

УДК 622.235:622.831.031

А.Ф. Борzych

УСКОРЕНИЕ ОБНАЖЕНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО МАССИВА КАК ФЕНОМЕН ДИНАМИКИ СМЕЩЕНИЙ СЛАГАЮЩИХ ЕГО ПОРОДНЫХ СЛОЕВ

Донбасский государственный технический университет
проспект Ленина, 16, г. Апчевск, Украина

Проведены исследования влияния переменной скорости обнажения подрабатываемого массива при выемке тонких и средней мощности пологонаклонных угольных пластов на периодические осадки и обрушения кровли, вызывающие перепады величин ее сближения с почвой в лаве и контурных смещений пород в прилегающих к ней выработках. Установлено, что при увеличении средней скорости подвигания очистного забоя независимо от структурно-прочностных характеристик пород, слагающих массив кровли, скорость ее смещения не всегда уменьшается и, начиная с 8 м/сут., вероятность этого феноменального проявления горного давления, включая его опорную зону впереди лавы, возрастает.

Наметившаяся тенденция роста нагрузки на комплексно-механизированные очистные забои при разработке пологонаклонных пластов глубокими (более 1000 м) угольными шахтами Донбасса за счет увеличения длины выемочного столба и скорости подвигания лавы связана с решением такого актуального вопроса, как влияние сдвижения массива на устойчивость подземных выработок, а также наземных объектов. Полученные результаты натурных инструментальных исследований горно-геомеханических процессов, происходящих в подрабатываемом массиве, на основании общепринятых закономерностей проявлений горного давления дают базу для оценки интенсивности смещений слагающих его пород. Эта оценка зависит от совокупности морфогенетических характеристик слагающих пород, глубины разработки, скорости и объема образованного выработанного пространства. Наблюдения за смещениями пород по контуру подземных выработок глубокого заложения и оседаниями земной поверхности показывают: наиболее распространенное утверждение, что с увеличением скорости подвигания лавы скорость сближения кровли и почвы в пределах ее призабойного пространства уменьшается, не всегда соответствует действительности.

Исходя из сущности рассматриваемого вопроса, определена цель исследований – установить влияния переменной скорости обнажения подрабатываемого лавами угленосного массива на изменения величины смещений пород во вмещающих его выработках, а также оседаний земной поверхности. Сформулированы следующие основные задачи:

1) установить характерные особенности механизма смещений пород вокруг движущейся с переменной скоростью лавы;

2) обосновать методический подход к оценке относительного уровня динамического воздействия оседаний и обрушений массива кровли при знакопеременном ускорении подвигания фронта его обнажения лавой на смещения пород;

3) установить влияние обрушений породных мостов в выработанном пространстве на потерю сечения прилегающих к лаве выработок;

4) выявить идентичность затухающих во времени процессов сдвижения неравномерно обнажаемого массива и контурных смещений пород в остановленной лаве.

Оседание, расслоение и обрушение части породугольного массива, отражающие их совместное влияние на состояние выработки, являются результатом естественных импульсных дезинтеграционных процессов, происходящих в подрабатываемой толще массива. Смещения пород, слагающих эту толщу, даже при постоянной скорости подвигания очистного забоя и однородном геоматериале происходят с переменной амплитудой и частотой. Графики изменения во времени смещения массива кровли в зависимости от скорости подвигания очистного забоя, как правило, представляют собой ломаные пикообразные линии, которые методом математической статистики с определенной точностью аппроксимируют в плавные кривые. При малых величинах перепада скоростей смещения пород в интервале между ними пикообразная ломаная представляет собой плавную кривую, при больших – волнообразную. Естественно, основными исходными предпосылками характера высвобождения потенциальной энергии в подрабатываемом массиве, вызывающего интенсивность разуплотнения пород, при всех прочих равных условиях, являются ускорение и объем обнажения массива.

Периодический характер изменения опусканий массива кровли и связанная с этим переменная интенсивность нагружения крепи поддерживаемых выработок чаще всего объясняются образуемыми над выработанным пространством консолями зависания его слоев по длине лавы и направлению выемки угольных пластов, различных по мощности, прочностным и реологическим свойствам вмещающих пород. Эти свойства определяют шаги разлома и обрушения вмещающих пород, а также степень их разрушения. Так, по данным исследований [1] в условиях отработки с большой скоростью подвигания 16 восточной лавы пласта m_3 шахты им. Засядько на 1000-метровом по длине наблюдаемом участке ее вентиляционного штрека в пределах подрабатываемой толщи, равной 150 m (где m – мощность вынимае-

мого пласта), прослеживается динамический характер проявлений горного давления с ярко выраженными перепадами смещений по интервалам и площади обнажения кровли.

Аналогичный знакопеременный характер изменений измеренных по пикетам величин оседаний земной поверхности в пределах ее мульды и толщи массива над выработанным пространством наблюдался при отработке пласта d_4 14 и 15 западными лавами в условиях шахты "Красноармейская-Западная № 1" [2]. По результатам натурных исследований состояния при-сечных выработок, проводимых на границе указанных лав с выработанным пространством при мощности пласта 1,2–1,97 м и угле его падения 4–14° на глубине 500–730 м, с увеличением скорости подвигания очистного забоя от 1,07 до 8,1 м/сут. существенных изменений скоростей контурных смещений пород в этих выработках не наблюдалось, хотя в кровле залегает песчаник мощностью 12–32 м прочностью на одноосное сжатие 90–101 МПа. При таком 8-ми кратном увеличении скорости подвигания лавы сближение кровли и почвы в штреках в зонах влияния выработанного пространства и опорного давления впереди лавы увеличивалось соответственно в 1,6, и 1,9 раза. Судя по полученной прямопропорциональной эмпирической связи рассматриваемых параметров, коэффициент корреляции которой составил 0,82–0,87, смещения пород при увеличении скорости подвигания лавы возрастают.

