

УДК 622.831

Ю.М. ХАЛИМЕНДИК (д.т.н., проф.)

А.С. БАРЫШНИКОВ (магістр)

ГВУЗ "Национальный горный университет", г. Днепропетровск

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ЛАВЫ В УСЛОВИЯХ СЛАБОМЕТАМОРФИЗОВАННЫХ ПОРОД

Приведены результаты натурных исследований деформирования подготовительных выработок при различных скоростях подвигания очистного забоя. Установлено, что при увеличении скорости подвигания лавы смещения контура уменьшаются, а скорости смещений не изменяются. Увеличение скорости подвигания позволяет уменьшить накопление деформаций до очистного забоя и на сопряжении, что уменьшает общее значение конвергенции за очистным забоем.

Ключевые слова: конвергенция, подготовительная выработка, скорость подвигания лавы, натурные наблюдения.

Устойчивость подготовительных выработок в зоне влияния лавы является одним из основных факторов, влияющих на продуктивность работы добычного участка. Сохранение сечения штрека на всех этапах его поддержания (до забоя лавы, на сопряжении и после прохода лавы) обеспечивает эффективную транспортировку материалов и полезного ископаемого, эффективное использование оборудования и прямоточное и комбинированное проветривание.

Основным параметром, характеризующим деформации выработки, является вертикальная конвергенция, состоящая из опускания кровли и поднятия почвы, а мерой интенсивности деформирования штрека является скорость конвергенции. Многочисленными исследованиями установлено, что основными факторами, влияющими на значение вертикальной конвергенции штрека (и ее скорости) при воздействии опорного давления от движущегося очистного забоя лавы являются:

- глубина разработки;
- физико-механические свойства вмещающих пород;
- отпор крепи и характер ее взаимодействия с породным массивом;
- скорость подвигания очистного забоя.

Анализ отечественной и зарубежной литературы, проведенный в работе [1], показал, что наиболее противоречивые результаты получены при исследовании влияния скорости подвигания очистного забоя на состояние подготовительных выработок. Они были обобщены следующим образом [1]:

– увеличение скорости подвигания очистного забоя приводит к зависанию в выработанном пространстве породных консолей (особенно при наличии в кровле мощных слоев крепких пород), что влечет за собой увеличение напряжений в массиве и увеличение смещений и скоростей смещений пород в подготовительной выработке;

– вследствие увеличения скорости подвигания очистного забоя напряжения в массиве и скорости смещений увеличиваются, но смещения уменьшаются;

– вследствие увеличения скорости подвигания очистного забоя смещения пород на сопряжении лава-штрек уменьшаются как результат снижения проявлений реологических свойств пород.

Учитывая вышеизложенное, нам представляется необходимым проведение дополнительных натурных исследований для установления закономерностей деформирования выработок при увеличении скоростей подвигания очистного забоя в условиях слабых боковых пород.

Непосредственными величинами, которые можно зафиксировать при помощи натурных маркшейдерских наблюдений, являются величина смещения породного контура (конвергенция) и скорость смещения. Скорость смещения пород V_U связана с параметрами «смещение пород»

U , «расстояние до забоя» L и «скорость подвигания очистного забоя» $V_C = \frac{\Delta L}{t}$, функцией:

$$V_U = \frac{\Delta U}{\Delta L} V_c, \text{ мм/сут} \quad (1)$$

где ΔL - изменение расстояния от исследуемого сечения выработки до очистного забоя за время t , т.е. интервал проведения измерений. ΔU - приращение смещений в сечении выработки по прошествии времени t , т.е. подвиганию очистного забоя на величину ΔL .

Таким образом, формула (1) связывает основные пространственно-временные параметры, фиксируемые в результате натуральных наблюдений.

Для исследования влияния скорости подвигания очистного забоя на деформирование контура подготовительных выработок в условиях слабометаморфизованных пород шахт Западного Донбасса были проведены комплексные натурные исследования на шахте «Степная» при отработке 159-й, 161-й и 163-й лав (рис. 1). Прочность пород составляла $f=1.5-2.5$, глубина 350-380 м ($\mu/\sigma_{св} = 0,45$).

