

УДК 622.831

Система обеспечения устойчивости повторно используемых участковых выработок при отработке тонких пологих угольных пластов

Описана сущность системы сохранения устойчивости повторно используемых участковых выработок, разработанной в компании ДТЭК ЭНЕРГО на основе практического опыта ведения горных работ. Приведены результаты опытно-промышленной проверки системы при поддержании сборного штрека 1168-й лавы шахты «Днепровская», показана ее экономическая эффективность. Полученные результаты вошли в проект отраслевого стандарта по этой проблеме.

Ключевые слова: участковые выработки, повторное использование, двухуровневое рамно-анкерное крепление, жесткие охранные накатные полосы, устойчивый породный свод, влияние очистных работ.

Контактная информация: PilyuginVI@dtek.com

Постановка проблемы. Затраты на проведение и поддержание участковых горных выработок – одна из главных статей расходов в общем балансе эксплуатационных (операционных) расходов угледобывающих предприятий. Это обусловлено большими объемами проведения выработок, сложными и дорогими мероприятиями по их поддержанию, а также высокими затратами на выполнение ремонтных работ.

Для обеспечения экономически приемлемого уровня добычи на шахтах Западного Донбасса в последние годы была проведена глубокая модернизация схем подготовки запасов к выемке, осуществлен полный переход на применение комбинированных систем разработки длинных лав обратным ходом с повторным использованием участковых выработок [1]. Длина выемочных столбов за последние годы увеличилась с 750–800 м до 1800–2400 м. В частности, на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» для поддержания постоянной работы 27–28 действующих очистных забоев ежегодно вводится в эксплуатацию до 36 новых лав. Аналогичная ситуация характерна и для других угледобывающих предприятий ДТЭК ЭНЕРГО.

Опережающее воспроизводство очистной линии действующих лав и подготовленных к выемке запасов угля требует: высокой надежности всех технологических звеньев шахт в целях обеспечения проходки, минимизации потерь времени на ремонте оборудования в новые очистные забои, а также существенного снижения рисков, связанных с поддержанием выработок. Это возможно только при условии создания нормаль-



М. В. БАРАБАШ,
инж.
(ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»)



А. В. ВИВЧАРЕНКО,
канд. техн. наук
(ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»)



А. И. КОВАЛЬ,
канд. техн. наук
(Шахтоуправление «Днепровское»
ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»)



В. И. ПИЛЮГИН,
доктор техн. наук
(ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»)

ного эксплуатационного состояния повторно используемых участков выработок.

В горной науке термин «повторное использование» имеет широкий спектр значений: от увеличения срока службы выработок до изменения их назначения. Применительно к разработке пологих тонких угольных пластов этот термин:

касается только участков (выемочных) выработок;

подразумевает использование одной выработки для обслуживания двух очистных забоев с изменением технологической функции;

предполагает подготовку запасов смежного выемочного столба к выемке за счет проведения одной, а не двух участков выработок, а также погашение повторно используемой выработки позади очистного забоя второй лавы.

Таким образом, под повторным использованием участковой выработки будем понимать комплекс технологических мероприятий по проведению, креплению, поддержанию и охране, который позволяет обеспечить выполнение основных технологических функций выработки, а также ее эксплуатационное состояние в соответствии с нормами Правил безопасности при отработке двух смежных очистных забоев.

На практике повторно использовать участковые выработки удастся не всегда. Основные ограничивающие факторы – большая глубина разработки, низкие прочностные свойства

вмещающих пород и малые темпы подвигания очистных забоев. Их совместное влияние в ряде случаев может приводить к критическим потерям площади сечения выработок и, как следствие, к необходимости перекрепления или даже повторного проведения.

Результаты исследований. На базе опыта ведения горных работ на шахтах Западного Донбасса отработан достаточно эффективный и, на наш взгляд, универсальный подход к решению проблемы сохранения устойчивости повторно используемых выработок, суть которого заключается в следующем.

На первом этапе формируют устойчивый породный свод в горном массиве при проведении выработки для обеспечения ее устойчивости до начала влияния очистных работ (рис. 1, а).

На втором этапе перед влиянием очистных работ в выработке устанавливают усиливающую систему канатный анкер–активная балка, которая «подшивает» рамную крепь к ненарушенному массиву и обеспечивает их совместную работу (рис. 1, б).

