

Добыча угля и руды на глубоких горизонтах шахт и карьеров

Изложена взаимосвязь между скоростью перемещения забоев и деформационных процессов, происходящих в ненарушенном и нарушенном подработанных массивах горных пород. Описаны перспективные технологии добычи на глубоких горизонтах шахт и карьеров.

Одна из главных проблем развития мировой экономики – обеспечение ее сырьевыми ресурсами, извлекаемыми из недр Земли. Проблема усугубляется нежеланием развитых стран содержать горнодобывающую промышленность на своей территории как одну из самых экологически опасных отраслей, а также необходимостью добывать полезные ископаемые на глубоких горизонтах шахт и карьеров. Так, полиметаллические руды на рудниках в Канаде (провинции Онтарио и Квебек) добываются на глубинах 1500 – 3000 м от поверхности. В ЮАР на руднике «Вестерн Дип Левелз» при добыче золотосодержащих руд очистные работы производят на глубине свыше 3,8 км.

При добыче угля на глубоких горизонтах шахт изучают горное давление путем обоснования его физико-механической модели. Затем решают статическую задачу по определению необходимых параметров. Однако в горном массиве как при проведении очистных работ по выемке угля, так и подготовительных выработок при перемещении забоев в подработанном массиве горных пород развиваются деформационные процессы, скорость которых и ее взаимосвязь со скоро-

стью перемещения забоев недостаточно изучена. Рассмотрим результаты исследований, выполненных в отделе геомеханических основ технологий разработки месторождений ИГТМ НАНУ в области подземной добычи угля и открытой разработки руд на глубоких горизонтах.

Особенности добычи угля на глубоких горизонтах шахт. Особенность добычи угля на глубоких горизонтах шахт состоит в том, что деформационные процессы, происходящие в недрах, в меньшей степени проявляются на земной поверхности, но в течение более длительного времени. В то же время горное давление зависит от производительности выемочных работ и скорости развития деформационных процессов в горном массиве.

Взаимосвязь скорости перемещения деформаций в горном массиве со скоростью подвигания очистного забоя при выемке угля. При выемке угля в газонасыщенном угленосном массиве происходят два процесса: перемещается очистной забой и вверх от него перемещаются деформации растяжений, которые на определенной высоте сменяются сжатиями [1]. На этой высоте образуется зона расслоений. Высота зоны расслоений, расположенной над

очистным забоем, определяется по формуле

$$H_p = (2L/v_3)v_d \sin \omega,$$

где L – шаг обрушения основной кровли, м;
 v_3 – скорость перемещения очистного забоя, м/сут;
 v_d – скорость развития деформаций растяжений в массиве, м/сут;
 ω – угол естественного сдвижения горных пород, ...°.

Выше зоны расслоений располагаются горные породы, которые не потеряли своей сплошности, а ниже – разрушенные. Объем разрушенных горных пород, расположенных над очистным забоем ниже зоны расслоений, проявляет себя как горное давление [2].

Над очистным забоем по углам сдвижения строили динамическую мульдзу сдвижения. Затем в зависимости от параметров очистного забоя, производительности комплекса и скорости развития деформаций в массиве определяли высоту зоны расслоений и объем разрушенных пород, приходящихся на единицу площади очистного забоя. Чем выше производительность выемочного комплекса, тем меньше горное давление; чем выше ско-



М. С. ЧЕТВЕРИК,
 доктор техн. наук
 (ИГТМ НАН Украины)