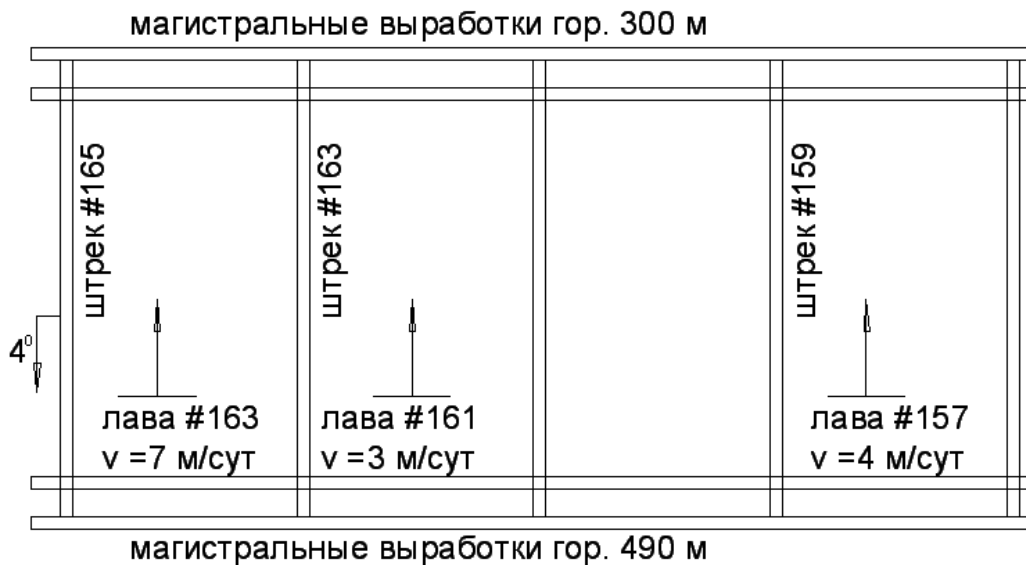


Рис. 1. Схема ведения горных работ по пласту C_6

При отработке лав № 157 и 161 проводилось поддержание штреков №159 и 163. Средняя скорость подвигания очистного забоя 157-й лавы составила 4 м/сут, а 161-й – 3 м/сут. При отработке лавы № 163 тем же струговым комплексом ДВТ проводилось поддержание 165-го штрека. Скорость подвигания очистного забоя составила 7 м/сут. Суммарный отпор крепи до подхода лавы и на сопряжении во всех выработках был примерно одинаков и равен около 600 кН/м.п. За очистным забоем во всех выработках возводилась типовая охранная конструкция и устанавливалось одинаковое количество стоек под раму. В 165-м штреке применялись канатные анкера длиной 6,0 м и несущей способностью 210 кН. Увеличению скорости подвигания 163-й лавы практически в два раза способствовало снижение затрат времени на выполнение концевых операций в штреке №165 за счет применения канатных анкеров вместо стоечной крепи и крепи сопряжения [2].

Замеры конвергенции штреков № 159, 163 и 165 производились на маркшейдерских наблюдательных станциях. Станции представляли собой замерные сечения по 5 шт. в штреках №159 и №163, и 6 шт. в 165-м штреке на участке с плотностью установки канатных анкеров 1,4 шт./м.п. Замерные сечения заложены с шагом 20 м. Частота наблюдений выбиралась таким образом, чтобы подвигание очистного забоя между наблюдениями не превышало 20-25 м. Таким образом, обеспечивается достаточная плотность получения данных. Совмещенные графики вертикальной конвергенции этих штреков приведены на рис. 2.