На третьем этапе после выемки угольного пласта вблизи выработки со стороны выработанного пространства устанавливают сплошное охранное сооружение высокой жесткости, предотвращающее опускание кровли над выработкой и обеспечивающее «обрезание» массива за пределами устойчивого свода (рис. 1, в).

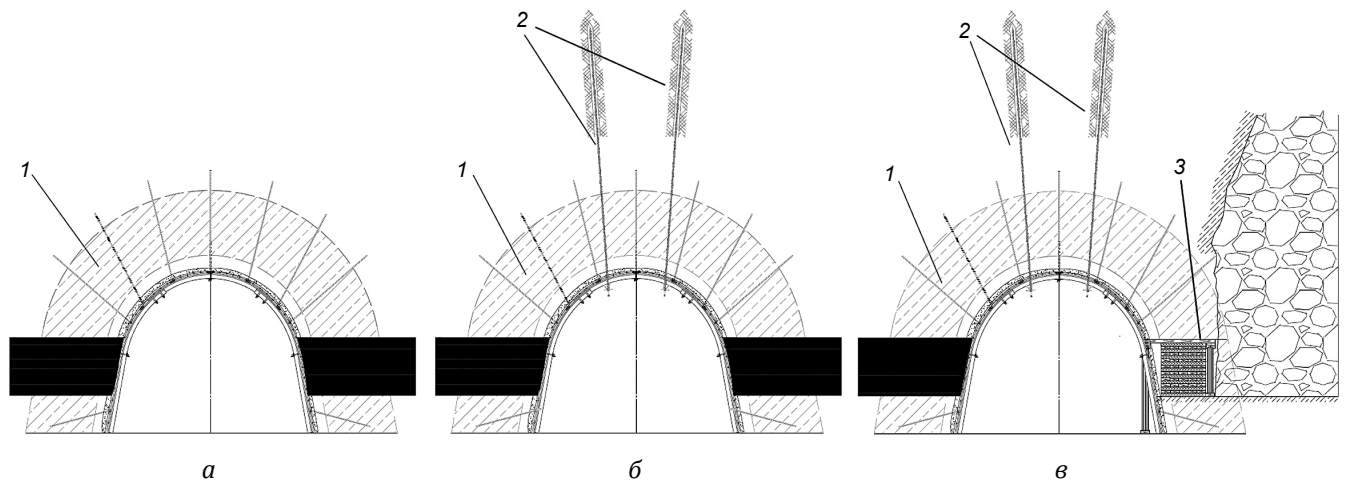


Рис. 1. Технологические этапы реализации системы обеспечения устойчивости повторно используемых участков выработок: а – рамно-анкерное крепление при проведении выработки; б – установка системы активного усиления крепи «канатные анкера–активная балка» до подхода первой лавы; в – возведение жестких охранных полос на сопряжении лавы с выработкой; 1 – устойчивый породный свод; 2 – система активного усиления; 3 – жесткая накатная полоса.

Этап 1 – формирование устойчивого породного свода (арки) вокруг выработки. Формирование устойчивого свода технологически достигается путем применения комбинированного рамно-анкерного крепления при проведении выработки. Установка анкеров непосредственно после выемки пород в забое позволяет сохранить монолитность массива и его исходные прочностные свойства. Вокруг выработки образуется устойчивый заанкерованный свод (арка), который способствует существенному снижению конвергенции контура на этапе поддержания до начала активного влияния очистных работ (см. рис. 1, а). Если параметры анкерования выбраны правильно, выработка и ее основная (рамная) крепь в зоне установившегося горного давления сохраняют работоспособность и довольно значительный запас податливости. Таким образом, сформированная при проведении выработки геомеханическая система крепь–заанкерованный массив готова к предстоящему восприятию повышенного горного давления.

Если участковая выработка была проведена без анкеров, с использованием только традиционного рамного крепления, то в процессе поддержания приконтурный массив интенсивно разрушается. Во время разрушения объем породы существенно увеличивается, возрастает нагрузка на крепь, развивается дополнительная конвергенция контура выработки, а в отдельных случаях происходит складкообразование пород кровли или подошвы. В результате, как правило, выработка оказывается недостаточно подготовленной к восприятию опорного давления.

