных сил в верхнем слое мощностью 30 м превышает аналогичные значения в нижнем слое мощностью 7 м примерно в 5 раз и приурочены к области опорного давления. При увеличении скорости подвигания очистного забоя величина максимальных значений поперечных сил практически не изменяется, но абсциссы максимумов имеют тенденцию смещения в сторону границы массива на 5-7 м. В выработанном пространстве в исследованном диапазоне скоростей величина поперечных сил уменьшается в среднем в 2,6-3,4 раза (по сравнению с максимальными значениями).

Данные тенденции справедливы и для нижнего тонкого слоя, однако градиент уменьшения величины поперечных сил в выработанном пространстве существенно более высок и составляет от 27 раз до 70 раз соответственно при скоростях подвигания очистного забоя 1 м/сут и 5 м/сут.

Учитывая, что максимальные касательные напряжения от поперечных сил смещаются в сторону выработанного пространства, где отсутствует нормальная нагрузка со стороны подработанных пород, с увеличением скорости подвигания очистного забоя повышается вероятность расслоения пород.

Величины максимальных значений изгибающих моментов в опорной зоне для слоя мощностью 30 м примерно в 20 раз больше чем для слоя мощностью 7 м, причем с увеличением скорости подвигания забоя это соотношение не изменяется, но максимум имеет общую для обоих слоев тенденцию смещаться в сторону границы массива.

В выработанном пространстве при отходе от границы массива величина изгибающего момента увеличивается, причем градиент этого увеличения для слоя мощностью 30 м в 8-10 раз выше чем для слоя мощностью 7 м при скоростях подвигания очистного забоя, соответственно, 1 м/сут и 5 м/сут.

Качественный характер изменения величин эквивалентных напряжений в обоих слоях аналогичен.

В массиве, в зоне опорного давления на величину эквивалентных напряжений оказывают влияние нормальные нагрузки и силы трения на контакте слоев, напряжения имеют в этой зоне локальный максимум, величина которого для слоя мощностью 30 м в 2 раза больше, чем для 7 метрового слоя, и при увеличении скорости подвигания очистного забоя уменьшается в 2 раза. В выработанном пространстве величина эквивалентных напряжений растет, причем более интенсивно для слоя мощностью 7 м. В том случае, когда слой породы со стороны нижележащих пород имеет реакцию, с увеличением скорости подвигания забоя величина эквивалентных напряжений несколько снижается (на 10-15 %).

Рассмотрим, каким образом отмеченные тенденции изменения показателей НДС деформируемых слоев мощностью 30 м (верхний) и 7 м (нижний) при изменении скорости подвигания очистного забоя влияют, в конечном счете, на геометрические размеры полостей расслоения.

Для этого были выполнены расчеты величин опусканий смежных слоев в зависимости от расстояния до границы массива для различных скоростей подвигания очистного забоя. Результаты расчетов при длине лавы 150 м приведены в табл. 4 – табл. 6 и на рис. 1 – рис. 3.

Таблица 4 – Величины опусканий нижнего (7 м) и верхнего (30 м) слоев при скорости подвигания очистного забоя 1 м / сут в зависимости от расстояния от границы массива (X)

X, м	-48	-28	0	5	7	10	20	40	60	80	100	120
7 м	0	-60	-217	-320	-390	-510	-750	-1000	-1030	-1030	-1030	-1030
30 м	0	-60	-217	-310	-370	-410	-580	-794	-900	-960	-1000	-1030

Таблица 5 – Величины опусканий нижнего (7 м) и верхнего (30 м) слоев при скорости подвигания очистного забоя 3 м / сут в зависимости от расстояния от границы массива (X)

X, м	-48	-28	0	5	7	10	20	40	60	80	100	120
7 м	0	-50	-169	-215	-250	-410	-680	-971	-1034	-1034	-1034	-1034
30 м	0	-50	-168	-215	-245	-370	-529	-737	-867	-933	-982	-1034

