

В.И. Бузило, Т.А. Савельева, А.Г. Кошка, В.П. Сердюк, В.А. Савельев

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕРГЕНЦИИ БОКОВЫХ ПОРОД ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

*Исследован характер поведения угольного пласта и вмещающих пород в лавах при выполнении производственных процессов для сложных геомеханических условий шахт Западного Донбасса. Приведены результаты шахтных исследований величин и скоростей сближения кровли и почвы в рабочем пространстве лавы.*

---

### ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕРГЕНЦІЇ БІЧНИХ ПОРІД ПРИ ВЕДЕННІ ОЧИСНИХ РОБІТ В УМОВАХ ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

*Досліджено характер поведінки вугільного пласта і вміщуючих порід у лавах при виконанні виробничих процесів для складних геомеханічних умов шахт Західного Донбасу. Наведено результати шахтних досліджень величин і швидкостей зближення покрівлі та підшови в робочому просторі лави.*

---

### STUDY OF THE WALL ROCK CONVERGENCE WHILE STOPING OPERATIONS IN THE WESTERN DONBAS MINES

*The character of coal seam and adjacent rock behavior within the faces while performing production processes for the complicated geomechanical conditions of the Western Donbas mines is investigated. Results of the underground investigations of the value and the rates of the roof and floor convergence withing the face operating space are given.*

---

#### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из основных направлений экономического и социального развития Украины является повышение эффективности работы угледобывающей отрасли за счет увеличения объемов добычи угля, улучшения его качества и повышения уровня рентабельности шахт. Для решения этих задач, наряду с совершенствованием техники и технологии, необходимо реконструировать шахтный фонд в направлении концентрации горных работ, улучшения планировки подготовительных выработок с целью сокращения трудоемкости и стоимости их поддержания, повы-

шения эффективности работы проходческого и добычного оборудования.

Подземная отработка угольных пластов на шахтах Западного Донбасса осложнена следующими факторами:

– сложностью горно-геологических условий отработки. Вмещающие угольные пласты породы характеризуются низкой механической прочностью;

– склонностью к размоканию, расслоению и пучению. Устойчивость боковых пород – от средней устойчивости до весьма неустойчивых;

– наличием дизъюнктивных и пликативных нарушений, сопровождающихся зонами трещиноватых и ослабленных пород;

– сложными гидрогеологическими условиями. Основную роль в обводнении шахт играет водоносный горизонт бучакских песков, в котором формируется основная часть водных запасов. Тонкозернистые бучакские пески обладают пльвунными свойствами и слабой водоотдачей, при прорывах в горные выработки представляют большую опасность. Для защиты от прорывов бучакских обводненных песков в горные выработки оставляются целики угля, в которых теряется часть запасов. Высокоминерализованные (от 40,3 до 82,6 г/л) шахтные воды способствуют выходу из строя крепи, оборудования и механизмов;

– наличием сближенных угольных пластов (мощность междупластья изменяется от 5,0 до 50,0 м);

– наличием крепких и вязких углей в пластах, коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протоdjeяконова  $f = 3 - 4$ , сопротивляемость резанию больше 250 кН/м;

– взрываемостью угольной пыли и газа метана, не склонных к самовозгоранию.

Как известно, при подземной разработке в процессе извлечения угля происходит сдвигание горных пород. Эти изменения вызывают значительные изменения в поле гравитационных сил с образованием опорных зон, в которых напряжения в несколько раз превышают напряжения нетронутого массива. Изменения в массиве горных пород, зависящие от природных, горнотехнических и производственных факторов, приводят к значительным трудностям в процессе эксплуатации горных выработок и ведения очистных работ. Вредное влияние опорного давления, как показывает опыт разработки угольных пластов, проявляется не только в плоскости пласта, но и в породах на значительном удалении от него. Выработки, попадающие в зону опорного давления, в отдельных случаях эксплуатировать невозможно. Поэтому проблема проведения, поддержания, охраны и ремонта горных выработок в настоящее время является весьма актуальной.

Особо остро проблема охраны подготовительных выработок касается шахт Западного Донбасса, где угленосная толща сложена слабометаморфизованными породами [1, 2]. Отработка угольных пластов на шахтах в основном производится длинными столбами (длина столба 1000 – 1200 м) спаренными и одинарными лавами. При этом в рабочем состоянии одновременно поддерживается примерно 8 – 12 км выемочных выработок. Известные способы охраны выработок (закладка выработанного пространства, химическое закрепление боковых пород, выкладка бутовых полос или полос из плит БЖБТ на сопряжениях лав со штреками и др.) весьма дорогостоящи. В связи с этим были проведены ряд исследований на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» с целью их дальнейшего проведения и разработки рекомендаций по охране и поддержанию подготовительных выработок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Целью работы* является установление характера, закономерностей и параметров проявления горного давления в лаве на основе проведенных шахтных исследований конвергенции в конкретных горногеологических условиях.