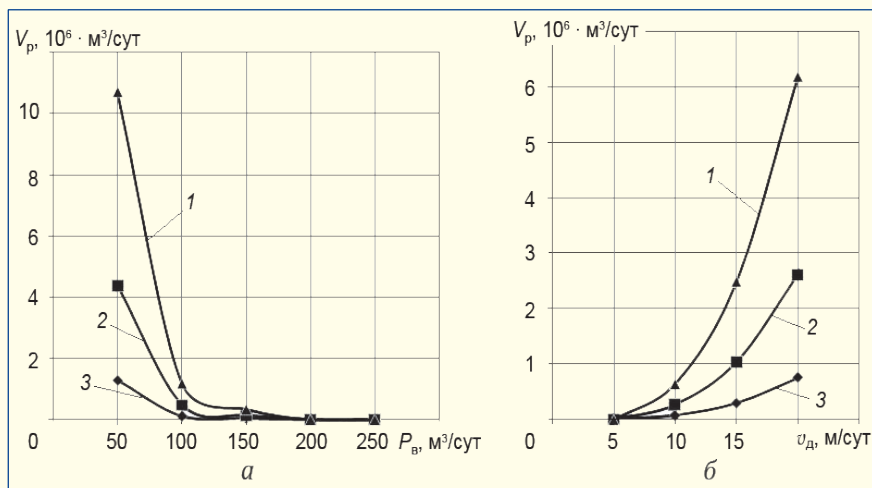


Рис. 1. Зависимость объема V_p разрушенных пород (горного давления) от производительности P_v выемочного комплекса (а) и скорости v_d перемещения деформаций в массиве (б): 1 – при длине лавы 160 м; 2 – 120 м; 3 – 80 м.

рость перемещения деформаций в массиве, тем больше горное давление (рис. 1).

Скорость перемещения деформаций растяжений зависит от многих факторов, в том числе от мощности пласта, особенно при перемещении деформаций в ненарушенном и нарушенном массивах горных пород. Она определена [1] на основании обобщения инструментальных наблюдений при установлении продолжительности процесса сдвига массива горных пород (активная стадия) в различных угледобывающих регионах СНГ (таблица).

Для вычисления скорости перемещения деформаций растяжений в породах средней степени метаморфизма в ненарушенном массиве использовали уникальные инструментальные наблюдения проф. С. Б. Кулибабы [3], изучавшего процесс сдвига на станции реперов, заложенных в стволе по его глубине. На основе результатов инструментальных наблюдений определяли оседания реперов в разные моменты процесса сдвига и в различных породах, а также скорость перемещения деформаций растяжений в ненарушенном массиве в породах средней степени метаморфизма, которая зависит от высоты забоя (рис. 2).

При скорости перемещения деформаций в массиве 5,5 м/сут, скорости подвигания забоя 1 м/сут зона расслоений образуется на высоте 220 м. С этой высоты на большой площади плавно оседает подработанный массив со средней скоростью 27 м/сут.

Скорость перемещения деформаций растяжений в нарушенном массиве определена по данным

А. Ковальски [4], который геодезически наблюдал за сдвижением поверхности на польской шахте. На основании этих наблюдений скорость развития деформаций в нарушенном массиве 17 м/сут. Из приведенных выше исследований можно сделать вывод о том, что полученные данные весьма близки к полученным в работе [1].

Взаимосвязь скорости перемещения очистного забоя и подготовительной выработки со скоростью опускания кровли. Для определения необходимого минимального уровня сопротивления механизированных крепей используют показатель, характеризующий нагрузочные свойства кровли, – коэффициент тяжести кровли C_T – частное от деления относительного значения сближения боковых пород в лаве с тяжелой кровлей или отношение удельного сопротивления крепи в лаве с тяжелой кровлей [5] к аналогичному показателю в условиях легкой кровли:

$$C_T = P_H^T / P_H^L,$$

где P_H^T и P_H^L – удельное сопротивление механизированных крепей в лавах с тяжелой и легкой кровлями при их допустимом опускании.

Кровли, у которых коэффициент тяжести не превышает 1,5, считают легкими, те, у которых превышает это значение, – тяжелыми. Таким образом, допустимое опускание кровли – один из главных параметров для выбора технологических комплексов.