Изменения оседаний массива во времени, несмотря на уменьшение их величин с удалением от обрабатываемого пласта, носят ярко выраженный идентичный перемещенный характер, графически отражающийся ломаными линиями с различными по интервалам перепадами нормальных к напластованию смещений пород. Это подтверждается одновременными измерениями оседаний реперов на земной поверхности и в подрабатываемом ходке пласта k_5^H при выемке пласта k_2 лавой № 10 в условиях шахты "Ореховская" ПО "Краснодонуголь" (рис. 1) [3]. Мощность вынимаемого пласта k_2 составляет 1,7 м, угол падения 5°, при средней глубине разработки 520 м, длине лавы 184 м и средней скорости ее подвигания 70 м/мес. Максимальные оседания земной поверхности зафиксированы по реперам 6–9 (величиной 450–465 мм), почвы ходка – 9 (800 мм), что соответствует положению середины лавы и сравниваемой величине на земной поверхности, в 1,7–1,8 раза меньшей, чем на удалении от нее 550 м. Это указывает на неравномерно затухающий характер процесса оседания толщи с удалением от обрабатываемого пласта.

Переменный характер изменения оседаний подрабатываемого массива находит свое отражение в интенсивности смещений пород в прилегающих к лавам выработках как впереди очистного забоя, так и после его прохода. Натурными измерениями смещений пород в Центральном уклоне горизонта 1085 м при отработке пласта l_7 4-мя южными лавами в условиях шахты им. Стаханова ПО "Красноармейскуголь" также подтверждается переменный характер их изменения с удалением от фронта обнажения массива до 230 м [4].

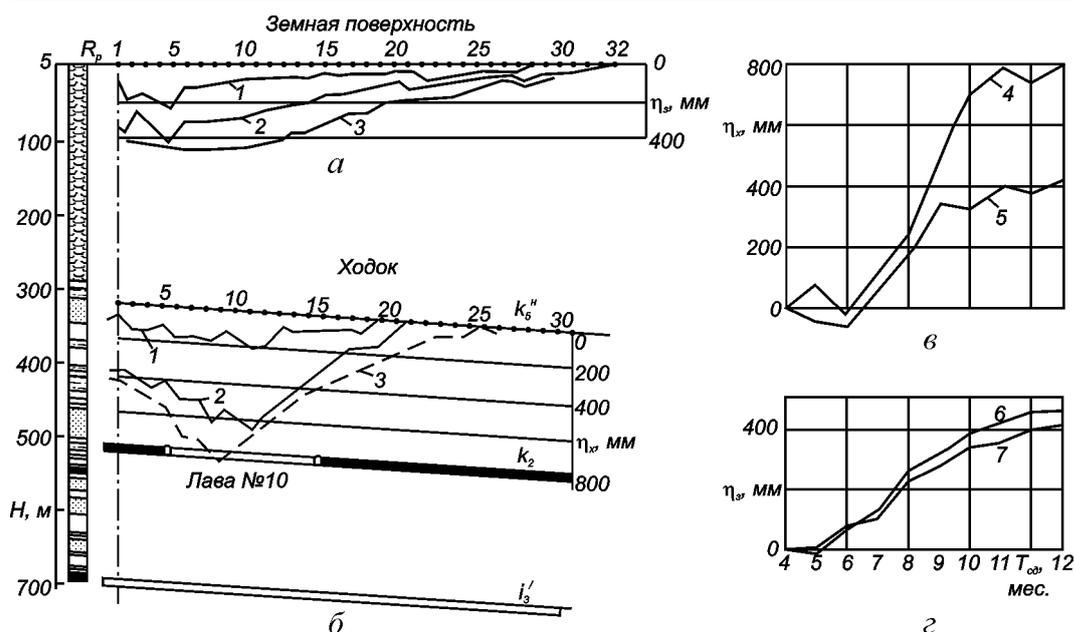


Рис. 1. Графики оседаний η_z и η_x реперов (R_p) при сдвигении (T_{cd}) земной поверхности (а) и ходка (б) пласта k_5^H , подрабатываемых лавой № 10 пласта k_2 на глубине (H) в пределах их мульд и во времени по реперам соответственно 9 и 2 (а), 7 и 1 (б). 1 – контур полумульды через 2 мес, контур полумульды через 4 мес, контур полумульды через 9 мес, оседания ходка во времени по реперу 9, оседания земной поверхности во времени по реперу 2, оседания ходка во времени по реперу 2, оседания земной поверхности во времени по реперу 1

Аналогичный динамический характер сближения кровли и почвы наблюдался при отработке 11 и 13-ой восточных лав пласта m_3 горизонта 915 м в условиях шахты им. Поченкова ПО "Макеевуголь" при подвигании очистного забоя на 160 м, что соответствует началу процесса затухания сдвигения массива. В подрабатываемом Центральном уклоне пласта l_7 скорость смещений пород после прохода лавы 40 м составила 2,4 мм/сут. и к 60-ти метрам снизилась до 1,1 мм/сут. с последующими максимальными ее колебаниями, равными $\pm 0,32$ мм/сут., в интервале длины уклона 210 м относительно средней величины 1,0 мм/сут. Начало затухания процесса сдвигения на удалении от лавы 240 м отмечено при скорости смещений 0,025 мм/сут.

