

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ КОНТУРА ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ СЛАБОМЕТАМОРФИЗОВАННЫХ ПОРОД

*Ю.М. Халимендик, А.С. Барышников, Государственное высшее учебное заведение
"Национальный горный университет", Украина*

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 раньше включить в работу охранные мероприятия, что уменьшает общее значение конвергенции за очистным забоем.

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:

1. Глубина разработки
2. Физико-механические свойства вмещающих пород
3. Отпор крепи и характер ее взаимодействия с породным массивом
4. Скорость подвигания очистного забоя

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что наиболее противоречивые результаты получены при исследовании влияния скорости подвигания очистного забоя на состояние подготовительных выработок.

Результаты лабораторных исследований состояния массива при отработке лавы, проведенные автором [1] методом физического моделирования, показывают, что с увеличением скорости подвигания очистного забоя до 22 м/сут смещения в 4 м впереди очистного забоя уменьшаются, а скорость смещений – увеличивается. Также уменьшается высота зоны беспорядочного обрушения пород непосредственной кровли.

Натурными исследованиями, проведенными на шахте «Стаханова» [2], установлено, что на участке выработки от 50 м до очистного забоя и -50 м за очистным забоем увеличение скорости подвигания приводит к увеличению скоростей смещений кровли/почвы. Породы кровли представлены песчаниками и песчаными сланцами мощностью от 10 до 30 м с $f=4-6$. Причина увеличения скорости смещений с увеличением скорости подвигания лавы не поясняется.

В работах [3, 4] приведены результаты натурных исследований развития конвергенции выработок в горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса (слабые боковые породы, $f=1,5-3$) при отработке высоконагруженных лав, добывающих около 1300 т/сут. Эти результаты были сравнены с ранее проведенными исследованиями в выработках средненагруженных лав (добыча до 700 т/сут) [5] и сделаны выводы, что при увеличении нагрузки на очистной забой абсолютная величина конвергенции снижается, в основном за счет уменьшения пучения пород почвы. Кроме того, «...область максимальной конвергенции в штреке на участке сопряжения возрастает с 30 (+10 - -20 м) до 45 м (+15 - -30 м)». Методом

ударно-волнового контроля, т.е. косвенно, установлено, что расчетное давление на крепь штрека увеличивается с увеличением нагрузки на очистной забой. Такое проявление геомеханических процессов авторы объясняют на математической модели, которая учитывает вязкопластические свойства пород. В результате моделирования установлено, что с увеличением скорости подвигания лавы увеличивается длина зависающей консоли, что приводит к увеличению нагрузки на крепь штрека и на секции крепи, пучения почвы в лаве и нагрузки, а пучение почвы в штреке снижается «...в силу несоответствия времен обнажения массива и релаксационных процессов (запаздывания последних)». В работе не учитывался отпор крепи выработок при сравнении результатов измерений конвергенции для различных скоростей подвигания забоя. Авторами предлагается классическая модель обрушения пород кровли с зависанием породных консолей, однако, некоторые исследователи [6] отмечают, что в условиях слоистых слабометаморфизованных пород происходит плавное опускание и расслоение пород основной кровли и подбучивание ее разрушенными породами непосредственной.

Результаты натурных исследований коллектива авторов [7-9], проведенных в условиях шахты «Красноармейская-Западная», показывают, что при наличии в кровле мощных слоев крепкого песчаника ($f=9-10$ $m=5-25$ м) увеличение скорости подвигания лавы с 1 до 7 м/сут приводит к возрастанию скорости конвергенции штрека в зоне опорного давления впереди очистного забоя не менее чем в 1,6 раза, а смещений – в 1,4 раза. Исследования проводились в зоне опорного давления впереди лавы, за очистным забоем выработки погашались. Такое проявление горного давления авторы поясняют увеличением длины породной консоли зависающей в выработанном пространстве, а, следовательно, и повышением напряжений в зоне опорного давления.