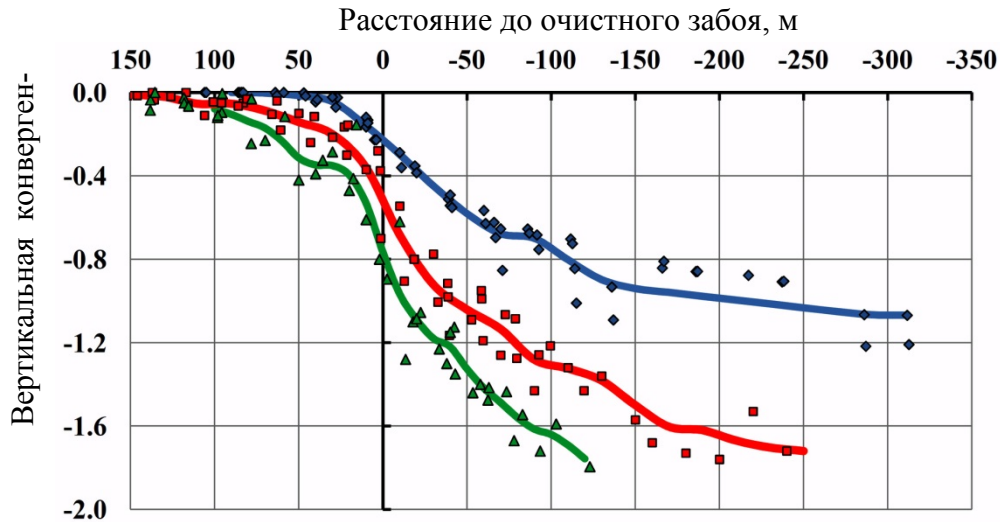


Рис. 2. Вертикальная конвергенция штреков в зависимости от расстояния до очистного забоя: ▲ – 163-й штрек; ■ – 159-й штрек; ◆ – 165-й штрек

На рис. 3 приведены скорости развития вертикальной конвергенции этих штреков.

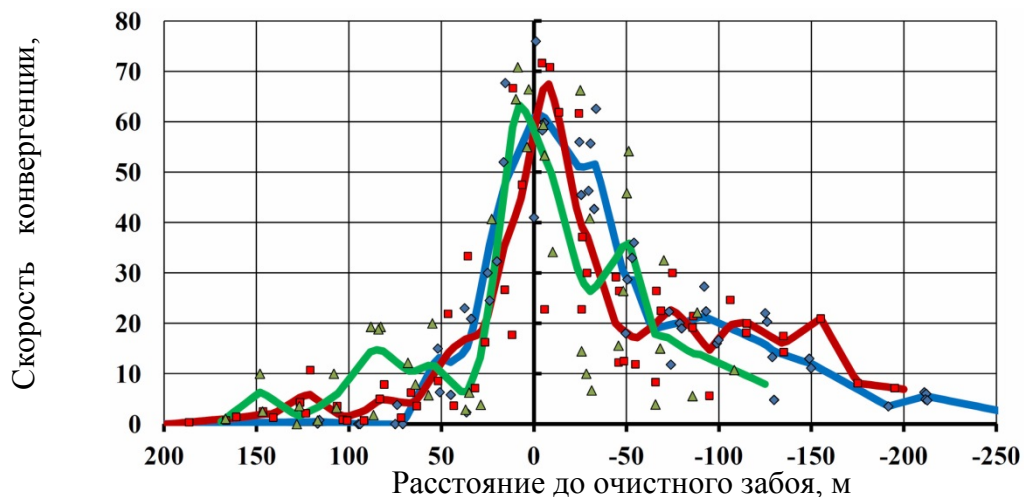


Рис. 3. Скорости развития вертикальной конвергенции штреков в зависимости от расстояния до очистного забоя: ▲ – 163-й штрек; ■ – 159-й штрек; ◆ – 165-й штрек

Анализ развития вертикальной конвергенции штреков позволяет утверждать, что при увеличении скорости подвигания очистного забоя снижается ширина зоны проявления опорного давления впереди лавы, а также уменьшается величина вертикальной конвергенции. В то же время количественная и качественная картина распределения скоростей смещений практически одинакова для всех штреков.

По результатам проведенного анализа, установлено, что уменьшение величины смещений на сопряжении «лава-штрек» происходит в соответствии со степенным законом (рис. 4) и описывается уравнением:

$$U_c = 2.787v^{-1.237} ; r = 0.89$$

где U_c – величина конвергенции на сопряжении «лава-штрек»; v – скорость подвигания очистного забоя, м/сут.