Если известно ускорение опускания кровли [6], то ее опускание можно определить как путь [1], который проходит ее нижняя точка в процессе конвергенции,

$$h = 0,5 kat^2 + v_H t,$$

где $k = 0,058$ – нормировочный коэффициент;
 a – ускорение опускания кровли в средней части лавы, мм/мин²;

Показатель	Степень метаморфизма пород		
	слабая	средняя	высокая
Скорость развития деформаций по плоскости сдвига, м/сут	6 – 10	10 – 15	15 – 20
Длина сдвигающихся блоков, м	20 – 60	60 – 120	120 – 200

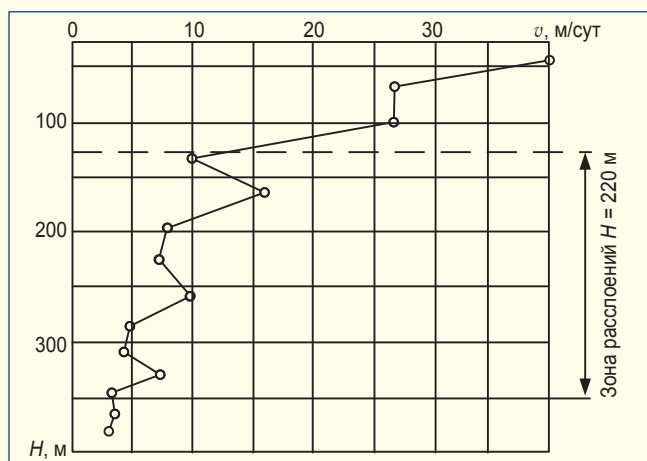


Рис. 2. Зависимость скорости v перемещения деформаций растяжений от забоя вверх по высоте H .

v_n – начальная скорость опускания кровли, мм/мин;

t – время, в течение которого опускается кровля, мин.

Если принять, что максимальное опускание кровли в течение цикла не должно быть больше максимальной просадочности крепи $h_{пр}$, т. е. $h_{max} \leq h_{пр}$, то можно определить минимальную скорость перемещения забоя, при которой еще будет обеспечиваться устойчивая работа гидрофицированной механизированной крепи,

$$v_3 = \left[l_{ц} \left(\sqrt{v_n^2 + 2h_{пр}ka} + v_n \right) \right] / 2h_{пр},$$

где $l_{ц}$ – подвигание очистного забоя за цикл, мм.

Аналогичные процессы происходят и при проведении подготовительных горных выработок.

Во время проведения подготовительной выработки за проходческим забоем опускается незакрепленная кровля. Если опускание превысит допустимое значение, то произойдет расслоение вышележащих горных пород, которое может быть настолько велико, что при анкерной крепи не удастся «связать» породы и предотвратить их дальнейшее расслоение. Допустимое расстояние отставания крепи от забоя определяется исходя из следующего. При проведении выработки наблюдаются два независимых процесса: перемещается забой с определенной скоростью и опускается кровля. Опускание пород можно определить по формуле

$$h_{вып} = at^2 + vt,$$

где a – ускорение опускания кровли, м/с²;

t – время, в течение которого опускается кровля в данной точке, с;

v – начальная скорость опускания кровли, м/с.

Допустимое опускание кровли незакрепленной горной выработки h_d может быть различным для разных типов горных пород и технологии проведения выработки. Время, через которое наступит h_d в данной точке,

$$t = \left(\sqrt{v^2 + ka h_d} - v \right) / a.$$

Если известна скорость подвигания забоя v_3 подготовительной выработки, то допустимое расстояние отставания крепи от забоя

$$L = tv_3 = - \left[\left(\sqrt{v^2 + ka h_d} - v \right) / a \right] v_3.$$

Из изложенного следует, что: допустимое опускание кровли – основной параметр при выборе технологических комплексов, и его необходимо учитывать, чтобы избежать расслоения вышележащих пород кровли; допустимое расстояние отставания крепи от забоя зависит от параметра h_d , а также от ускорения опускания кровли.

Особенности добычи руд на глубоких горизонтах карьеров. Для добычи руд используются такие перспективные технологии: циклично-поточная, предобогащения руды в карьерах, послонной горнотехнической и биологической рекультивации земель.

Циклично-поточная технология (ЦПТ). Это важнейшее направление эффективной добычи руд на глубоких горизонтах карьеров. Научные основы ЦПТ для глубоких карьеров разработаны в Днепропетровском горном институте и Институте геотехнической механики НАН Украины под руководством профессоров М. Г. Новожилова и Б. Н. Тартаковского. Они широко использовались проектными институтами СССР при ее создании в Криворожском бассейне, на глубоких карьерах в других горнодобывающих регионах. В связи с разработкой нового оборудования (например, крутонаклонные конвейеры и др.) и изменением горнотехнических условий карьеров эта технология в настоящее время совершенствуется, но остается главной в решении проблемы добычи руды на глубоких горизонтах карьеров [7].