В настоящее время технология рамно-анкерного крепления достаточно хорошо отработана на практическом уровне и широко распространена на шахтах ДТЭК [1]. На основании имеющегося опыта с участием специалистов компании был разработан и с 1 января 2015 г. введен в действие новый технологический стандарт [2], позволяющий техническим службам угледобывающих предприятий Украины самостоятельно рассчитывать параметры этого вида крепления.

Реализация первого этапа – проведение повторно используемых участковых выработок с комбинированным рамно-анкерным креплением – необходимое условие сохранения их устойчивости в течение всего срока службы.

Этап 2 – активное усиление устойчивого породного свода до начала влияния очистных работ. Известно, что влияние очистной выемки на подготовительную выработку начинается впереди лавы – в зоне так называемого временного опорного давления, т. е. концентрации напряжений, обусловленной зависанием подработанной породной толщи. Как результат этого влияния – ускорение конвергенции контура выработки, потеря площади сечения и деформация крепи. Максимальная степень проявлений опорного давления наблюдается, как правило, при проходе лавы в момент снятия ножки крепи и снижения ее несущей способности.

В зоне временного опорного давления вблизи очистного забоя горный массив теряет опору в виде вынимаемого угольного пласта и опускается в выработанное пространство в режиме заданных деформаций. В силу большой массы смещающихся пород любое крепление участковой выработки на этом этапе не может «жестко» противостоять возникающим нагрузкам. При этом выработка в любом случае теряет определенную долю площади своего сечения.

Чтобы обеспечить устойчивость повторно используемой участковой выработки в зоне влияния первой лавы, необходимо:

- иметь запас податливости крепи, требуемый для компенсации сдвижений подработанной толщи пород;
- предотвратить складкообразование пород кровли и боков выработки, сохранив первоначальную форму устойчивого свода;
- синхронизировать конвергенцию горного массива и смещение крепи;
- минимизировать конвергенцию контура выработки при снятии ножки основной крепи на сопряжении лавы со штреком.

Выполнение указанных функций технологически обеспечивается с помощью системы активного усиления крепи впереди очистного забоя с использованием канатных анкеров глубокого заложения, устанавливаемых в сочетании с активной балкой из спецпрофиля СВП по схеме, приведенной в Инструкции [2].

Канатные анкера имеют длину не менее 6 м, поэтому их устанавливают практически вертикально. Вследствие чего закрепляемый полимерными смолами конец анкеров распо-

лагается в ненарушенном массиве, т. е. достигается эффект «подшивания» ранее сформированного устойчивого породного свода. Двухуровневое рамно-анкерное крепление существенно повышает устойчивость выработки при подходе лавы за счет сохранения равновесия устойчивого породного свода и минимизации разрушения пород.

Один из вариантов системы активного усиления крепи с двумя рядами канатных анкеров для выработок, поддерживаемых в сложных условиях, показан на рис. 1, б. В благоприятных и средних условиях поддержания в выработках рекомендуется устанавливать одну линию усиления, располагая ее со стороны лавы. В любом случае система активного усиления возводится впереди очистного забоя при подходе лавы на расстояние не менее длины зоны опорного давления. Применение системы активного усиления позволяет решить перечисленные задачи и при этом отказаться от использования традиционных крепей усиления из деревянных ремонтин, загромаждающих выработку.

Реализация второго этапа – установка системы активного усиления крепи на основе канатных анкеров и линии из спецпрофиля, – *дает возможность* эффективно и технологично завершить подготовку повторно используемой выработки к восприятию влияния очистных работ при подходе первой лавы.

Этап 3 – сохранение устойчивого породного свода путем установки жестких охранных сооружений. Максимальная скорость смещения контура повторно используемых выработок наблюдается на сопряжении с лавой. Часть угольного пласта, примыкающая к выработке, до выемки обеспечивает равновесие системы крепь–заанкерванный массив. После прохода лавы пласт извлекается и равновесие нарушается: породы непосредственной кровли начинают опускаться в выработанное пространство, устойчивый свод как бы наклоняется в сторону очистной выработки, «пригружая» кромку угольного пласта со стороны нетронутого горного массива.

