

УДК 622.281

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ИХ ПОВТОРНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

**Байсаров Л.В., Ильяшов М.А., Грицай В.Ф., Болбат В.А.**  
(ОАО УК шахта «Красноармейская-Западная №1»,  
г. Красноармейск, Украина),  
**Назимко В.В.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

*На підставі шахтних інструментальних спостережень за стійкістю підготовчих виробок та комп'ютерного моделювання обґрунтовані прості заходи по підвищенню стійкості виробок для їхнього повторного використання.*

*Actual measurements and computer simulation have been used to develop new cheap technology for reusing and maintaining entry stability during longwall mining.*

### ВВЕДЕНИЕ

Поддержание выемочных выработок вслед за движущейся лавой является весьма актуальной проблемой в связи с необходимостью обеспечения прямого проветривания очистных забоев, плановая нагрузка на которые достигает 5-7 тысяч тонн в сутки и более. Составной и часто сопутствующей частью этой проблемы является повторное использование выемочных выработок. Это позволяет снизить объем проходческих работ, себестоимость угля и трудоемкость подземных работ в целом, а также ускорить темпы подготовки новых запасов.

Вместе с тем проблема повторного использования выемочных выработок обостряется с ростом глубины разработки и ухудшением горно-геологических условий. Типичным примером является шахта «Красноармейская-Западная №1», которая достигла глубины 750 м. Практика показала, что на такой

глубине конвейерный штрек, пройденный в породах средней прочности, теряет устойчивость и через 6-8 месяцев еще до начала работы очистного забоя требуется его перекрепление. В результате отработки лавы с одной стороны выработка уменьшает свою высоту до 1,6 м и менее, что требует ее восстановления для повторного использования [1]. Однако работы по восстановлению весьма трудоемки и не поддаются механизации. В связи с этим поиск резервов в данном направлении является весьма актуальной задачей.

### ОПЫТ КРЕПЛЕНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ НА ШАХТЕ

На рис. 1 показана типичная планировка горных работ при отработке лавы обратным ходом и поддержании конвейерного штрека вслед за лавой с целью его повторного использования. Вторая южная лава центральной панели блока №8 отрабатывает пласт мощностью 1,4-1,7 м. Непосредственная кровля пласта представлена алевролитом мощностью 0,4-7,0 м имеющим прочность на одноосное сжатие 50 МПа. Выше залегает прочный песчаник. В непосредственной почве расположен такой же прочности алевролит мощностью 0,5-0,85 м, ниже расположен

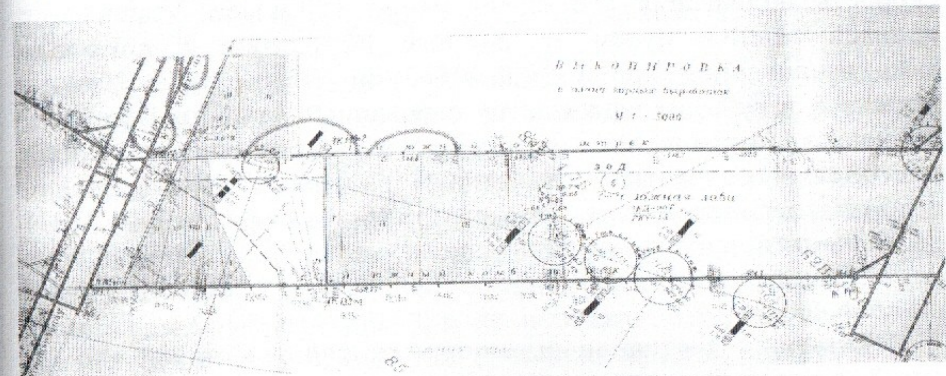


Рис. 1. Фрагмент плана горных выработок в окрестности 2-й южной лавы центральной панели блока №8