Для исследования скорости подвигания лавы на состояние выработки в горно-геологических условиях шахты «Западно-Донбасская» авторы [10] использовали математическое моделирование, в результате чего было установлено, что с увеличением скорости подвигания с 2 до 10 м/сут опускание кровли и поднятие почвы выработки уменьшается в 3 и 2 раза соответственно. При этом длина зоны опорного давления сокращается, а напряжения в максимуме увеличиваются.

Натурные исследования, проведенные в условиях шахт Восточного и Центрального Донбасса автором [11], показывают, что при отсутствии мощных прочных породных слоев в кровле выработок интенсивность деформирования выработки снижается. При отходе лавы от разрезной печи увеличение скорости подвигания очистного забоя с 3 до 5,4 м/сут снижает проявления опорного давления в виде вертикальной конвергенции выработки в 2-3 раза.

Автор [12] полагает, что увеличение скорости подвигания очистного забоя лавы приводит к увеличению скорости нагружения массива горных пород. Получена формула, устанавливающая зависимость роста прочности породного образца от прироста скорости нагружения и коэффициента структурной неоднородности среды. Согласно полученной формуле и результатам лабораторных испытаний, для условий породных образцов, взятых на шахте «Шахтерская-Глубокая» (Восточный Донбасс) увеличение скорости нагружения с 0,5 до 1,5 МПа/сек приводит к увеличению прочности образца в 1,4-1,7 раза. Расчетным путем показано, что при снятии стружки угля нагружение элементарного объема массива происходит со скоростью 0,2-0,4 МПа/сек. Автор считает, что это сопоставимо со скоростями нагружения образцов при испытаниях и является приемлемым использование этой формулы для вычисления расчетной крепости пород при моделировании геомеханических процессов, причем прирост скоростей нагружения заменяется приростом скорости подвигания очистного забоя. По результатам моделирования, установлено, что шаг обрушения растет в логарифмической зависимости от скорости подвигания лавы. Статистический анализ, проведенный автором на шахтах украинской части Донбасса [13, 14], показал, что скорость подвигания очистного забоя в диапазоне от 20 до 110 м/сут наиболее влияет на шаг обрушения в условиях антрацитовых шахт восточного Донбасса с высоким уровнем метаморфизма вмещающих пород. В работе непосредственно не рассматривается влияние скорости подвигания очистного забоя на состояние НДС массива вокруг выработки, но показано

увеличение напряжений в окрестности сопряжения при увеличении пролета выработанного пространства.

В работе [15] автором разработана рекурсивная геомеханическая модель, учитывающая реологические свойства массива. Моделирование выполнено для условий наличия в основной кровле песчаника мощностью 7-14 м и прочностью $f=5-6$. По результатам моделирования установлено время релаксации напряжений в кровле выработанного пространства и на сопряжении, а также расположение максимума напряжений в кровле по оси выработки относительно плоскости очистного забоя. На основании установленных параметров автором предложена формула вычисления оптимальной скорости подвигания очистного забоя таким образом, чтобы сопряжение не попало в максимум напряжений, и в то же время напряжения не успели релаксировать, т.е. не начали развиваться значительные деформации вследствие проявления реологических свойств пород. Отсюда следует вывод, что повышение скорости подвигания очистного забоя сокращает время на реализацию деформаций реологического происхождения на сопряжении «лава-штрек» а также «уводит» сопряжение из зоны повышенных напряжений в кровле.

Таким образом, можно сказать, что влияние увеличения скорости подвигания очистного забоя на проявление опорного давления в выработках в различных горно-геологических условиях по данным исследований [1-5, 7-12, 15] отличаются друг от друга, а иногда и абсолютно противоположные. Обобщим их следующим образом:

- 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 [2, 7, 9, 12].

- вследствие увеличения скорости подвигания очистного забоя напряжения в массиве увеличиваются, но смещения уменьшаются [1, 3].