В качестве объекта исследования использованы очистные выработки шахты «Степная» при выемке пласта  $C_6$ .

Непосредственной кровлей пласта  $C_6$  на большей части шахтного поля служит алевролит мощностью от 2 до 10 м, который характеризуется как относительно устойчивый [3]. Предел прочности на сжатие алевролита составляет 150 – 540 кН/см<sup>2</sup>, временное сопротивление растяжению перпендикулярно слоистости – 15 – 44 кН/см<sup>2</sup>, в воде он разрушается через 1 – 5 суток. Нижняя часть толщи алевролита отделяется по прослойкам и линзам от песчано-глинистого алевролита на высоту до 3 м и обрушается через 3 – 5 м. Верхняя часть толщи, вместе с линзами песчаника и вы-

шележащим аргиллитом, представляет основную кровлю.

Основная кровля характеризуется как среднеобрушаемая. Как в разрезе, так и по площади поля наблюдаются частые фациальные замещения пород кровли. В бремсберговой части шахтного поля алевролит переходит в среднезернистый песчаник массивной текстуры. В восточном направлении песчаник становится слаботрещиноватым и является непосредственной и основной кровлей, которая характеризуется как устойчивая. В зонах замещения внутри- и межслойные связи ослаблены. В этих местах часто происходят аварийные посадочные циклы в очистных забоях. В зонах тектонических нарушений породы кровли имеют повышенную трещиноватость.

Непосредственная почва пласта представлена алевролитом мощностью до 1,25 м, который в верхней части комковатый и слабоустойчивый. В нижней части слоя алевролит слоистый за счет прослоев песчаника и слюды по плоскостям наложения. В нормальных условиях, при естественной влажности алевролит среднеустойчивый с пределом прочности на сжатие 150 – 540 кН/см<sup>2</sup>. При увлажнении прочность его значительно снижается, стойки вдавливаются в почву и она «пучится». В некоторых подготовительных выработках скорость пучения достигает 0,2 м в месяц. Основная почва представлена массивным песчаником, который в некоторых местах переходит в мелкозернистый, слюдистый. Устойчивость основной почвы средняя.

На основании вышеизложенного следует, что породы кровли и почвы в нормальных условиях относятся к среднеустойчивым, а при обводнении и в зонах нарушений – к неустойчивым и весьма неустойчивым.

При наблюдениях за состоянием, устойчивостью и движением боковых пород в призабойном пространстве особое внимание обращалось на трещины, заколы, обрезы, корожение кровли и вывалы; фиксировался момент появления нарушения

кровли; отмечалось, на каком расстоянии от забоя оно появилось. При этом измеряются ширина трещин и смещение пород по ним. Изучается характер деформаций и обрушения пород, кусковатость, мощность обрушающихся пород, последовательность обрушений, влияние нарушений кровли в призабойном пространстве на характер ее обрушения. Во всех случаях фиксируется угол встречи очистного забоя с направлением главенствующей трещиноватости пород кровли, а также наличие кливажа в угольном пласте.

Измерения величин и скоростей сближения боковых пород выполнялись при выемке угля, передвижке крепи и отсутствии производственных процессов. При этом определялись зоны влияния производственных процессов на величину и скорость конвергенции боковых пород. В методике шахтных наблюдений использовались положения, изложенные в работах [4, 5].

Исследования конвергенции боковых пород при выемке пласта  $C_6$  в 117 лаве проводились согласно положений рабочей методики на замерных станциях, расположенных в средней части лавы (секция 53) и на концевых ее участках (секции 5 и 97).

В качестве измерительного инструмента использовались измерительные стойки СУИ-П с насадками и индикаторами часового типа ИЧ-10. Первая измерительная стойка устанавливалась на расстоянии 0,1 м от забоя между перекрытиями 52 и 53 секций, а вторая – за лавным конвейером на расстоянии 1,2 м от забоя между этими же секциями. Стойки устанавливались на специальные репера, которые забивались в кровлю и почву пласта. Показания индикатора снимались через каждые 15 с. Отсчет времени осуществлялся секундомерами, которые были предварительно сверены и установлены синхронно. В случаях, когда измерительная стойка исчерпывала свой диапазон плавного измерения, оператор посредством цангового зажима быстро перестраивал измерительную стойку, укорачивая ее примерно на 9 – 10 мм. При под-

ходе комбайна к стойке, расположенной у забоя, очистные работы останавливались, стойка переставлялась позади комбайна, и измерения продолжались. Расположение же второй стойки СУИ-II позволяло наблюдать за конвергенцией боковых пород в момент прохода комбайна. Для непрерывного контроля конвергенции при отходе комбайна две секции механизированной крепи, между которыми была установлена стойка, к забою не задвигались. Таким образом, велось непрерывное измерение конвергенции боковых пород за весь период выемочного цикла с увязкой расстояния до комбайна.