Переменный характер изменения скоростей конвергенции кровли и почвы наблюдается и по длине лавы. Так, при отработке пласта l_7 10-й северной лавой в условиях шахты № 5/6 им. Димитрова ГП "Красноармейскуголь" [5] на удалении от штрека 20 м за периоды времени 20; 60 и 98 часов отклонения средних и максимальных значений величин скоростей конвергенции округленно составили соответственно 2,5; 1,0 и 0,3 мм/час. Аналогично за те же периоды на удалении от штрека 60–80 м – 0,7; 0,2 и 0,1 мм/час. Полученные данные указывают на то, что перепады скоростей конвергенции пород в лаве, носящие динамический характер, снижаются как во времени, так и на удалении от штрека.

Это объясняется влиянием краевого эффекта, который вызван уменьшением длины образуемых консолей зависания массива кровли над концевым участком лавы, при взаимодействии смещающихся боковых пород с основными естественными опорами, представленными краевыми частями оставляемого бокового и вынимаемого движущимся очистным забоем угольных массивов, по сравнению с зависанием обрушаемых пород в средней части лавы.

При равномерных и низких (менее 2 м/сут.) скоростях подвигания лавы на величину и периодичность смещений пород преимущественно оказывают влияние монолитные труднообрушаемые слои кровли, особенно породные мосты, соизмеримые по своей мощности с величиной их удаления от разрабатываемого пласта, что подтверждается натурными исследованиями. В качестве объекта этих исследований взяты проводимые вслед за лавами присечные выработки: штрек лавы 64^н пласта h_8 и ходок лавы 62 пласта l_6^H шахт ГП "Свердловантрацит" (табл. 1). Междупластья состоят в основном из чередующихся слоев алевролита и песчаника мощностью, не превышающей соответственно 12 и 7 м при коэффициенте крепости 6.

Таблица 1

Исходные характеристики объектов исследований

Параметр и единица его измерения	Шахта, лава, выработка	
	им. Володарского, 64 ^н , штрек	"Должанская-Капитальная", 62, ходок
Угольный пласт: индекс	h_8	l_6^H
мощность вынимаемая, м	1,2	1,2
угол падения, град.	16	3
Категория массива кровли по обрушаемости	A ₃	A ₃
Мощность породного моста, м	78	58
Коэффициент крепости песчаника породного моста	12	10
Удаление породного моста от пласта, м	65	63
Длина лавы, м	160	195
Тип механизированного комплекса	КМ-87	КМ-88
Скорость подвигания лавы, м/сут	2	1,8
Глубина разработки, м	930	740
Длина выемочного столба, м	460	1080
Присечная подготовительная выработка:		
тип крепи	КМП-А3	КМП-Т
шаг установки рам крепи, м	0,8	1,0
площадь сечения в свету, м ²	7,9	6,9
Ширина средств охраны выработки:		
оградительный угольный целик, м	4	2-3
породная полоса, м	13-15	15-17

По результатам измерений экспресс-методом построены графики изменений вертикальных и боковых сближений пород в этих выработках на удале-

ниях от движущегося очистного забоя (рис. 2). Измерения в штреке лавы 64^н пласта h_8 проводились по каждой раме металлической крепи на фиксированном участке длиной 40 м при его удалении l_i от лавы 6 (1), 86 (2) и 134 (3). Из графиков сближения контуров штрека видно, что с удалением от лавы четко прослеживаются пикообразные, затухающие по величине их приращению. Исключение составляет участок штрека (в пределах 40 м), где происходит увеличение приращений сближений, как вертикальных, так и боковых, на удалении от лавы более 32 м. Это указывает на то, что шаг периодических влияний оседающего породного моста в рассматриваемых условиях составляет около 32 м. Наибольшее приращение вертикальных сближений на этом удалении превышает наименьшее в 2–3 раза.

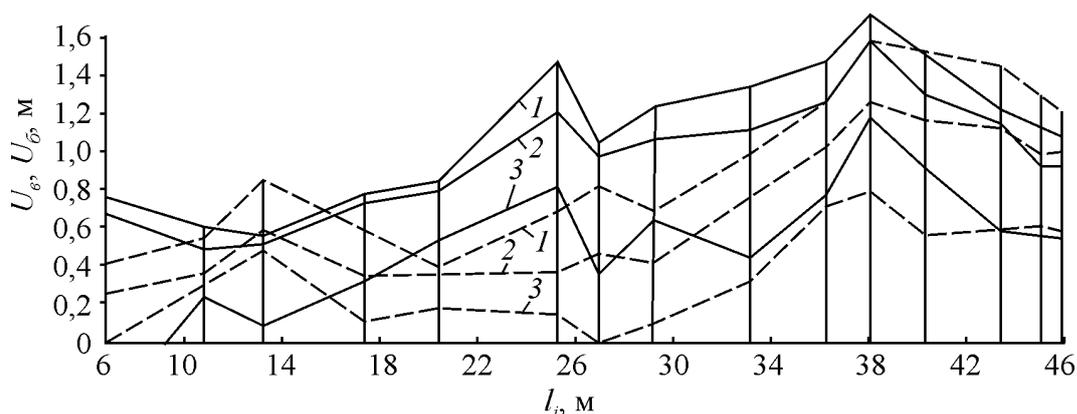


Рис. 2. Изменение вертикальных U_v (—) и боковых U_b (---) сближений пород в штреке после прохода лавы на удалении от нее l_i , м: 1 – 6, 2 – 86, 3 – 134

Четко прослеживается неравномерность приращения контурных сближений пород по длине ходка лавы 62 пласта l_6^H (рис. 3). Начиная с 30 м на удалении от лавы, величина приращений сближений пород по высоте ходка возрастает. При этом расстояния между наблюдаемыми "пиками" этих приращений, как правило, изменяются в пределах 30–40 м и формируются на удалении от очистного забоя 36 м. На участке ходка по его длине 160 м от лавы в местах резкого приращения сближений пород по высоте величина аналогичного параметра по его ширине снижается. Эта особенность вызвана прежде всего изменениями интенсивности хрупкого разрушения пород вокруг присечных выработок и силовых характеристик охранных сооружений под влиянием активного воздействия на них процесса сдвижения массива. В дальнейшем по длине ходка интервальные приращения сближений по его высоте и ширине совпадают, что указывает на равномерность продолжающегося сжатия одновременно уплотняемых вокруг выработки пород и просадки охранных опор при затухании процесса сдвижения. Пиковые величины приращений вертикальных сближений в местах влияния осадок породного моста на устойчивость ходка, как правило, превышают наименьшие значения в промежутке между ними в 2–4 раза.