Технология предобогащения руды в карьерах. Эта технология предусматривает использование механизированных устройств для повышения качества исходной руды, что позволяет увеличить производство железорудного концентрата при тех же мощ-

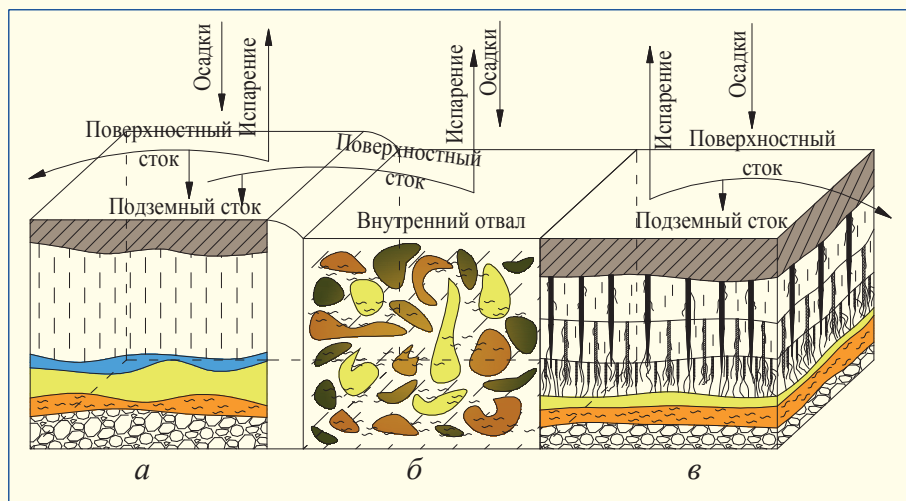


Рис. 3. Водообменные процессы в естественной (а), техногенной (б) геологических средах и в техногенной геологической среде (в) с восстановленными свойствами при ПГТБР.

ностях. Разработаны теоретические основы технологии предобогащения руды в карьерах [8], а также научные основы, которые представляют совокупность новых, ранее неизвестных закономерностей, позволяющих с учетом горно-геологических условий определять производительность карьера, скорость горных работ, параметры систем разработки и схем вскрытия, производительность обогатительной фабрики по концентрату, формировать комплекс оборудования.

Технология послойной горнотехнической и биологической рекультивации земель (ПГТБР). Сущность этой технологии (рис. 3) заключается в создании капиллярной системы в слоях потенциально-плодородных пород корневой системой растений [9]. Это позволяет сформировать в техногенной геологической среде пористость и капиллярность, соответствующие естественной.

Насыщенность корнями и общая пористость нижнего из прослоев при технологии ПГТБР больше, чем в верхних. Процесс накопления осенне-зимней влаги в техногенной геологической среде восстанавливается за счет капиллярной системы, образованной порами корней растений.

Используя закономерности, установили взаимосвязь между уровнем поднятия подземных вод на ненарушенной территории (естественная геологическая среда) и площадью мульды сдвига или внутренних отвалов (нарушенная и техногенная геологические среды), определили параметры

депресссионной воронки для Западного Донбасса (всего бассейна), прогнозный уровень подъема подземных вод на не-подработанной территории, а также причины подтопления территории восточной части г. Павлограда.

Впервые разработана классификация [10] образования техногенных осадочных пород в результате технологических, геомеханических и экзогенных процессов, происходящих при добыче полезных ископаемых, техногенных типов горных пород. Она позволяет установить взаимное влияние естественной, нарушенной и техногенной геологических сред, образовавшихся при добыче полез-

ных ископаемых открытым и подземным способами, на геофильтрационные процессы, формирование техногенных месторождений и оползневые процессы.

На основании учета взаимосвязи естественной, нарушенной и техногенной геологических сред установлены основные причины оползневых процессов и разработаны решения для их устранения на карьерах Чкаловском № 2 (Орджоникидзевский горно-обогатительный комбинат), Завальевского графитового комбината, Анновском (Северо-Западный отвал) и Первомайском (Северный горно-обогатительный комбинат).