Для обеспечения нормального эксплуатационного состояния выработки в зоне влияния очистного забоя позади первой лавы необходимо не допустить или, по крайней мере, минимизировать сдвиги и деформации за-

анкерванного породного свода. Это достигается за счет сооружения вблизи выработки специальной охранной конструкции, которая:

- имеет непрерывную нарастающую характеристику отпор–деформация, т. е. увеличивает отпор при возрастании вертикального сжатия;
- обеспечивает полный контакт с вмещающими породами в зоне установки, т. е. взаимодействует с кровлей и почвой вынутаго пласта по всей своей поверхности;
- создает равномерный отпор по всей площади взаимодействия с горным массивом и не формирует точечных концентраторов напряжений на контакте с кровлей;
- не содержит внутренних пустот, которые могут быть причиной нарушения равновесия массива при длительном поддержании;
- обеспечивает эффективное «обрезание» пород кровли на границе с выработанным пространством;
- по ширине примерно равна ширине зоны заанкерванных пород в боках выработки или вынимаемой толщи пласта;
- располагается непосредственно у охраняемой выработки.

Указанным требованиям прежде всего соответствуют два вида охранных сооружений: накатные полосы из круглого леса или из бруса; литые или пакетируемые полосы из быстротвердеющих минеральных смесей (БИ-крепь, ТЕКХАРД и др.).

В связи со сложившимися в настоящее время ценами на рынке материалов для крепления наиболее доступны для шахт охранные сооружения из лесоматериалов, т. е. накатные полосы из кругляка или бруса (шпалы).

Накатные полосы представляют собой сплошные деревянные ленточные конструкции, расположенные непосредственно у контура выработок. Они выкладываются на сопряжении лавы и штреков из взаимно перпендикулярных слоев бруса (кругляка). Высота и ширина накатных полос равны вынимаемой мощности пласта. Для безопасности ее возведения и выполнения функции «обрезания» пород непосредственной кровли со стороны выработанного пространства лавы устанавливается ряд вертикальных стоек или органый ряд. Принципиальная схема установки показана на рис. 1, в.

Экспериментальная проверка работоспособности и эффективности системы обеспечения устойчивости выработок. Эксперимент по проверке предложенного подхода проводился на шахте «Днепровская» в 1168-м сборном штреке пласта c_{10} . Схема горных выработок участка приведена на рис. 2.

Горно-геологические условия эксперимента следующие: мощность пласта 1,07 м, марка добываемого угля Г, глубина работ 265 м, вынимаемая мощность горной массы в лаве 1,13 м, длина лавы 250 м, длина выемочного столба 1157 м, непосредственная кровля пласта представлена неустойчивым глинистым сланцем прочностью до 13,5 МПа, мощность сланца 1,5 м, почва – песчанистый сланец средней устойчивости ($\sigma_{сж} = 24,1$ МПа, $m = 1,5$ м). Очистной забой обеспечивал суточную добычу 1500–2200 т, среднемесячное подвигание лавы составляло примерно 120 м. Система разработки – комбинированная, обратным ходом с повторным использованием выработки.

Повторно поддерживаемая выработка – 1168-й сборный штрек, был проведен с рамно-анкерным креплением площадью сечения 11,7 м². В соответствии с паспортом рамную крепь КШПУ из СВП-22 устанавливали через 0,8 м, при подходе лавы к зоне опорного давления – крепь усиления в виде двух рядов ремонтин. На сопряжении лавы со штреком их снимали и, после восстановления рам КШПУ, устанавливали полигональную крепь усиления. Эти мероприятия в целом позволяли сохра-