- вследствие увеличения скорости подвигания очистного забоя смещения пород на сопряжении лава-штрек уменьшаются как результат снижения проявлений реологических свойств пород и отодвигания максимума напряжений в кровле выработки в сторону завалу [15].

Исследования [1, 10, 12, 15] выполнено методом математического моделирования. Натурные исследования [2, 7, 9, 11] выполнены для условий крепких боковых пород. Учитывая особенности проведенных исследований и противоречивость отдельных результатов, нам представляется необходимым проведение дополнительных натурных исследований для установления закономерностей деформирования выработок при увеличении скоростей подвигания очистного забоя.

Непосредственными величинами, которые можно зафиксировать при помощи натуральных 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. подвигании 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 ($\gamma H / \sigma_{ce} = 0,45$).



Рис. 1. Схема ведения горных работ по пласту s_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 DBT 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 [16].

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.

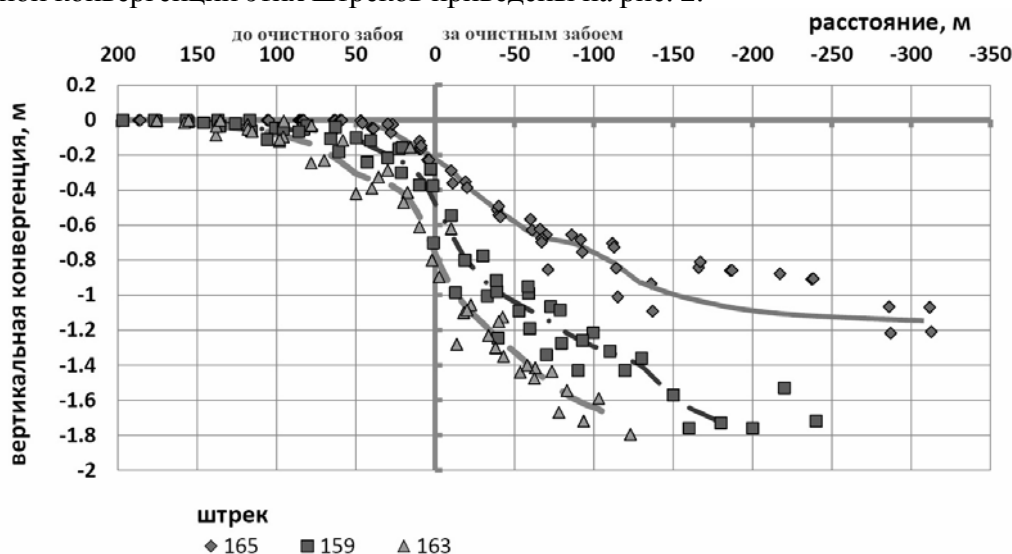


Рис. 2. График вертикальной конвергенции штреков в зависимости от расстояния до очистного забоя.