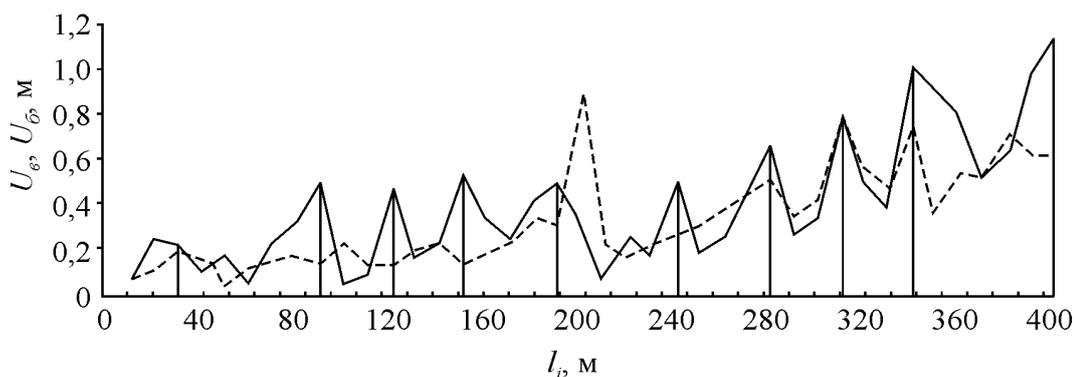


Рис. 3. Изменение вертикальных U_v (—) и боковых U_b (---) сближений пород в ходке после прохода лавы 400 м

Величина шага периодически возрастающих смещений пород в выемочных выработках в основном зависит от мощности породного моста, коэффициента крепости слагающих его пород и скорости подвигания очистного забоя. Кратности величин шагов оседания относительно мощностей породных мостов составляют для штрека 0,44 и ходка 0,52. Если допустить, что другие факторы прямопропорционально влияют на шаг осадок через отношение этих величин, то представляется возможным вводить относительный совокупный поправочный коэффициент, учитывающий влияние их различных сочетаний на процесс оседания массива кровли. В рассматриваемых случаях для штрека и ходка (см. табл. 1) отдельно взятые соотношения по глубине разработки, коэффициенту крепости пород моста и длине лавы составляют соответственно 1,24; 1,2 и 0,83, в общей совокупности – 1,23. С учетом этого относительного поправочного коэффициента в условиях отработки пласта h_8 кратность величин шага оседания массива кровли и мощности породного моста для пласта l_6^H составит 0,54 ($0,44 \cdot 1,23$), что близко по величине 0,52. Отсюда следует, что при всех прочих равных условиях и незначительной скорости подвигания лавы на периодичность осадок мостов существенное влияние оказывают глубина разработки, характеризующая исходное напряженно-деформационное состояние массива, мощность и прочность зависающих его породных слоев, а также длина лавы, формирующая совместно с ее подвиганием площадь обнажения. В зоне активных сдвижений подрабатываемого массива на удалении от лавы, равном 0,55-кратной глубине разработки, в местах влияния периодических осадок мостов на интенсивность нормальных к напластованию сближение пород в выработке по сравнению с боковыми, как правило, возрастает. Пиковые вертикальные смещения во времени всегда совпадают с аналогичными боковыми. Это связано прежде всего с перераспределением взаимокompенсующих смещений различных по прочностным свойствам пород вокруг выработки под воздействием возрастающей скорости оседания толщи и изменяющихся сопротивлений охранных опор.

По данным рассмотренных исследований утверждение о том, что с увеличением скорости подвигания лавы скорость смещения пород по напластованию уменьшается, а в других случаях – увеличивается, не является проти-

воречивым. Важной причиной этого феноменального явления с учетом структурно-прочностных свойств породного массива являются знакопеременные изменения величин ускорения его обнажения.

Подтверждением этого являются результаты проведенных инструментальных шахтных наблюдений за смещениями пород в зоне опорного давления конвейерного штрека лавы № 36 пласта k'_5 шахты "Красный партизан" ПО "Свердловантрацит". Мощность пласта k'_5 1,6–1,7 м, угол падения 19° , лава длиной 212 м оборудована механизированным комплексом КМ-87, средняя глубина разработки 520 м. Кровля в пределах высоты 28 м представлена слоями аргиллита и алевролита мощностью 1,8–3,6 м и коэффициентом крепости 4–5. Режимы двух скоростей подвигания лавы I и II представлены в табл. 2.

Таблица 2

Режимы скоростей подвигания лавы

Наименование параметра, характеризующего режим скорости подвигания лавы	Количественное значение параметра, соответствующего режима	
	I	II
Продолжительность измерений, сут	31	88
Интервал между измерениями, сут	1	2
Подвигание лавы за время измерений, м	255	353
Средняя скорость подвигания лавы, м/сут	8,2	4,0
Пределы изменения скорости подвигания лавы, м/сут	1,7–12,6	2,0–7,5
Пределы изменения ускорения подвигания лавы, м/сут ²	–6,1–10,5	–0,8–1,4

Результирующая процесса смещения пород в штреке за определенный промежуток времени характеризовалась средней относительной величиной конвергенции кровли и почвы как основным параметром, отражающим ее интенсивность, в опорной зоне:

$$h_{cp\ i} = U_{cp\ i} \cdot l_i / V_{cp\ i}, \text{ мм}, \quad (1)$$

где $U_{cp\ i}$ – средняя скорость конвергенции пород в рассматриваемом промежутке времени, мм/сут; $V_{cp\ i}$ – скорость подвигания фронта очистного забоя за этот же промежуток времени, м/сут; l_i – удаление от лавы, м.