В результате измерений установлено, что скорость сближения пород кровли и почвы в середине лавы до подхода комбайна на расстояние до 3 м остается постоянной (фоновой) и равняется 0,02 – 0,06 мм/мин. Когда комбайн подходит ближе 3 м, скорость конвергенции начинает увеличиваться и до перестановки стойки достигает 0,8 мм/мин. После перестановки стойки и продолжения движения комбайна скорость конвергенции продолжает быстро расти и на расстоянии 8 – 10 м от комбайна составляет 1,6 – 1,8 мм/мин. По мере удаления комбайна от измерительной стойки, скорость конвергенции снижается и на расстоянии 25 – 30 м достигает фоновой величины (0,06 – 0,08 мм/мин).

Анализ полученных результатов показывает, что протекание процессов сдвижения вмещающих пород в районе выемки пласта комбайном происходит с различной скоростью. Скорость конвергенции возрастает с уменьшением расстояния до комбайна и достигает максимального значения после прохода исполнительного органа. Отмеченный эффект объясняется опусканием зависающих пород кровли. Такая же закономерность изменения скорости конвергенции сохранялась и при замерах на второй стойке СУИ-II, т.е. на расстоянии 1,2 м от забоя.

Общая величина конвергенции боковых пород измерялась как при ведении очистных работ (рис. 1), так и при остановках

комбайна на различных расстояниях от него (рис. 2).

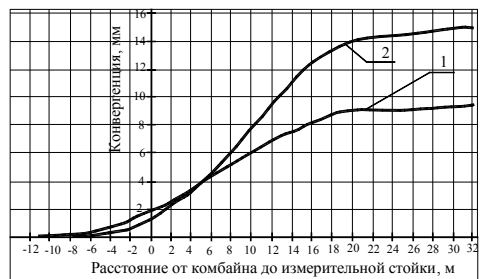


Рис. 1. Зависимость величины конвергенции боковых пород от расстояния до выемочного комбайна при ведении очистных работ: 1 – стойка СУИ-I установлена на расстоянии 0,1 м от линии забоя; 2 – стойка СУИ-II установлена на расстоянии 1,2 м от линии забоя

Установлено, что конвергенция пород по мере удаления от уступа, образованного комбайном, монотонно затухает и удовлетворительно аппроксимируется экспонентой (рис. 2). Это обстоятельство хорошо укладывается в современные представления о закономерностях долговременной прочности горных пород, в соответствии с которыми прочностные характеристики пород в этих условиях уменьшаются по экспоненциальному закону, а скорость их затухания пропорциональна напряженному состоянию массива пород.

В приведенных на рис. 1 графиках не включена суммарная конвергенция пород за периоды временных остановок комбайна. Такая интерпретация результатов наблюдений позволяет значительно уменьшить влияние временного фактора на определение искомой зависимости.

Зависимости, представленные на рис. 2, построены по данным измерений, которые проводились на различных расстояниях от технологического уступа, образованного при выемке пласта комбайном, а именно: 10; 15; 24 и 33 м при остановленных работах по выемке. Анализ этих зависимостей свидетельствует о незначительном влиянии уступа, образованного комбайном, на

конвергенцию горных пород, удаленных на большее расстояние от него. Зона влияния уступа распространяется вдоль забоя на расстоянии от 3 до 8 м впереди него и около 20 – 25 м позади. За пределами этой зоны конвергенция имеет фоновое значение. Причем позади комбайна фоновая величина конвергенции несколько выше, чем впереди комбайна.

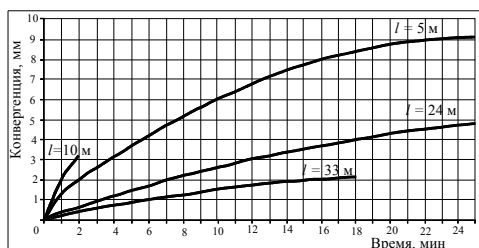


Рис. 2. Зависимость величины конвергенции вмещающих пород от расстояния до комбайна при остановке очистных работ: 1 – стойка СУИ-I установлена на расстоянии 0,1 м от линии забоя; 2 – стойка СУИ-II установлена на расстоянии 1,2 м от линии забоя

Сравнение результатов измерений показывает, что суммарная величина сближения пород в призабойном пространстве (рис. 1, кривая 2) в зоне влияния технологического уступа примерно на 30% больше, чем у забоя (рис. 1, кривая 1). Такая разница объясняется увеличением расстояния между стойкой СУИ-II и забоем после прохода комбайна и тем, что крепь еще не действует на породы кровли.