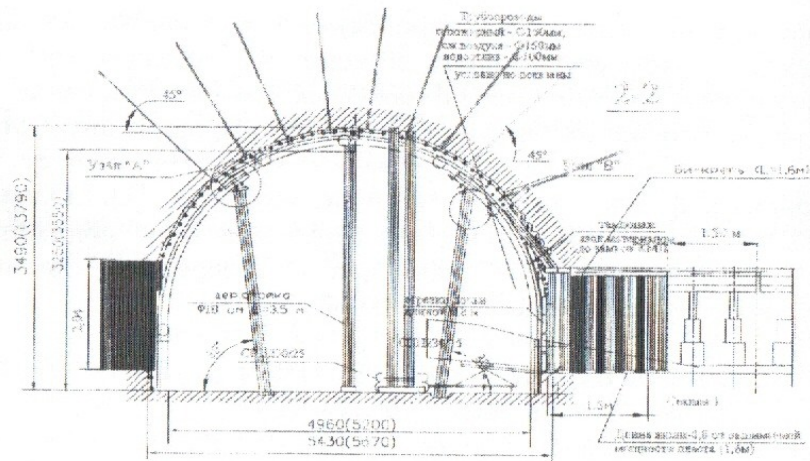


Рис. 2. Типовой паспорт крепления повторно используемого выемочного штрека

слой песчаника. В зоне влияния очистных работ породы кровли и почвы разрушаются, причем опускания кровли достигают 1,0-1,5 м а пучение почвы 1,3-2,0 м. Длина лавы 300 м, средняя скорость подвигания составляет около 150 м/мес. Управление кровлей ведется путем ее полного обрушения с помощью механизированной крепи ЗКД-90Т. Сопряжение конвейерного штрека с лавой поддерживается с помощью тумб из бетонных блоков или литой полосы. Крепление выработки осуществляется на отдельных участках податливой рамной арочной крепью, которая комбинируется с анкерами, как показано на рис. 2. На части протяженности штрек закреплен только анкерной крепью. За лавой в сечение такого участка вписывают для подстраховки рамную крепь.

Типичное состояние выемочной выработки приведено на рис. 3, а результаты измерения конвергенции на контуре штрека на рис. 4. Кривые «ряд 1» и «ряд 2» отражают состояние подготовительной выработки при разном положении очистного забоя. Видно, что, несмотря на усиленное крепление, выработка

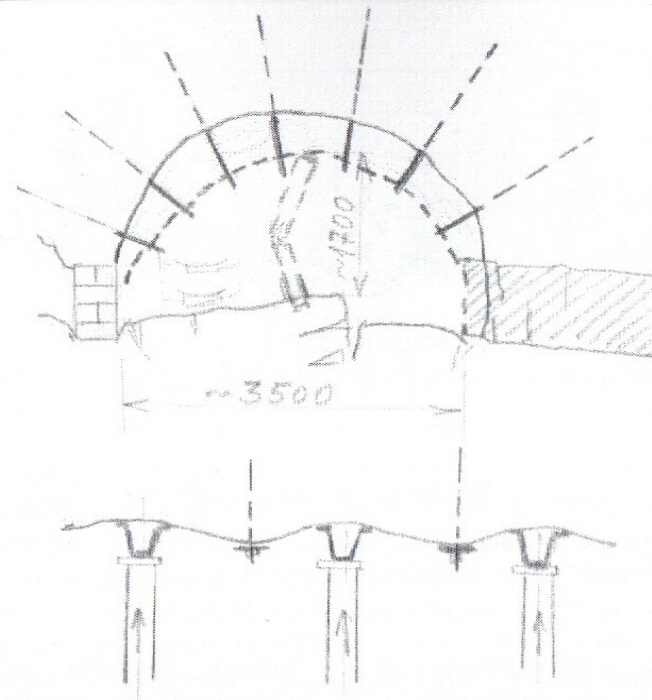


Рис. 3. Типичное состояние сечений подготовительных выработок

после прохода лавы теряет практически 50% своего сечения. Так при первоначальной ширине и высоте выработки, равных 5000 мм и 3300 мм, габариты сечения уменьшаются до величин, составляющих примерно 3500 мм и 1700 мм соответственно. Видно также, что, несмотря на то, что сталеполимерные анкеры являются по своей природе жесткой крепью, они обеспечивают определенную податливость, управляя расслоением кровли. Так на нижнем фрагменте рис. 3, выполненного вдоль оси выработки по ее кровле, заметно как участки кровли, закрепленные анкерами, опускаются на 100-150 мм ниже, чем участки, усиленные жесткими ремонтинами.

В целом благодаря веерному расположению анкеров в сводовой части штрека реализуется полезный эффект



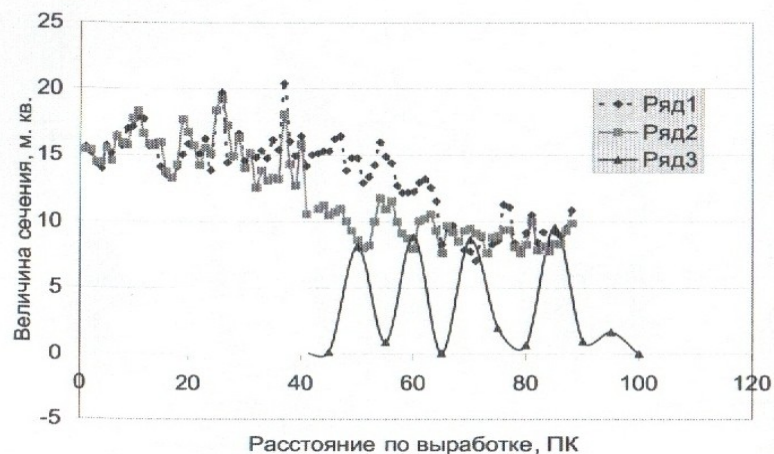


Рис. 4. График изменения площади сечения конвейерного штрека по мере подвигания 2-й южной лавы блока №8

самозаклинивания разрушенных пород в зоне неупругих деформаций, что приводит к управляемому их расслоению и опусканию в полость выработки под действием активного горного давления [2, 3, 5]. Однако главным положительным моментом эффекта самозаклинивания является то, что при смещениях кровли порядка 1 м и более она не обрушается в полость выработки вслед за лавой. Практика работы угольных шахт западных стран показывает, что в выработках прямоугольного сечения кровля, закрепленная анкерами, обрушается немедленно после прохода лавы и ни о каком повторном использовании выработки не может быть и речи. Именно благодаря сводовой форме поперечного сечения выработки обеспечивается управляемое опускание кровли на величину 1 м и более, несмотря на применение жестких сталеполлимерных анкеров, качество закрепления которых не всегда удовлетворительное.