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

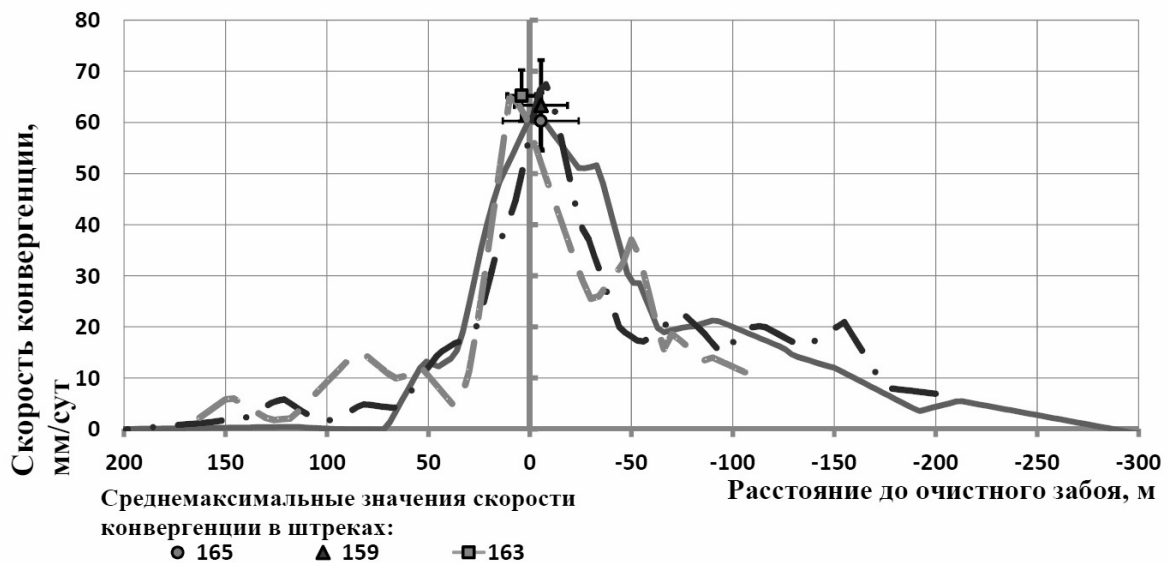


Рис. 3. Графики скорости развития вертикальной конвергенции штреков в зависимости от расстояния до очистного забоя.

Анализ графиков рис. 2 и рис. 3 позволяет утверждать, что при увеличении скорости подвигания очистного забоя снижается ширина зоны проявления опорного давления впереди лавы, а также уменьшается величина вертикальной конвергенции впереди лавы и на сопряжении. Однако скорость деформирования выработки остается примерно одинаковой на участке интенсивного деформирования, то есть от 25 м впереди лавы и до 50-75 м за лавой в пределах погрешности измерений и стандартного отклонения измеренных значений от усредняющей кривой. Разброс среднемаксимальных скоростей смещения во всех штреках не превысил величины стандартного отклонения от усредненного по всем замерным станциям в каждом штреке, а также не превысил 13 % от максимального значения скорости на сопряжении.

Полученные результаты подтверждаются исследованиями процесса конвергенции проф. Прусском. Нами были обработаны приведенные в [17] данные по развитию вертикальной конвергенции в штреках №5 и №4 смежных лав по пласту 405/1 на одной из шахт Польши, полученные способом непрерывных измерений. Горнотехнические условия поддержания штреков были одинаковые. Прочность вмещающих пород составляла $f=3$, глубина заложения – 970-990 м ($\mu H / \sigma_{св} = 0,8$). Скорость подвигания лавы при поддержании штрека №4 составляла 2 м/сут, а при отработке лавы и поддержании штрека №5 – 3 м/сут. Скорости смещений нами были рассчитаны в соответствии с формулой (1). Для нивелирования явления дискретности смещений, кривые скорости конвергенции были сглажены. Графики конвергенции и скорости конвергенции приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно.

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что наблюдается аналогичное влияние увеличения скорости подвигания очистного забоя на процесс деформирования выработки. С увеличением подвигания конвергенция штрека снижается в 1,5-2 раза, а скорости деформирования сохраняются прежними в пределах погрешности. При этом выраженным является смещение восходящей ветви графика скоростей к очистному забою при сохранении характера процесса.

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 же 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 распространятся неупругие деформации. Тогда при увеличении скорости подвигания очистного забоя, ширина зоны упруго деформированного массива в результате воздействия опорного давления не уменьшится, но 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, промежуток 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) это утверждение справедливо – если увеличивать параметр V_c при сохранении $V_U = const$, то соотношение $\frac{\Delta U}{\Delta L}$ должно уменьшаться.