Измерения скоростей и величин конвергенции боковых пород производились и на замерных станциях, расположенных на концевых участках лавы (5 и 97 секции). Установлено, что скорость и общая величина сближения боковых пород на концевых участках на 15 – 25% выше, чем в середине лавы. Это объясняется наличием зон повышенного горного давления на концевых участках лавы, образованных в результате наложения зон опорного давления от лавы и подготовительной выработки.

В результате исследований величин и скоростей конвергенции пород кровли и почвы в лаве установлены еще некоторые закономерности:

- зона интенсивных сближений боковых пород образовывается не только за счёт выемки угля, но и за счет периодической разгрузки комплектов механизированной крепи при их передвижке, т.е. «топтанья» пород непосредственной кровли;

- на изменение величин и скоростей конвергенции вмещающих пород существенное влияние оказывает скорость подачи выемочного комбайна, а именно, чем больше скорость подачи комбайна, тем больших значений достигают величина и скорость сближения пород. Так, например, скорость конвергенции вне зоны работы комбайна (т.н. фоновая скорость) составляла 0,02 – 0,04 м/мин при скорости подачи выемочной машины 1,8 – 2,5 и 0,06 – 0,08 м/мин при скорости подачи 3,3 – 3,5 м/мин;

- в некоторых случаях наблюдался всплеск величины и скорости конвергенции впереди технологического уступа, что объясняется раздавливанием уступа из-за высокой концентрации напряжений в угольном массиве;

- скорость конвергенции пород значительно возрастает при подходе комбайна к нише на расстояние менее 7 – 8 м, причем в 1 – 2 м от ниши этот параметр достигает максимальных величин (0,86 – 1,52 мм/мин) в зависимости от скорости подачи комбайна. В момент зарубки комбайна в подготовительную выработку, скорость конвергенции несколько снижается, что объясняется наличием зоны отжима угля на сопряжении машинной части лавы со штреком.

## ВЫВОДЫ

Подытожив приведенные выше результаты исследований конвергенции боковых пород в рабочем пространстве лавы, можно сделать следующие выводы:

- процесс сдвижения боковых пород на концевых участках лавы характеризуется

большей интенсивностью, чем в середине очистного забоя, поэтому при разработке технологической схемы отработки пластов в сложных горно-геологических условиях необходимо предусмотреть комплекс мероприятий, направленных на усиление крепления сопряжении лавы с подготовительными выработками;

– конвергенция боковых пород значительно возрастает при увеличении скорости

подачи выемочной машины, поэтому при подходе комбайна к нише или треку на расстоянии ближе 8 м скорость подачи комбайна не должна превышать 1,5 – 2,0 м/мин;

– для снижения конвергенции пород передвижку концевых секций механизированной крепи и головок конвейера необходимо по возможности осуществлять при максимальном удалении комбайна от сопряжений.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Струев М.И. Геологическое строение и угленосность Западного Донбасса / М.И. Струев, Н.Ф. Подгорнова // Вопросы развития угольной промышленности Западного Донбасса. – М.: Недра, 1965. – 340 с.

2. Балановский В.Ф. Угольные ресурсы Западного Донбасса / В.Ф. Балановский // Вопросы развития угольной промышленности Западного Донбасса. – К.: Техника, 2012. – С. 8 – 10.

3. Геологический паспорт шахты «Степная» / Производственное объединение по добыче угля. – Павлоград: ПО «Павлоградуголь», 1976. – 123 с.

4. Якоби О. Практика управления горным давлением / О. Якоби. – М.: Недра, 1987. – 566 с.

5. Ардашев К.А. Методы и приборы для исследования проявлений горного давления: справочник / Ардашев К.А., Ахматов В.И., Катков Г.А. – М.: Недра, 1981. – 129 с.

## ОБ АВТОРАХ

Бузило Владимир Иванович – директор Горного института, д.т.н., профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

Савельева Тамара Степановна – к.т.н., доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин Национального горного университета.

Кошка Александр Григорьевич – к.т.н., доцент кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

Сердюк Владимир Петрович – к.т.н., доцент кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета

Савельев Владимир Андреевич – старший преподаватель кафедры программного обеспечения компьютерных систем Национального горного университета.