Обследование состояния выработок и структуры вмещающих пород, а также результатов инструментальных

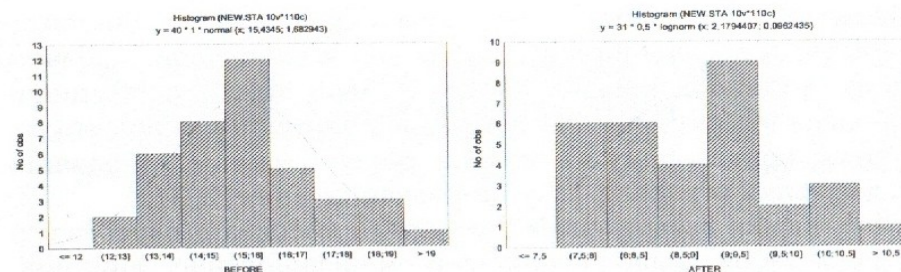


Рис. 5. Распределения величины сечения выработки в свету до (слева) и после (справа) активных сдвижений

наблюдений за смещениями на контуре показали, что величина конвергенции пород на контуре выемочной выработки зависит не только от прочности вмещающих пород, вида крепи и ее несущей способности, но также и от периодики обрушения основной кровли при отработке очистного забоя, а также случайного разброса отпора рамно-анкерной крепи. Это хорошо видно на рис. 5, где приведены распределения величины площади поперечного сечения в свету до и после активных сдвижений пород за движущейся лавой. Величины площади поперечного сечения на участке выработки, поддерживаемой в нетронutom массиве, распределены по нормальному закону. Средняя величина площади сечения составляет  $15,43 \text{ м}^2$ , минимальная  $12,56 \text{ м}^2$ , максимальная  $19,26 \text{ м}^2$ . При этом стандартное отклонение составляет  $\pm 1,68 \text{ м}^2$ . После активных сдвижений массива средняя величина площади сечения уменьшается до  $8,88 \text{ м}^2$ , минимум и максимум площади равны соответственно  $7,6 \text{ м}^2$  и  $10,5 \text{ м}^2$ . При этом распределение несимметрично, а его стандартное отклонение составляет  $\pm 0,85 \text{ м}^2$ , что в два раза меньше соответствующего отклонения в нетронutom массиве.

Этот результат весьма важен для практики и свидетельствует о том, что в результате влияния активных сдвижений позади движущегося очистного забоя необратимые смещения на контуре подготовительной выработки перераспределяются так, что разброс площади сечения



уменьшается, причем его распределение становится несимметричным, приобретая тенденцию к смещению в область меньших размеров. Надо полагать, что такая особенность обусловлена механизмом необратимых сдвижений пород вокруг выработки, причем одну из главных ролей в саморегулировании этих сдвижений играет эффект самозаклинивания [2, 3].

Для оценки геомеханики сдвижений массива в окрестности очистного забоя было выполнено моделирование динамики обрушения кровли вслед за подвиганием очистного забоя с помощью модели, разработанной ранее [4]. Известно, что обрушения кровли вслед за очистным забоем протекает под действием растягивающих и касательных напряжений. Поэтому главное внимание уделялось пределу прочности на растяжение, причем в процессе перехода от прочности в образце к прочности в массиве учитывались коэффициенты структурного ослабления. Величина этого коэффициента изменяется в широких пределах (от 0,7 до 0,01 и менее) и зависит в основном от близости участка массива к геологическому нарушению. Максимальная величина коэффициента приурочена к дизъюнктивам. На фрагменте плана горных выработок хорошо заметно множество малоамплитудных нарушений, пересекающих конвейерный и вентиляционный штреки, а также поле выемочного столба 2-й южной лавы блока №8.

На рис. 6 показано распределение приведенной прочности пород кровли по площади выемочного столба лавы. Видно, что приведенная прочность изменяется от 0,001 МПа до 0,06 МПа, что обусловлено изменчивостью мощности песчаника в кровле и влиянием малоамплитудной нарушенности. Учет реального распределения прочности кровли отрабатываемого угольного пласта позволяет обеспечить необходимую достоверность моделирования проявлений горного давления.