Измеренные и вычисленные величины распределены на три группы равноинтервальных значений скоростей подвигания очистного забоя с интервалами по времени 1 или 2 суток (табл. 3). По усредненным данным видно, что при возрастании скорости подвигания лавы ($V_{cp\ i}$, м/сут.) скорость конвергенции пород ($U_{cp\ i}$, мм/сут.) в зоне опорного давления на удалении от лавы (l_i) изменяется как с увеличением, так и с уменьшением величины смещения ($h_{cp\ i}$, мм). Наибольшие изменения интенсивности конвергенции пород в штреке наблюдаются на его участке впереди лавы 20–40 м. В интервале

60–100 м перепады скорости конвергенции пород с увеличением скорости подвигания лавы уменьшаются и на удалении от нее 100–140 м составляют минимальное значение.

Таблица 3

Результаты обработанных данных измерений конвергенции пород в штреке впереди лавы

Расстояние от линии очистного забоя l_i , м	Величина смещения пород при скорости подвигания лавы (V_i), м/сут.								
	2,0–5,0 (3,41*)			5,1–8,1 (6,15*)			8,2–11,2 (9,56*)		
	U_i , мм/сут	$U_{cp i}$, мм/сут	$h_{cp i}$, мм	U_i , мм/сут	$U_{cp i}$, мм/сут	$h_{cp i}$, мм	U_i , мм/сут	$U_{cp i}$, мм/сут	$h_{cp i}$, мм
20	12–113	50,1	294	32–73	47,5	154	16–195	77,0	161
40	1–26	10,5	123	4–20	12,4	81	7–39	22,6	95
60	0,5–27	4,5	79	0,3–5	2,8	27	2–11	5,7	36
100	0,2–8	2,6	76	0,3–1,2	3,9	47	0,5–6	1,9	20
140	0,1–2	0,7	28	0,2–1	0,6	14	0,5–0,7	0,6	8

* Средняя величина.

Нестабильность скорости потери сечения штрека впереди лавы характеризуется переменной скоростью конвергенции пород, отражающей динамику процесса оседания подрабатываемого массива через ускорение его обнажения. Исходя из этого, наблюдаются согласованные и несогласованные по знакам (+, –) ускорения рассматриваемых процессов за одинаковый промежуток времени их протекания. При согласованных процессах ускорения обнажения массива кровли и конвергенции пород по знакам одинаковы – (+) или (–), а при несогласованных – противоположны. Исходя из физической сущности и идентичности рассматриваемых, одновременно происходящих процессов, при весьма различных характеризующих количественных значениях их ускорений представляется возможным отразить относительный уровень динамических проявлений горного давления при периодических осадках слоев обнажаемой породной толщи. Относительными сравнительными показателями как при согласованном, так и несогласованном процессах этих смещений могут служить знакопеременные величины ускорений обнажения кровли за одинаковый промежуток времени Δt_i (сут.) $w_i = \pm \Delta V_i / \Delta t_i$ (м/сут.²) и конвергенций пород $\omega_i = \pm \Delta U_i / \Delta t_i$ (мм/сут.²), отражающие с учетом масштабного коэффициента соответствующие угловые параметры $\rho_{iw} = \arctg |w_i|$ и $\rho_{i\omega} = \arctg |\omega_i|$.

Тогда уровень рассогласованности по сравниваемым величинам ρ_{iw} и $\rho_{i\omega}$ составляет

$$\Delta \rho_i = \pm (\rho_{iw} - \rho_{i\omega}), \text{ рад.} \quad (2)$$

Параметр $\Delta \rho_i$ показывает количественное превышение угловых величин при различных режимах изменений скоростей подвигания лавы, в т. ч. и

степень их влияния на смещения пород. В общем виде возможные варианты условных угловых характеристик ускорений, отражающих различные сочетания изменяющихся их величин во времени, графически представлены на рис. 4.