Таблица 6 – Величины опусканий нижнего (7 м) и верхнего (30 м) слоев при скорости подвигания очистного забоя 5 м / сут в зависимости от расстояния от границы массива (X)

X, м	-48	-28	0	5	7	10	20	40	60	80	100	120	140
7 м	0	-40	-140	-180	-210	-280	-630	-835	-910	-970	-1000	-1030	-1030
30 м	0	-40	-140	-180	-210	-270	-440	-624	-767	-835	-910	-970	-1030

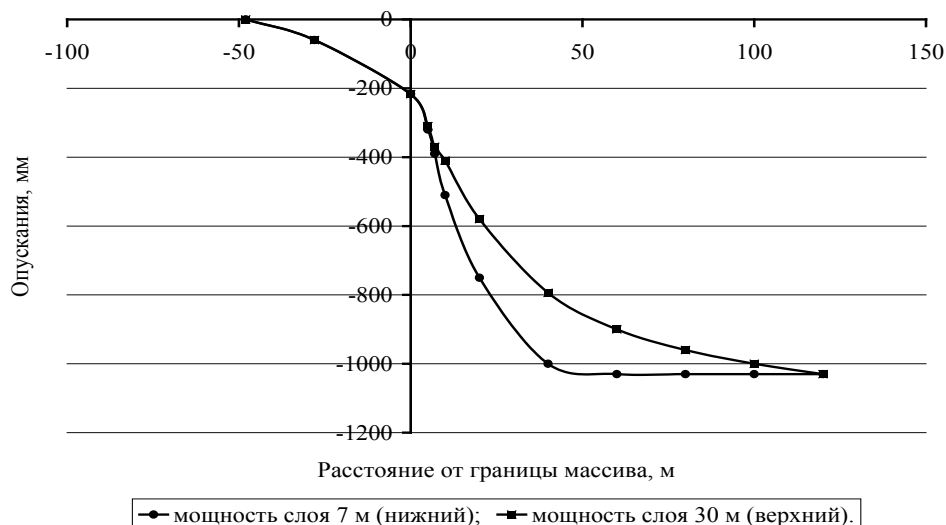


Рис. 1 – Зависимость опусканий слоев мощностью 30 м верхний и 7 м нижний при скорости подвигания очистного забоя 1 м/сут

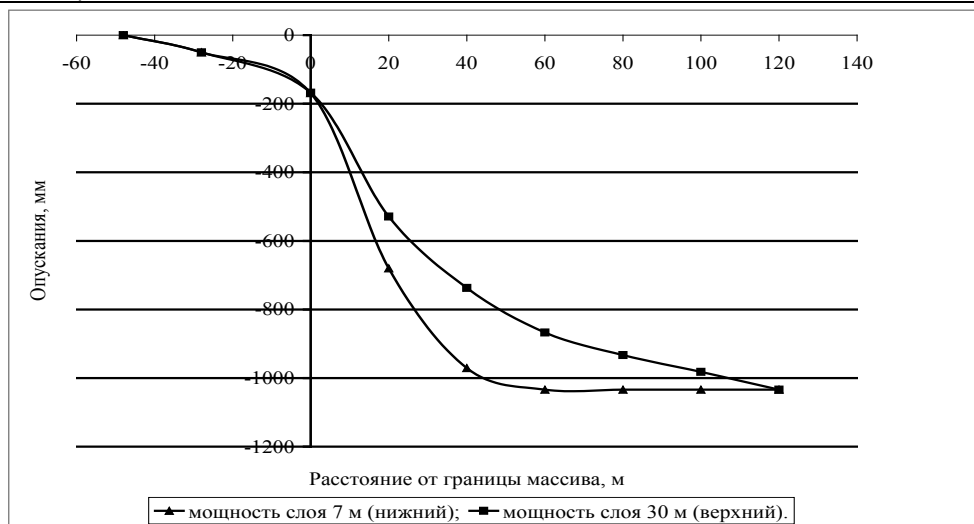


Рис. 2 – Зависимость опусканий слоев мощностью 30 м верхний и 7 м нижний при скорости подвигания очистного забоя 3 м/сут

Из приведенных результатов следуют следующие выводы.