На рис. 7 и рис. 8 показаны перераспределения горного давления в результате отработки первого участка выемочного столба 2-й южной лавы. Поскольку лава еще не отошла на достаточное расстояние от разрезной печи, концентрация напряжений в зоне наложения динамического и остаточного

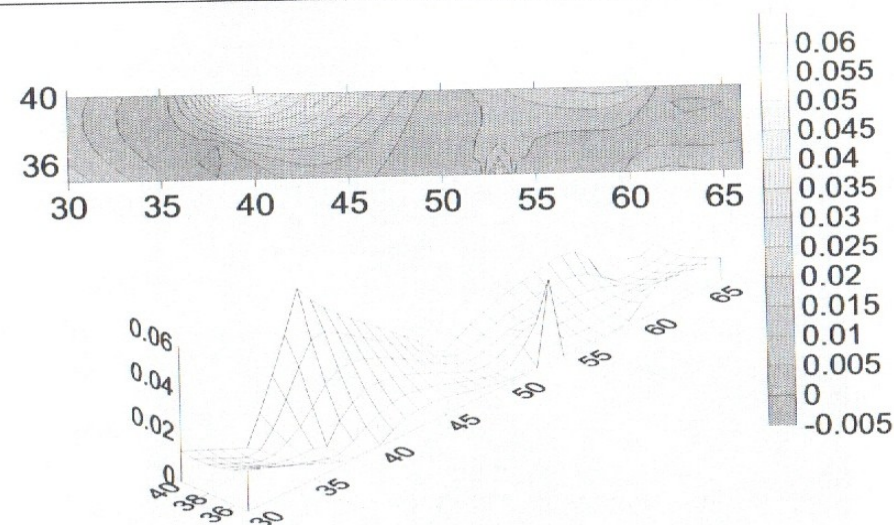


Рис. 6. Распределение прочности кровли в пределах выемочного поля 2 южной лавы центральной панели блока №8

опорного давлений невысока и не превышает 2,0. Наоборот, в результате отработки второго участка выемочного столба формируется целик, концентрирующий давление в зоне наложения со стороны ранее выработанного пространства до 3,0, что отчетливо заметно на рис. 8. Эти распределения горного давления являются важной исходной информацией для оценки устойчивости кровли в очистных и подготовительных выработках.

На рис. 9 показана периодика обрушения кровли вслед за очистным забоем 2-й южной лавы центральной панели блока №8 с учетом реальной скорости ее подвигания. Можно сделать вывод о том, что величина и характер зависаний и обрушений кровли по мере подвигания очистного забоя существенно изменяются, что обусловлено изменчивостью прочности вмещающих пород. Так в начале при отходе лавы от разрезной печи произошла первая посадка основной кровли, причем высота обрушения подработанной толщи достигла почти предельно возможной,