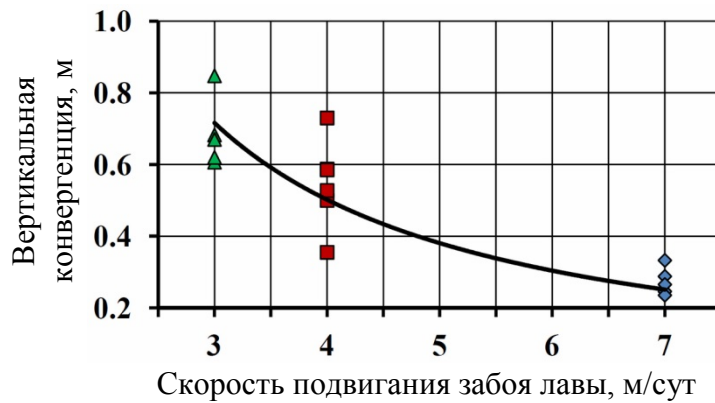


Рис. 4. Зависимость вертикальной конвергенции в районе сопряжения «лава-штрек» от скорости подвигания очистного забоя: ▲ – 163-й штрек; ■ – 159-й штрек; ◆ – 165-й штрек

Высокий коэффициент корреляции свидетельствует о достаточной тесноте связи между скоростью подвигания очистного забоя и величиной конвергенции выработки в районе сопряжения «лава-штрек».

Зависимость (рис. 5) между скоростью подвигания лавы (v) и максимальными значениями скорости конвергенции штреков (V_c) в районе сопряжения описывается уравнением:

$$V_c = -0.414v + 64.7 ; r = 0.17$$

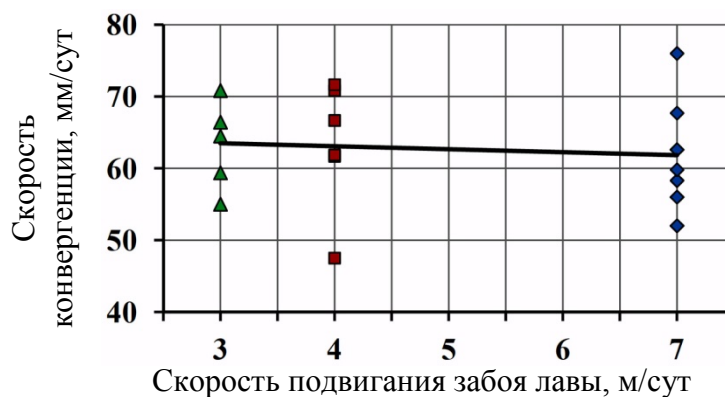


Рис. 5. Зависимость максимальных скоростей конвергенции в районе сопряжения «лава-штрек» от скорости подвигания очистного забоя: ▲ – 163-й штрек; ■ – 159-й штрек; ◆ – 165-й штрек

Учитывая, что коэффициент корреляции составляет всего 0.17, можно утверждать об отсутствии зависимости между скоростью подвигания лавы и максимальной скоростью конвергенции выработки.

Полученные результаты могут объяснять процессы, протекающие в массиве, следующим образом. При образовании и развитии полости в породном массиве распространяется деформирование с несколькими фронтами – упругим и неупругим. Известно, что зона разрушения пород увеличивается с течением времени, а также увеличивается степень разрушения при движении от фронта к обнажению массива до установления равновесия в системе «крепь-массив». Такой процесс протекает в породном массиве вокруг подготовительной выработки в зоне опорного давления. Чем больше времени t участок выработки ΔL подвергается воздействию повышенных напряжений, тем больше степень разрушения пород и дальше в массив распространяются неупругие деформации. Тогда при увеличении скорости подвигания очистного забоя, опорное давление будет воздействовать на участок выработки длиной ΔL меньший промежуток времени Δt , что снизит радиус распространения неупругих деформаций от контура выработки в массив и уменьшит степень проявления опорного давления в виде смещений