Максимальные значения высоты полости увеличиваются с увеличением скорости подвигания очистного забоя  $V$ : от 207 мм при  $V = 1$  м/сут до 246 мм при  $V = 5$  м/сут. Абсцисса максимальной высоты смещается в сторону выработанного пространства: 36 м от границы массива при  $V = 1$  м/сут до 45 м при  $V = 1$  м/сут. Также в сторону выработанного пространства смещаются абсциссы сечений, соответствующие началу расслоения (от 2,5 м от границы массива до 8,5 м) и смыканию полости (от 110 м при  $V = 1$  м/сут до 130 м при  $V = 5$  м/сут).



Рис. 3 – Зависимость опусканий слоев мощностью 30 м верхний и 7 м нижний при скорости подвигания очистного забоя 5 м/сут

При наличии двух смежных слоев одинаковой мощности (7 м) имеются особенности их НДС при деформировании, которые в отличие от варианта слоев разной мощности состоят в следующем. Данные, приведенные в табл. 7 (для сравнения см. табл. 1) показывают, что величина поперечных сил в верхнем слое меньше, чем в нижнем, как и величина изгибающих моментов.

Величина эквивалентных напряжений в верхнем слое остается более высокой, чем в нижнем слое. Перечисленные особенности касаются абсолютных значений расчетных величин параметров НДС слоев, а тенденции их смещения относительно границы массива при увеличении скорости подвигания очистного забоя такие же, как в варианте смежных слоев разной мощности.

Таблица 7 – Показатели НДС породы верхнего слоя мощностью 7 м при скорости подвигания очистного забоя 1 м / сут

Сечение, м	Поперечная сила, $Q \cdot 10^2$ , МН	Изгибающий момент, $M_{(x)} \cdot 10^2$ , МН·м	Эквивалентное напряжение, $SPR$ , МПа	Максимальное касательное напряжение, $\tau_{\max}$ , МПа
Верхний слой, мощность 7 м				
0	0	0	12	11
4	1454	-4567	10	10
8	2667	-5215	25	16
12	3449	-6423	14	10
16	3704	-3704	11	11
20	3156	-606	20	17
30	1457	19818	88	3
40	150	31006	141	4
50	101	34967	155	4
60	91	37419	166	5

Примечание. Сечение 0 м соответствует началу координат и находится в массиве на расстоянии 14,8 м от его границы

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о возможности прогноза образования и динамики развития во времени и пространстве полостей расслоений и их геометрических размеров в зависимости от геологических и горнотехнических параметров горных работ на добычном участке и на этой основе осуществлять разработку технических и технологических рекомендаций по параметрам бурения дегазационных скважин с использованием полостей расслоений как потенциальных коллекторов газа метана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слесарев В.Д. Вопросы управления кровлей. – М.: ОНТИНКТП, 1935. – 130 с.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
3. Борисов А.А. Основные закономерности механических процессов в литосфере (в шахтных и естественных полостях) // Уголь. – 1989. – № 12. – С. 10-16.
4. Савенко Л.В., Озеркин И.М. Дегазация спутников угольных пластов. – К.: ГИЗ техн. литературы УССР, 1963. – 130 с.
5. Четвертаков В.В. Исследование возможности использования полостей расслоения для промышленной добычи метана / Сб. научн. тр. НГА Украины. – № 3, Т. 3. Прогрессивные технологии подземной разработки месторождений полезных ископаемых. – Днепропетровск, 1998. – С. 51-56.
6. Савостьянов А.В., Сулов В.И., Григорьев С.П. Формирование полостей расслоения в горном массиве. // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 55. – С. 129-135.