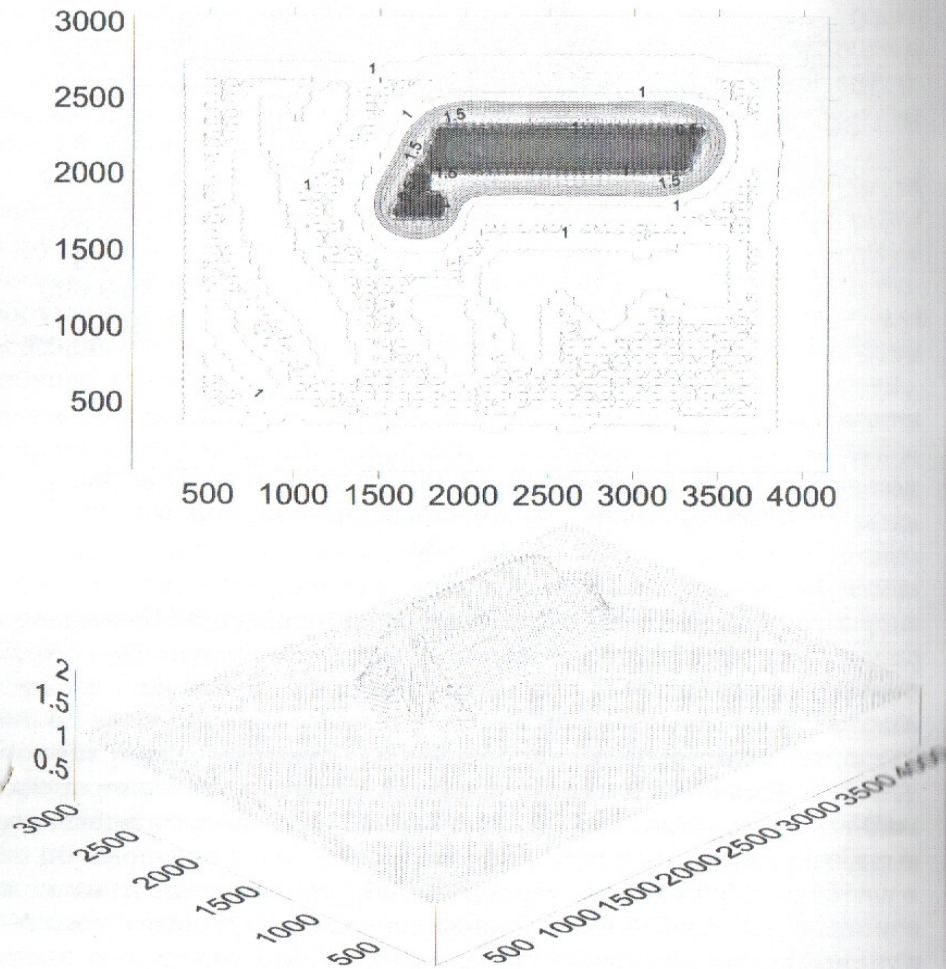


Рис. 7. Распределение горного давления в центральной панели блока №8 после отработки первого выемочного участка 2-й южной лавы

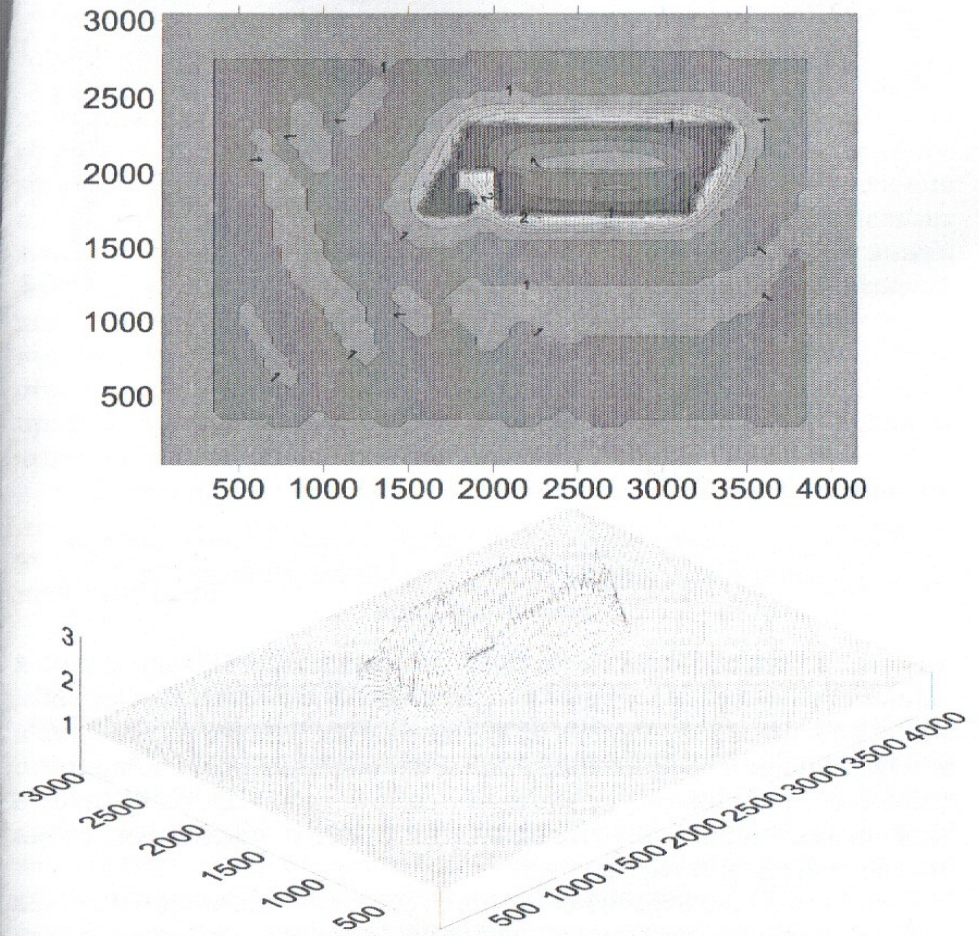


Рис. 8. Распределение горного давления в центральной панели блока №8 после отработки второго выемочного участка 2-й южной лавы