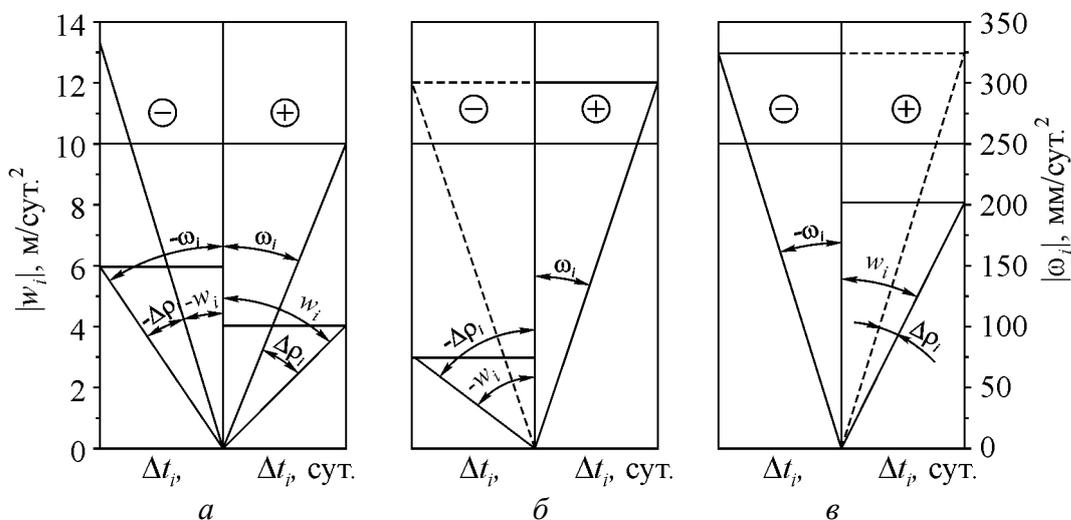


Рис. 4. Варианты сочетаний условных относительных угловых величин ускорений обнажения массива кровли $\pm w_{\rho i}$ и сближения пород $\pm \omega_{\rho i}$ за промежуток времени Δt_i при согласованных процессах (а), характеризуемых их величинами: $\rho w_i, \rho \omega_i$ и $-\rho w_i, -\rho \omega_i$; несогласованных (б и в): $\rho \omega_i, -\rho w_i$ и $-\rho \omega_i, \rho w_i$.

По результатам обработки измерений конвергенции кровли и почвы (табл. 3) в штреке лавы № 36 пласта k'_5 при режиме I частость несогласованности ее ускорений и смещений составляет 0,58–0,67 (в среднем 0,53) при переменной преобладающей условной угловой величине $\Delta \rho_i = -0,28-1,1$ рад (в среднем $-0,75$ рад.), в режиме II – соответственно несогласованность процессов уменьшается и составляет 0,1–0,36 (в среднем 0,21) при количественном значении $\Delta \rho_i = 0,07-0,24$ рад. (в среднем 0,16 рад.). Впереди лавы от 100 до 140 м при дополнительной конвергенции пород в штреке знакопеременного несогласованного характера изменения рассматриваемых ускорений не наблюдалось.

Динамический характер, хотя и с незначительными перепадами конвергенции кровли и почвы, зафиксирован комплексными измерениями по ширине призабойного пространства 9 западной лавы пласта l_1 в условиях шахты им. Засядько [6]. Мощность пласта 1,7–2,0 м, угол падения 12–18°. В кровле залегают трещиноватый аргиллит переменной мощности 0,1–3 м и слой труднообрушаемого песчаника мощностью 1,7–3,7 м. Лава длиной 230 м оборудована комплексом ЗКД-90 и комбайном 1ГШ-68, работающим по односторонней схеме выемки угля при ширине захвата 0,63 м. Установлено, что неравномерно-ступенчатые воздействия ускорения конвергенции боковых пород на просадку крепи по длине лавы, исключая ее концевые 20-метровые участки, изменяются даже после остановки лавы от $-0,045$ до $0,05$ мм/мин².

Существенное влияние изменений ускорений обнажения массива на интенсивность конвергенции кровли и почвы в лаве следует ожидать после его остановки. Эти изменения зависят от формирования параметров динамической полумульды, особенно при подработке с большой скоростью обнажения труднообрушаемого массива кровли, а также при наличии в нем породных мостов.

Как подтверждают замеры оседания земной поверхности в условиях отработки пластов антрацита мощностью $m = 0,8-1,6$ м, при скорости подвигания лав $V_{cp\ i} = 40-111$ м/мес. на глубине $H = 650-1250$ м продолжительность сдвижения массива с увеличением средней скорости подвигания лавы при всех прочих равных условиях незначительно уменьшается [7].

Натуральными измерениями установлено, что интенсивность оседания земной поверхности, как и смещения пород в подземных выработках, подверженных влиянию процесса сдвижения подрабатываемого массива, не зависимо от продолжительности этого процесса уменьшается. Затухающий характер конвергенции кровли и почвы подтверждается результатами, полученными путем продолжительных (до 400 сут.) шахтных замеров ее величин у забоя остановленных лав при выемке тонких пологонаклонных угольных пластов со скоростью подвигания забоя 40–60 м/мес. на глубине 200–850 м при коэффициенте крепости пород, слагающих массив кровли, 4–10 [8]. По результатам обработки статистических данных получена закономерность изменения коэффициента снижения скорости конвергенции кровли и почвы κ_{tv} за период процесса сдвижения, графически представленная на рис. 5. При этом прогнозируемая скорость конвергенции кровли и почвы V_{ti} через промежуток времени $t_i \leq 400$ сут. составит

$$V_{ti} = \kappa_{tv} V_0, \text{ мм/сут.}, \quad (4)$$

где V_0 – начальная, после остановки лавы, скорость конвергенции в ней кровли и почвы через 1 сутки, мм/сут.

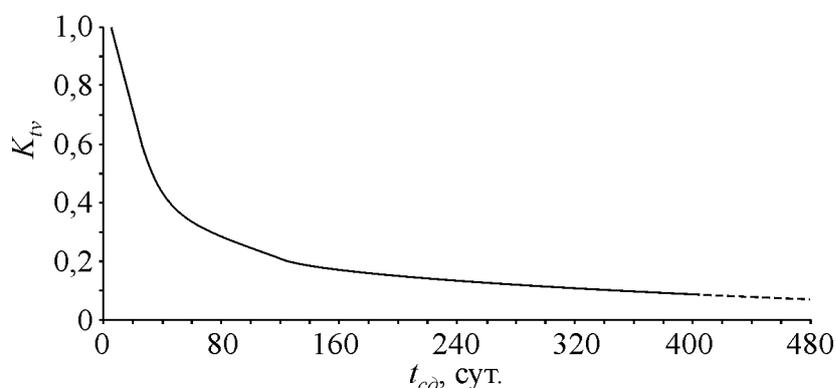


Рис. 5. График изменения коэффициента κ_{tv} снижения скорости конвергенции кровли и почвы у забоя остановленной лавы за время процесса сдвижения T_{cd} подработанного массива

Резкое падение скорости конвергенции кровли и почвы в остановленной лаве (см. рис. 5) отмечено по истечении 40 сут. В интервале 40–120 сут. происходит умеренное падение скорости конвергенции с последующим ее замедлением при $\kappa_{tv} \leq 0,2$ и $t_i > 130$ сут.