Карьеры и шахты Криворожского бассейна достигли глубин, при которых нужно принимать технические решения о дальнейших направлениях добычи железных руд, обеспечивая экономичность, экологичность и необходимую производительность.

Требуются такие направления развития сырьевой базы и добычи руд, которые основывались бы на принципиально новых технологиях, обеспечивали повышение качества руды, снижение коэффициента вскрыши, увеличение доли электрической энергии вместо тепловой. Например:

- освоение добычи, обогащения окисленных кварцитов, получения из них высококачественных концентратов;

- развитие циклично-поточной технологии с наклонными и крутонаклонными конвейерами;

применение технологии предобогащения руды в карьерах и на шахтах;

повышение углов откоса нерабочих бортов карьеров от 36 – 38°, принятых в настоящее время в проектах, до 50 – 60° (необходимо обеспечение безопасности и заданного запаса устойчивости);

использование отработанных карьеров для размещения в них отвалов и отходов обогащения;

сосредоточение добычи руды на одном или нескольких наиболее перспективных карьерах и закрытие остальных;

подземная добыча богатых руд и магнетитовых кварцитов;

переход на открыто-подземную разработку;

освоение технологии выемки руды и вскрышных пород «волнами» с понижением горных работ «крутыми слоями».

Выводы. Скорость перемещения горных работ (очистных и подготовительных) находится во взаимосвязи со скоростью развития деформационных процессов в горном массиве. На основании инструментальных наблюдений установлена скорость развития деформаций растяжений в ненарушенном и нарушенном горных массивах для пород разной степени метаморфизма.

При очистной выемке угля на глубоких горизонтах над забоем образуется зона нарушенных пород, высота которой зависит от скорости развития деформаций в массиве, параметров лавы, производительности выемочного комплекса. Эта часть разрушенных пород оказывает основное горное давление на выемочный комплекс. Чем выше скорость перемещения очистного забоя, тем меньше горное давление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Четверик М. С. Теория сдвижения массива горных пород и управления деформационными процессами при подземной выемке угля / М. С. Четверик, Е. В. Андрощук. – Днепропетровск, 2004. – 150 с.
2. Четверик М. С. Горное давление и сдвижение массива горных пород при выемке угля / М. С. Четверик, М. А. Сиенко, И. В. Четверик // Форум горняков – 2010: материалы междунар. конф. – Днепропетровск, 2010. – С. 239 – 248.
3. Кулибаба С. Б. Исследования скорости распространения процесса сдвижения в подрабатываемом массиве горных пород / С. Б. Кулибаба // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2004. – № 1. – С. 78 – 82.
4. Ковальски А. Деформация поверхности над быстроподвигающимся фронтом горных работ / А. Ковальски // Доклады IX Конгресса ISM, 18 – 22 апр., 1994. – Прага, 1994. – С. 320 – 329.
5. Баранов С. Г. Определение минимально необходимого сопротивления механизированных крепей для лав / С. Г. Баранов, Ю. В. Громов, В. Б. Хапсироков // Уголь. – 2002. – № 7. – С. 5 – 6.
6. Антипов И. В. Шахтные исследования конвергенции вмещающих пород / И. В. Антипов, В. Е. Кравченко, Д. В. Щербинин // Уголь Украины. – 2000. – № 10. – С. 24 – 27.
7. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития / М. С. Четверик, В. В. Перегудов, А. В. Романенко [и др.]. – Кривой Рог, 2012. – 356 с.
8. Бабий Е. В. Технология предобогащения железных руд в глубоких карьерах / Е. В. Бабий. – К.: Наукова думка, 2011. – 183 с.
9. Четверик М. С. Перспективы использования земельных ресурсов горнорудных предприятий Кривбасса для производства биотоплива / М. С. Четверик, Е. А. Ворон // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 3. – С. 71 – 75.
10. Четверик М. С. Формирование техногенной геологической среды и ее связь с природной / М. С. Четверик, Е. А. Бубнова // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 25. – С. 83 – 87.