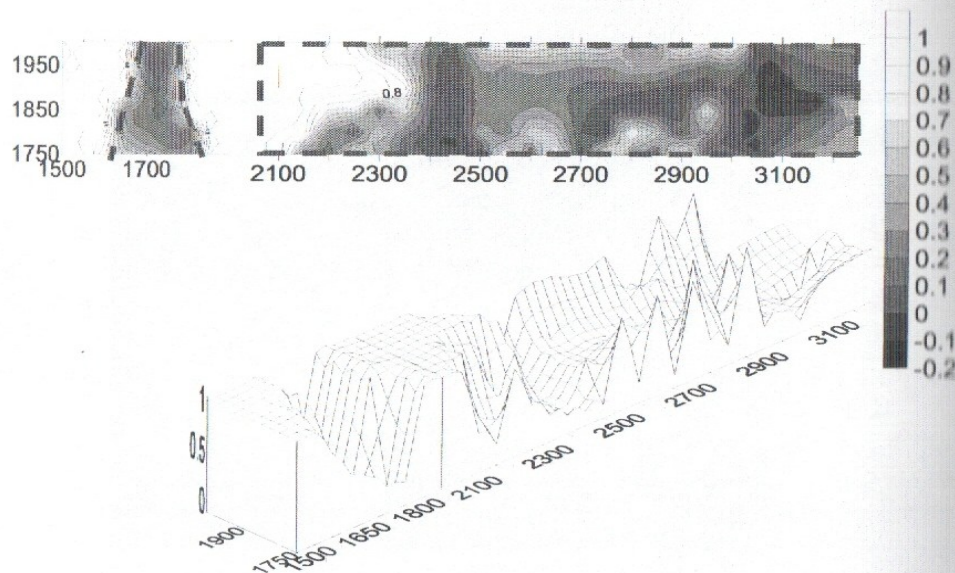


Рис. 9. Динамика обрушений кровли вслед за движущимся очистным забоем по данным математического моделирования

которая в большинстве случаев не превышает 20-30 вынимаемых мощностей пласта, в данном случае около 35-40 м. После того, как очистной забой вошел в зону малоамплитудного нарушения и его амплитуда в средней части лавы превысила 1 м, было принято решение остановить очистной забой и нарезать новую монтажную печь на расстоянии 160 м за пределами серии малоамплитудных нарушений.

В процессе отработки нового отрезка выемочного столба наблюдается значительное зависание кровли в верхней части лавы при ее отходе от разрезной печи. Затем происходит обрушение. Скорее всего, оно индуцировано серией малоамплитудных нарушений со стороны вентиляционного штрека. В последующем будет наблюдаться еще две зоны обрушения массива почти на всю возможную высоту. Несмотря на крайне неоднородное распределение приведенной прочности

пород кровли степень зависания пород со стороны конвейерного штрека несколько выше, чем со стороны вентиляционного. Это естественно, в силу влияния ранее выработанного пространства 1-й южной лавы.

Текущие наблюдения за реальным проявлением горного давления в очистном забое и примыкающих выемочных выработках подтверждают высокую степень достоверности моделирования. В частности, сопоставление графиков изменения площади сечения на конвейерном штреке с прогнозным графиком обрушений подработанной толщи вдоль линии конвейерного штрека на рис. 4 свидетельствует о тесной корреляции процессов обрушения (ряд 3) и конвергенции вмещающих пород на контуре выработки. Количество обрушений-зависаний и пиков на графике конвергенции примерно равны. Кроме того, достаточно близки периоды колебания конвергенции и обрушений.

Полученные результаты являются геомеханической основой для выбора рациональных мероприятий по повышению устойчивости выемочных штреков с целью их повторного использования.

### ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ СЕЧЕНИЯ И УСИЛЕНИЮ КРЕПИ ВЫРАБОТКИ ДЛЯ ЕЕ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Как показали результаты инструментальных наблюдений за конвергенцией пород вокруг конвейерного штрека 2-й южной лавы, свыше 90% деформаций протекают позади очистного забоя. При этом смещения пород вокруг выработки в целом стабилизируются после отхода лавы на расстояние 200-300 м, что составляет примерно двухмесячное подвигание очистного забоя. Ранее выполненные исследования механизма необратимых сдвижений на контуре подготовительной выработки показали, что попытки проводить перекрепление сечения выработки или подрывку почвы в пределах зоны активных сдвижений (то есть на указанном участке длиной 200-300 м) приводят к негативным результатам. В результате подрывки почвы и особенно



перекреплення порушується динамічне рівновазі системи «кріп-окожуючі породи», і усувається ряд позитивних механізмів саморегулювання процесу необоротних сдвижень. В частині процесу збільшення сечення вироботки за рахунок випуску руйнованих порід кровлі призводить до втрати ефекту самозаклинювання цих порід, який грає дуже важливу роль в підтриманні руйнованих порід в стійкому стані.

В світлі сказаного перекреплення вироботки і подривку порід ґрунту слід проводити за межами ділянки активних сдвижень. Предварительні оцінки показують, що загальна депресія штрека практично не зменшується в результаті проведення робіт по відновленню сечення вироботки в зоні активних сдвижень. Це відбувається по двом причинам. По-перше, точка перекреплення переміщується в просторі дуже повільно, не встигаючи за темпами підвигання сучасних механізованих очистних забоях. По-друге, розширення сечення на ділянці проявлення активних сдвижень призводить до інтенсифікації необоротних сдвижень, що за короткий час сводить на ніч результати відновлювальних робіт.