Затухание процесса сдвижения массива и связанные с ним смещения слагающих его пород во времени после остановки лавы имеют некоторые особенности, связанные с изменениями его параметрических характеристик формирования в пределах полумульды оседания (рис. 6), где $H_{п3}$ и $H_{п4}$ – фиксированные поверхности на удалении от пласта, соответственно земная и в массиве; h_o – высота обрушенных пород; ψ_{zi} , δ_{oi} и ψ_o , δ_o – граничные углы сдвижения массива над выработанным пространством соответственно при движущемся и остановленном очистных забоях; P_3 и P_o – длина полумульд соответственно при движущемся и остановленном очистных забоях; η_3 и η_4 – максимальные оседания фиксированных поверхностей в пределах формирования полумульд, динамической и статической соответственно.

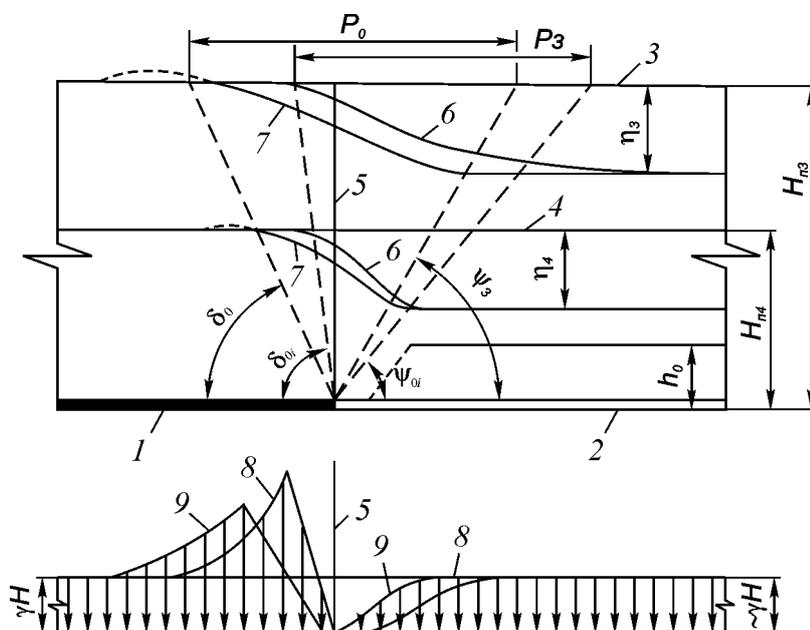


Рис. 6. Обобщенная схема изменений формируемых контуров полумульд оседания подрабатываемого лавой массива (а) и нормальных напряжений (γH) вокруг нее. 1 – угольный пласт; 2 – выработанное пространство; 3 – земная поверхность; 4 – промежуточная поверхность в массиве; 5 – створ очистного забоя; 6 – полумульда статическая; 7 – полумульда динамическая; 8 – эпюра нормальных напряжений массива на уровне пласта вокруг движущейся лавы; 9 – эпюра нормальных напряжений массива на уровне пласта вокруг остановленной лавы после затухания процесса сдвижения

При движущемся очистном забое угол сдвижения ψ_{zi} увеличивается до количественного значения ψ_o остановленного забоя и со временем по величине остается почти неизменным. Одновременно граничный угол δ_{oi} по

окончании сдвижения уменьшается до величины угла δ_o . Длина полумульд P_3 и P_o с удалением от пласта и изменением указанных граничных углов сдвижения увеличивается, оказывая влияние на размеры зон повышенных и пониженных напряжений относительно створа забоя. По данным результатов исследований [9] при скорости подвигания лавы 4–8 м/сут. перед ее остановкой граничный угол сдвижения δ_{oi} в условиях отработки пласта d_4 [2] уменьшается с 85–88° до 71° при увеличении угла сдвижения ψ_{3i} . Задержки зависания массива кровли над выработанным пространством при скорости подвигания лавы более 8 м/сут. способствуют поднятию уровня земной поверхности, начиная от границы полумульды на участке по ширине опорной зоны над краевой частью угольного массива. Период затухания процесса сдвижения массива, как показывают исследования, зависит от скорости и динамики подвигания лавы в течение 3 месяцев до ее остановки.

Наиболее опасны с точки зрения увеличения конвергенции пород в лаве нагрузки на крепь выработок, сопровождающиеся зависаниями массива кровли при знакопеременном ее ускорении. Они создают весьма неблагоприятные условия для обеспечения устойчивости выработок. Аналогично резкие перепады интенсивности конвергенции пород в остановленной лаве создают затруднения поддержания кровли в демонтажной камере, особенно при продолжительном ее простое и неустойчивой кровле. Опираясь на приведенные результаты инструментальных шахтных замеров смещений пород в пределах подрабатываемого массива и непосредственно в выработках, можно утверждать, что в пределах динамической полумульды сдвижения оседания пород при высоких скоростях подхода фронта очистного забоя к границе останавливаемой лавы происходят неравномерно. Исследования изменения параметрических характеристик сдвижения массива при переходе его от динамического состояния к статическому и их влияния на устойчивость выработок пока остаются в состоянии развития концепции проявлений горного давления под воздействием ускорения обнажения подрабатываемой неоднородной толщи при выемке угольных пластов.