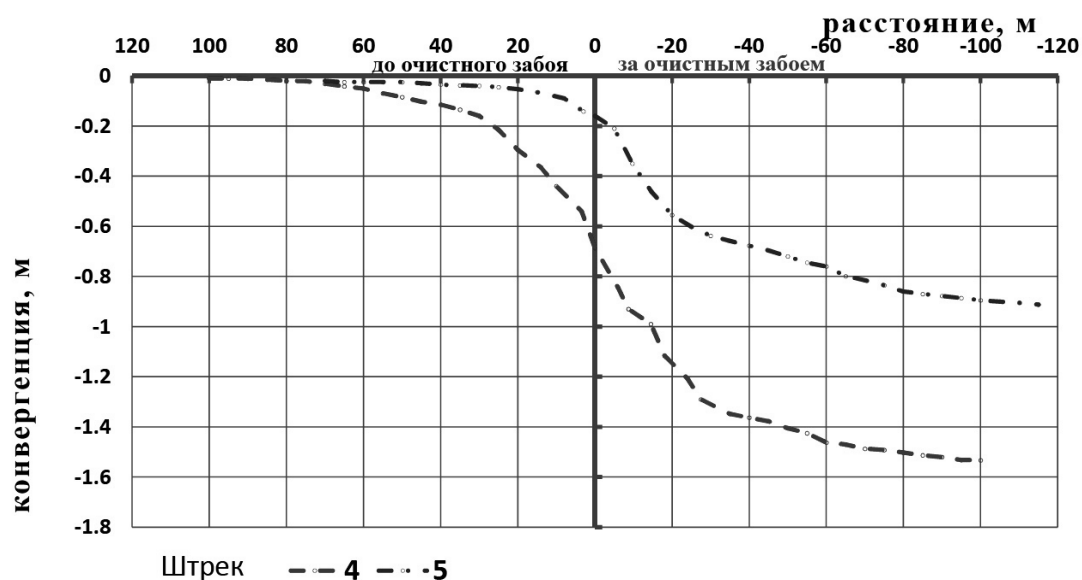


Рис. 4. Графики вертикальной конвергенции штреков в зависимости от расстояния до очистного забоя по данным [17].

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 лавы и -10 – -20 м за ней), где расположены наибольшие скорости деформирования. В зоне затухания конвергенции

реализованные до очистного забоя смещения сохраняются и дальнейший их прирост уже не столь велик, что особенно показательно на примере конвергенции штреков №4-5, измеренной проф. Прусекон. Это означает, что при снижении 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 подработанных слоев пород в кинетическую, то накопленные деформации только добавятся к этим смещениям.