контура. Таким образом, в случае высоких скоростей подвигания забоя, промежутки времени воздействия опорного давления на единицу объема массива, вмещающего выработку меньше, чем при низких скоростях подвигания. Следовательно, деформации массива в зоне опорного давления впереди лавы и на сопряжении не успевают реализоваться в полной мере. Иными словами, участок штрека «уходит» из зоны опорного давления быстрее, чем опорное давление проявляется в виде вертикальной конвергенции. Согласно (1) для условий слабых боковых пород низкой степени метаморфизации это утверждение справедливо – если увеличивать параметр V_{ζ} при сохранении $V_U = const$, то соотношение $\frac{\Delta U}{\Delta L}$ должно уменьшаться.

Результаты проведенных исследований справедливы для условий слабометаморфизованных пород в период после первичного обрушения пород, а также при отсутствии мощных пластов песчаника в кровле.

В рассматриваемых условиях увеличение скорости подвигания очистного забоя благотворно сказывается не только на состоянии выработки впереди очистного забоя и на сопряжении, но и позволяет раньше включить в работу охранные мероприятия за очистным забоем. Таким образом, уменьшается накопление деформаций выработки впереди лавы, которые развиваются при снижении скорости подвигания очистного забоя и добавляются к общей конвергенции за очистным забоем. Для доказательства этого утверждения высчитаем разности конвергенции выработок при различных скоростях подвигания и практически одинаковой реализации охранных мероприятий, и построим графики, приведенные на рис. 6.

Согласно полученным результатам, при снижении скорости подвигания очистного забоя большая часть смещений контура выработок реализуется в зоне опорного давления впереди очистного забоя и в районе сопряжения (от 10 м до забоя лавы и 30 м за ним), где возникают наибольшие скорости деформирования.

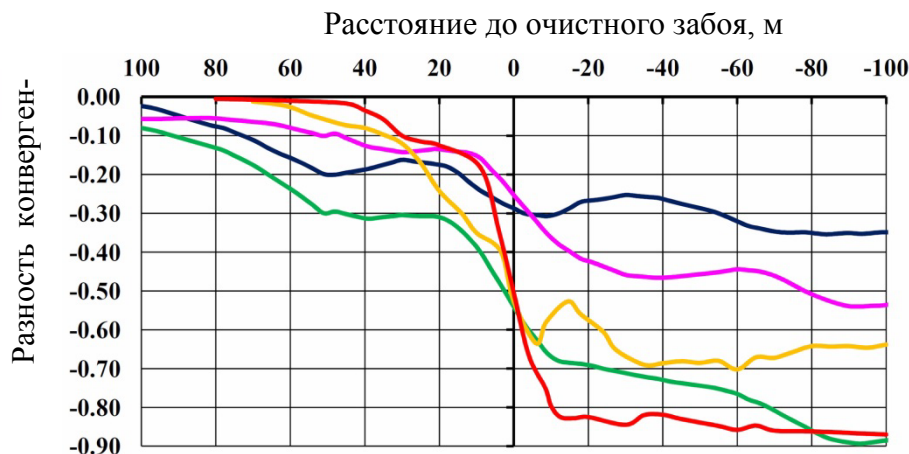


Рис. 6. Разности конвергенции выработок при увеличении скорости подвигания очистного забоя в одинаковых горнотехнических условиях по данным натурных измерений авторов и по результатам обработки измерений проф. Пруссека [3]: — 163-159; — 163-165; — 159-165; — 4-5; — Pochylnia IV - Chodnik A316