Выводы

Скорости оседаний подрабатываемой породугольной толщи и контурных смещений находящихся в ней выработок зависят в основном от морфогенетического строения массива и изменения скорости его обнажения. Преобладающим фактором, влияющим на устойчивость рассматриваемой системы "массив–выработка", является ускорение подвигания фронта очистного забоя в процессе сдвижения массива, исчерпывающего потенциал прочности слагающих его породных слоев при формировании предельных пролетов их зависания над выработанным пространством.

С увеличением скорости подвигания лавы более 8 м/сут. вероятность несогласованных проявлений как по величине, так и по знаку ускорения обнажения массива кровли и смещений его пород в выработках увеличивается,

особенно в зоне опорного горного давления, а также после прохода лавы на удалении от нее до 120 м. Интенсивность смещения массива пород резко возрастает в момент периодических его осадок или обрушений. Величина и периодичность осадок породных мостов проявляется в сопряженных с лавой выработках при почти одинаковом шаге воздействия на потерю сечения этих выработок.

Смещения пород массива по нормали к напластованию на различном удалении от разрабатываемого пласта вплоть до земной поверхности взаимосвязаны, уменьшаются по величине и идентичны по характеру их оседания в пределах мульды сдвижения.

Для установления сравнительной оценки влияния знакопеременных режимов изменения ускорений обнажения массива кровли и ее смещения получен относительный показатель, отражающий за равный промежуток времени в сопоставимых условных угловых единицах величины перепадов этих смещений и согласованность их по знаку.

Проведенные исследования могут служить обобщенной информационной базой для развития концепции формирования уровня динамических проявлений горного давления в выработках подрабатываемого неоднородного породугольного массива и создания предпосылок поиска новых технологических решений по локализации их влияния на устойчивость подземных выработок.

1. Назимко Е.В. Динамические проявления сдвижений над длинными очистными забоями при больших темпах их подвигания [Текст] / Е.В. Назимко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-геологічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2005. – Вип. 72. – С. 12–21.
2. Кольчик Е.И. Конвергенция пород при больших скоростях подвигания лав [Текст] / Е.И. Кольчик // Уголь Украины. – 2007. – № 7. – С. 11–12.
3. Кулибаба С.Б. Опыт расконсервации околовольных целиков с применением гармонической отработки пластов [Текст] / С.Б. Кулибаба, С.В. Голдин, Г.И. Сазонов, А.П. Литвиненко // Уголь Украины. – 1989. – № 10. – С. 7–8.
4. Кузьяра В.И. Закономерности формирования опорного давления впереди очистного забоя [Текст] / В.И. Кузьяра, В.Г. Колесников, Е.С. Комлев, В.Н. Светличный // Уголь Украины. – 1990. – № 11. – С. 15–16.
5. Кузьяра В.И. О влиянии динамических характеристик смещения пород в лаве на выбороопасность пласта [Текст] / В.И. Кузьяра, А.И. Сусло, С.Н. Осипов // Уголь Украины. – 1990. – № 5. – С. 17–19.
6. Антипов И.В. Ускорение конвергенции вмещающих пород в очистных забоях / И.В. Антипов, В.Г. Ильющенко, В.Е. Кравченко // Физико-технические проблемы горного производства.- Донецк: Китис, 1999. – С. 56–63.
7. Кулибаба С.Б. Продолжительность процесса сдвижения массива [Текст] / С.Б. Кулибаба, А.Ф. Борзых, В.Н. Сиидов // Уголь Украины. – 2008. – № 4. – С. 11–14.
8. Борзых А.Ф. Смещения пород на линии очистного забоя [Текст] / А.Ф. Борзых, В.А. Тыняный // Уголь Украины. – 1985. – № 5. – С. 12–13.

9. Кольчик А.Е. Влияние больших скоростей подвигания лав на смещения земной поверхности [Текст] / А.Е. Кольчик, Е.И. Кольчик, В.Н. Ревва // Уголь Украины. – 3009. – № 12. – С. 32–33.

А.Ф. Борзих

ПРИСКОРЕННЯ ОГОЛЕННЯ МАСИВУ, ЩО ПІДРОБЛЯЄТЬСЯ, ЯК ФЕНОМЕН ДИНАМІКИ ЗСУВІВ, ЯКІ СКЛАДАЮТЬ ЙОГО ПОРОДНІ ПЛАСТИ

Проведені дослідження впливу змінної швидкості оголення масиву, що підробляється, при вийманні тонких і середньої потужності пологопохилих вугільних пластів на періодичні опади й обвалення покрівлі, що викликають перепади величин її зближення із ґрунтом у лаві й контурних зсувів порід у прилягаючих до неї виробках. Встановлено, що при збільшенні середньої швидкості посування очисного вибою незалежно від структурно-міцносних характеристик порід, що складають масив покрівлі, швидкість її зсуву не завжди зменшується й, починаючи з 8 м/доб., імовірність цього феноменального прояву гірського тиску, включаючи його опорну зону попереду лави, зростає.

A.F. Borsykh

ACCELERATION OF THE TAPPED MASSIF OUTCROPPING AS A PHENOMENON OF ITS CONSTITUENT ROCK LAYERS DISPLACEMENT DYNAMICS

The research of variable rate effect of the tapped massif outcropping at development thin and medium thickness gently sloping seams on the periodic sediments and roof collapse, causing the value fluctuating of its rapprochement with the soil in the longwall face and rock contour displacement in the adjacent roadways has been carried out. It has been determined that at the variable rate acceleration of the breakage face advance regardless of structural and strength characteristics of rocks forming the roof massif, its rate of displacement always reduces and, starting at 8 m / day., the probability of this phenomenal rock pressure manifestation including its bearing zone ahead the longwall face, alternately increases.