Крім того, дослідження ділянок перекреплення вироботки і хронометраж операцій дозволили збільшити впевненість в нецелесообразності відновлення сечення вироботки шляхом її перекреплення. Значительне час витрачається на розвинчування гайок і ручне випилювання сітчастої затяжки і прогонов. Після цього торчащий на 0,7-1,0 м кінець анкера необхідно відпилити вручну ножовкою по металу або загнути, що вимагає значительних зусиль. Звичайно кінці болтів залишають незагнутими (див. верхній фрагмент рис. 3). Породне обнаження після цього не підтримується нічим, оскільки гайку накрутити вже неможливо. Часто виникають проблеми з відвинчуванням гайки, оскільки корозія її руйнувала настільки, що вона втрачає форму, і приростає до болту. Однак найбільший шкоду перекреплення кровлі завдає її стійкості, оскільки ліквідується позитивне

діяння ефекту самозаклинювання руйнованих порід, що відбувається в результаті радіального переміщення порід по контурі вироботки. Іншими словами перекреплення кровлі призводить до зменшення її стійкості і дуже нецелесообразно.

Аналіз геомеханіки активізації сдвижень руйнованих порід по контурі вироботки показав, що в даному випадку значно вигідніше відновлювати сечення вироботки шляхом подривку порід ґрунту. Ця операція вимагає в кілька разів менше часу і витрат, а також немає потреби в використанні матеріалів. Крім того, стійке стан кровлі зберігається, оскільки досягнуте рівновазі порід кровлі не порушується.

На рис. 10 наведено схему відновлення сечення вироботки шляхом подривку порід ґрунту. В результаті

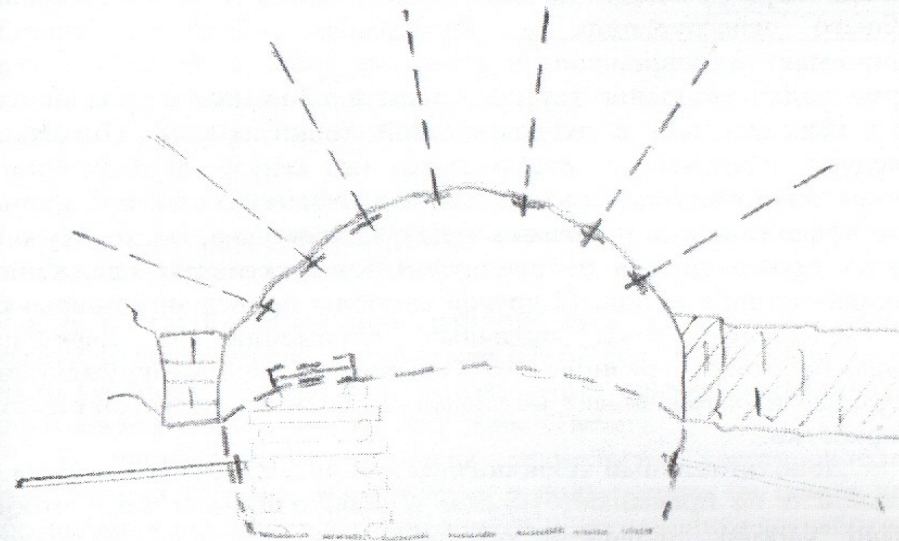


Рис. 10. Рациональная схема восстановления сечения  
вироботки



разрушения пород трудоемкость их подрывки минимальна и не требует расхода значительной энергии. После подрывки обнажаются боковые стенки выработки, что при определенных условиях может привести к потере устойчивости и выдавливанию боковых пород в полость выработки. Для гарантированного обеспечения устойчивости боковых стенок целесообразно установить по одному анкеру, как показано на рис. 10. Расчет устойчивости стенок выемочного штрека после его подрывки с учетом повторного влияния зоны опорного давления в процессе повторного использования выработки в качестве вентиляционной будет проведен отдельно.

Породу от подрывки почвы лучше закладывать в выработанное пространство позади действующего очистного забоя до того, как возведена литая полоса. На рис. 11,а приведен вариант, применяемый на сегодня, когда порода от подрывки почвы перегружается на ленточный конвейер 2 с помощью общего перегружателя – скребкового конвейера, который принимает одновременно и уголь из лавы 3. В этом случае происходит засорение горной массы и снижение ее зольности, что нежелательно с экономической точки зрения. Подрывку следует начинать с отставанием не менее двухмесячного подвигания очистного забоя. Это гарантирует с одной стороны, что эффективность подрывки будет максимальна, поскольку она будет производиться на пределах зоны активных сдвижений подработанной толщи. С другой стороны проведение подрывки за пределами зоны активных сдвижений не нарушает динамического равновесия системы «крепь–окружающие породы» и обеспечивает максимально возможную устойчивость выработки.

Дополнительный технологический участок перегружателя 1 длиной  $\Delta$  не превышает 10-20 м и необходим для того, чтобы было удобно сокращать рештаки перегружателя. Концевой участок  $\Delta$  можно поддерживать на весу с помощью костров, как указано на рис. 10 или передвижной тележки.