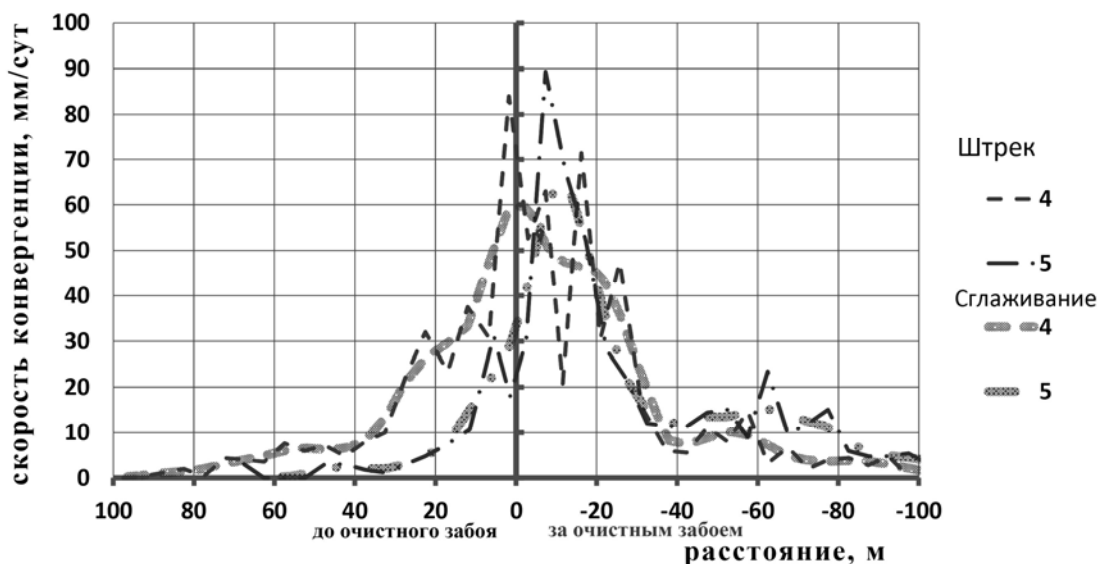


Рис. 5. Графики скорости развития вертикальной конвергенции штреков в зависимости от расстояния до очистного забоя.

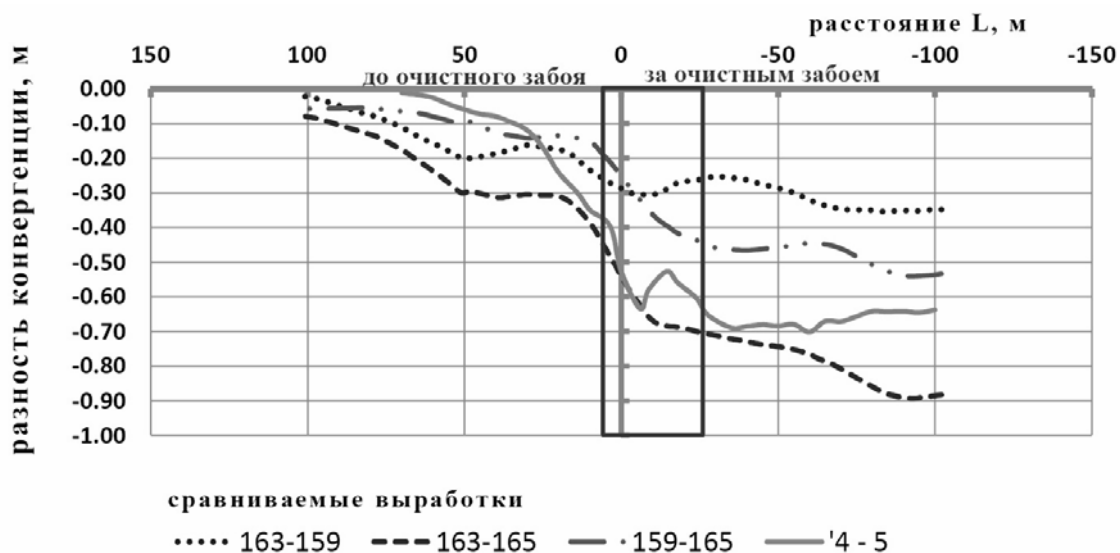


Рис. 6. Разности конвергенции выработок при увеличении скоростей подвигания очистного забоя и в одинаковых горнотехнических условиях

Выводы

1. Натурными исследованиями установлено, что в условиях слабых боковых пород увеличение скоростей подвигания очистного забоя приводит к снижению конвергенции выработки, при этом скорость деформирования при одном и том же паспорте крепления и поддержания остается неизменной.

2. Увеличение скорости подвигания очистного забоя позволяет раньше включить в работу охранные мероприятия – до реализации деформаций впереди очистного забоя и на сопряжении с лавой, что снижает величину общих потерь сечения выработки за очистным забоем.