В зоне затухания конвергенции реализованные до очистного забоя смещения сохраняются и дальнейший их прирост уже не столь велик. Например, разница конвергенции штрека № 163 (подвигание лавы 3 м/сут) и штрека № 165 (7 м/сут) увеличивается с 0.1 до 0.3 м в зоне опорного давления впереди лавы и с 0.3 до 0.7 в зоне интенсивных деформаций (см. рис. 6), т.е. накопленные деформации до ввода охранных конструкций в работу составили 0.7 м. Дальнейшее увеличение разности конвергенции невелико – с 0.7 до 0.9 м, т.е. за очистным забоем эти накопленные деформации сохраняются. Аналогичные результаты получены при обработке измерений полученных на польских шахтах [3]. Разница конвергенции штрека Pochylnia IV (подвигание лавы 3 м/сут) и штрека Chodnik A-316 (5.5 м/сут) увеличивается с 0.1 до 0.2 м в зоне опорного давления впереди лавы и с 0.2 до 0.8 м в зоне интенсивных деформаций, а за очистным забоем разность конвергенции колеблется в пределах 0.8-0.9 м. Это означает, что при сни-

жении скорости подвигания очистного забоя происходит накопление деформаций до забоя лавы, уже при наличии которых возводятся охранные конструкции. Если за очистным забоем при любой скорости подвигания должна реализоваться определенная часть смещений (зависящая от отпора охранных мероприятий) вследствие перехода потенциальной энергии подработанного и надработанного массива пород в кинетическую, то накопленные деформации только добавятся к этим смещениям, что приведет к увеличению конвергенции подготовительной выработки.

Выводы

В одинаковых горнотехнических условиях скорость подвигания очистного забоя и смещения породного контура выработки находятся в обратной зависимости согласно степенному закону. При этом максимальная скорость смещений остается одинаковой в районе сопряжения.

Увеличение скорости подвигания очистного забоя позволяет раньше включить в работу охранные мероприятия – до реализации деформаций впереди очистного забоя и на сопряжении, что снижает их накопление в указанных геомеханических зонах. Это влечет за собой уменьшение величины общих потерь сечения выработки не только на сопряжении, но и за очистным забоем.

Библиографический список

1. Халимендик Ю.М. Влияние скорости подвигания очистного забоя на деформирование контура подготовительной выработки в условиях слабометаморфизованных пород / Ю.М. Халимендик, А.С. Барышников // Форум гірників: матеріали міжнародної конференції (30 вересня - 3 жовтня 2015 р., м. Дніпропетровськ) – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – С. 121-128.
2. Воронин С.А. Использование канатных анкеров в выемочных выработках в условиях слабых боковых пород / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, А.С. Барышников, С.А. Воронин, А.В. Ефремов, В.В. Панченко // Уголь Украины. – 2013. – №6. – С. 24-26.
3. Prusek S. Metody prognozowania deformacji chodników przyścianowych w strefach wpływu eksploatacji z zawalem stropu. // Prace Naukowe GIG nr 874. Katowice, 2008. 186 s.

Надійшла до редакції 26.04.2016

Ю.М. Халимендик, Барышников А.С.

Державний ВНЗ "Національний гірничий університет", м. Дніпропетровськ

ЗАКОНОМІРНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ ПРИ РІЗНІЙ ШВИДКОСТІ ПОСУВАННЯ ЛАВИ В УМОВАХ СЛАБОМЕТАМОРФІЗОВАНИХ ПОРІД

Наведено результати натурних досліджень деформування підготовчих виробок при різних швидкостях посування очисного вибою. Встановлено, що при збільшенні швидкості посування лави зміщення контуру зменшуються, а швидкості зміщень не змінюються. Збільшення швидкості посування дозволяє зменшити накопичення деформацій до очисного забоя і на сполученні, що зменшує загальне значення конвергенції за очисним вибоєм.

Ключевые слова: конвергенція, підготовча виробка, швидкість посування лави, натурні спостереження.

U. Khalymendyk, A. Baryshnikov

National Mining University, Dnipropetrovs'k

OBJECTIVE LAWS OF GATEROAD DEFORMATION AT DIFFERENT LONGWALL ADVANCE RATE IN SLIGHTLY METAMORPHIZED ROCKS

The results of in-situ studies of gateroads deformation at different longwall face advance rate are presented. It is found that with the rate increasing the displacements of gateroad contour are reduced but the displacement speed is not changed. The advance rate increasing allows for reducing the accumulation of deformations in front of longwall face and at the face-end, that reduces the total value of the convergence behind the face.

Key words: convergence, gateroad, longwall face advance rate, in-situ observations.