Лучшим вариантом является передача породы от подрывки почвы на закладочную установку 6, которая будет забрасывать

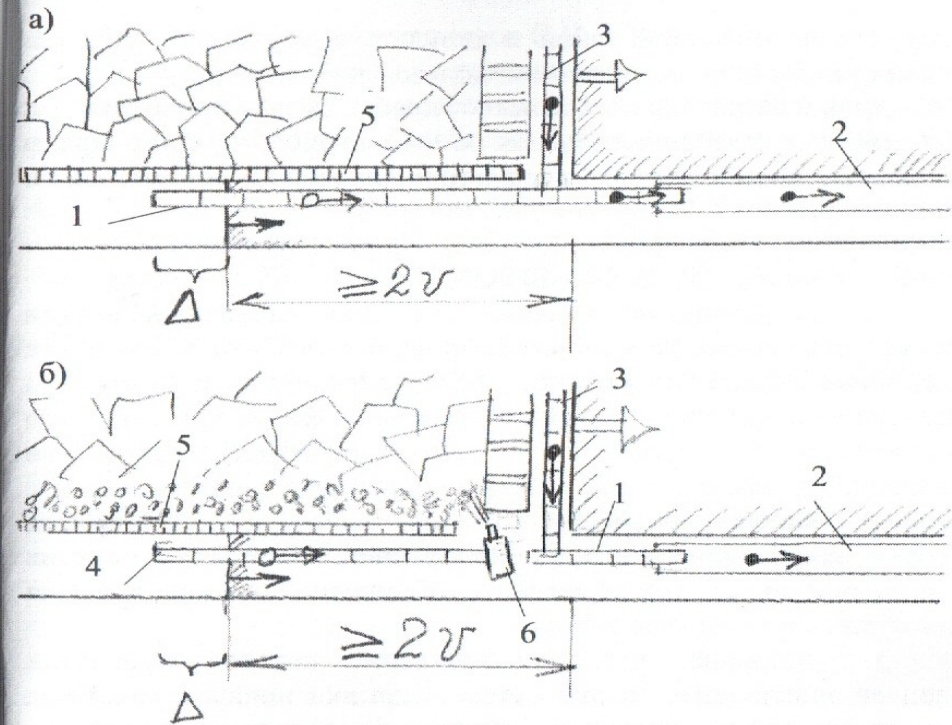


Рис. 11. Технологические схемы восстановления конвейерного штрека

породу в выработанное пространство лавы до того, как будет возведена литая полоса 5 или тумба БЖБТ (рис. 11,б). В качестве такой установки можно использовать метательную закладочную или пневмозакладочную машину типа «Титан».

В настоящее время такая технология восстановления конвейерных штреков планируется к применению на шахте для обеспечения возможности повторного использования выработок. Расчеты показали, что прямая экономия средств от применения новой технологии составляет не менее 800 грн./м или 1200000 гривен на выемочный столб длиной 1600 м. Косвенная прибыль составляет порядка 5 млн.грв. за счет увеличения



нагрузки на очистной забой в результате улучшения условий проветривания при повторном использовании штрека.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении совершенствования рамноанкерной, анкерной крепи и поиска рациональных параметров паспортов крепления и поддержания.

### ВЫВОДЫ

1. В результате влияния активных сдвижений позади движущегося очистного забоя необратимые смещения на контуре подготовительной выработки перераспределяются так, что разброс площади сечения уменьшается, причем его распределение становится несимметричным, приобретая тенденцию к смещению в область меньших размеров.

2. На примере 2-й южной лавы блока №8 подтверждена тесная корреляция между колебанием площади сечения выемочной выработки и высотой обрушения кровли вслед за движущимся очистным забоем.

3. Доказано, что восстановление сечения выработки следует производить только путем подрывки почвы и только за пределами зоны активных сдвижений вслед за лавой на расстоянии не ближе двухмесячного ее подвигания.

4. Предложены и обоснованы новые простые малозатратные технологии восстановления выработки для ее повторного использования.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Ильяшов М.А., Костенко В.К., Костенко А.В. и др. Практика охраны подготовительных выработок литыми полосами при интенсивной отработке угольных пластов // Проблемы горного давления. – 2003. – №9. – С. 40-74.
2. Назимко В.В., Копылов А.Ф. Механизмы деформирования надрабатываемых выработок // Уголь Украины. – 1994. – №5. – С. 10-12.

3. Назимко В.В., Александров С.Н. Управление эффектом саморасклинивания разрушенных пород вокруг подготовительной выработки в зоне активного проявления горного давления // Проблемы гірського тиску. – 1999. – №5. – С. 154-171.
4. Кузяра С.В. Обоснование параметров технологии охраны подготавливающих выработок в региональных зонах разгрузки. Дис. канд. Техн. наук: 05.15.02. – Донецк. – 2002. – 137 с.
5. Mishra M., Chen J. Effects of panel mining sequence and retreat direction on the roof stability of longwall headgate entries // Proc. 17 Int. Conf. Ground control in mining. – Morgantown, WVU, 1998. – Pp. 45-58.

*Здано до редакції 11.06.2004*

*Рекомендував до друку д.т.н. Усаченко Б.М.*