Список литературы

1. Медведчук Н.Д. Влияние скорости подвигания очистного на проявление горного давления при выемке угольных пластов. - Автореф. дисс. канд. тех. наук, Донецк, 1968.- 27с.
2. Черняк И.Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок / И.Л. Черняк. М.: Недра, 1993. - 256с. С.109
3. Куклин В.Ю. Геомеханическое обоснование параметров способов крепления и охраны выработок в неустойчивых породах при интенсивной отработке пологих угольных пластов [Текст] : Дис... канд. техн. наук: 05.15.11 / Куклин Владимир Юрьевич ; НАН Украины, Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова. - Д., 2003. - 169 л.,
4. Скипочка С. И. Элементы геомеханики угленосного массива при высоких скоростях подвигания лав : Моногр. / С. И. Скипочка, Б. М. Усаченко, В. Ю. Куклин; НАН Украины. Ин-т геотехн. механики им. Н.С.Полякова. - Д. : ЧП "Лири ЛТД", 2006. - 248 с.
5. Скипочка С.И., Геомеханика охраны выемочных штреков в неустойчивых породах: Моногр. / С.И. Скипочка, А.В. Мухин, В.Г. Черватюк. Днепропетровск: НГАУ, 2002. - 125 с.
6. Кучин А.С. Закономерности деформирования земной поверхности и массива слабометаморфизованных горных пород при разработке пологих угольных пластов. [Текст]: дис. д-ра техн. наук: 05.15.01 / ГВУЗ «НГУ». - Днепропетровск, 2012. - 332 с.
7. Байсаров Л. В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок [Текст] : моногр. / Л.В. Байсаров, М.А. Ильяшов, А.И. Демченко. - Д. : Лири, 2005. - 239 с. - ISBN 966-383-012-3
8. Демченко А.И. Разработка и обоснование способов обеспечения устойчивости выработок при интенсивной отработке угольных пластов [Текст] : Автореферат дис... канд. техн. наук: 05.15.02 / Демченко Анатолий Иванович ; НАН Украины, Ин-т физики гор. процессов. - Донецк, 2005. - 140 л.
9. Кольчик Є. І. Геомеханічне обґрунтування стійкості виїмкових виробок при інтенсивній відробці вугільних пластів [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.02 / Є.І.Кольчик ; НАН України, Ін-т фізики гірн. процесів. - Донецьк, 2007. - 34 с.
10. Бузило В.И. Влияние скорости подвигания лавы на состояние прилегающей выработки / В.И. Бузило, А.В. Савостьянов, В.П. Сердюк, А.Г. Кошка, В.Н. Яворский // Матер. междунар. конф. «Форум горняков». – Д.: НГУ, 2008. с. 125-128.
11. Лобков М. І. Розвиток наукових основ прогнозу обвалення порід покрівлі при виїманні лавою пологого пласта : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.15.02 / М. І. Лобков; НАН України, Ін-т фізики гірн. процесів. - Донецьк, 2012. - 36 с.
12. Иванов О. С. Закономерности зміни стійкості підготовчих виробок вугільних шахт з урахуванням швидкості посування вибою лави // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Спеціальність 05.15.09. ДВНЗ «НГУ». Дніпропетровськ – 2011. 160 с.
13. Иванов А. С. Влияние скорости отработки лавы на технические параметры лав в антрацитовых шахтах донбасса. / А.С. Иванов, А.В. Сидельник // 3-тя Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів та студентів “Перспективи освоєння підземного простору”. 2009 с 71-75
14. Иванов А. С. Анализ основных факторов, влияющих на процесс обрушения кровли, в условиях интенсификации горных работ / А.С. Иванов Комаров, В.О. Гвинианидзе, Д.Э. // 7-ма Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів та студентів “Перспективи освоєння підземного простору” 2013 с 42-45
15. Фомичев В. В. Научные основы управления геомеханическими системами с применением рекурсивных методов при подземной разработке месторождений // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Специальность: 05.15.02. ГВУЗ «НГУ», Днепропетровск - 2015. 434 с.
16. Воронин С. А. Использование канатных анкеров в выемочных выработках в условиях слабых боковых пород [Текст] / С. А. Воронин, Ефремов, В. В.Панченко, Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, А.С. Барышников // Уголь Украины № 6, 2013. с. 24-26
17. Prusek S. Metody prognozowania deformacji chodników przyścianowych w strefach wpływu eksploatacji z zawalem stropu. // Prace Naukowe GIG nr 874. Katowice, 2008. 186 s.