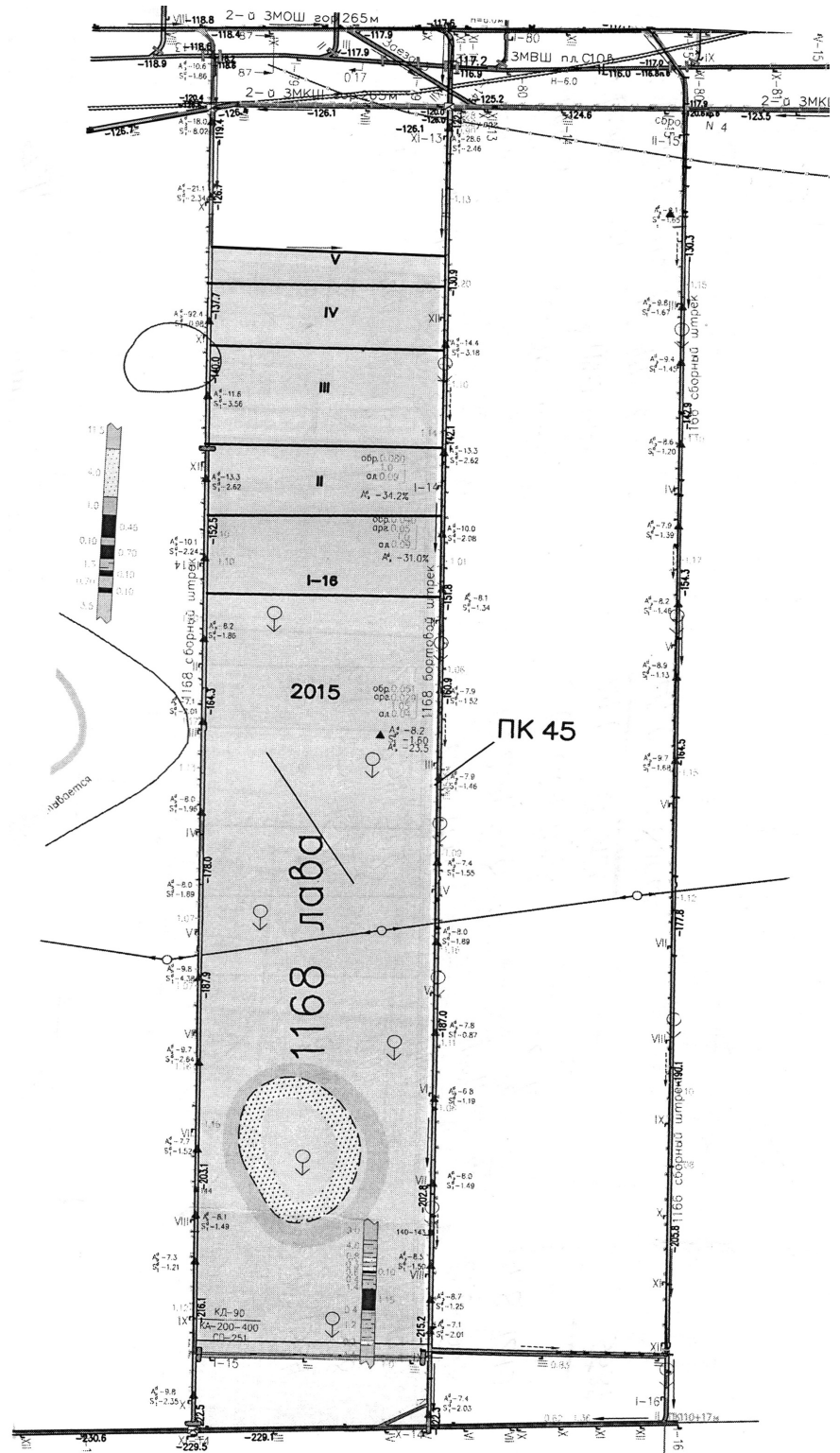


Рис. 2. Выкопировка из плана горных выработок, 1168-я лавы шахты «Днепровская»: ПК 45 – участок сборного штрека, на котором была начата опытно-промышленная проверка новой системы поддержания (длина 700 м).

РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

нять штрек. Однако площадь его остаточного сечения позади лавы составляла не более 3–4 м² при достаточно больших затратах и высокой трудоемкости работ. Удельный расход лесоматериалов на все мероприятия по поддержанию выработки по факту достигал 11 м³ на 1000 т добычи, или 5,5 м³ на 1 м погонной длины лавы. Состояние штрека при паспортном поддержании показано на рис. 3, а.

В октябре 2015 г. по инициативе специалистов Группы горного давления в рамках подготовки инструкции по повторному использованию выработок руководство шахты приняло решение о проведении опытно-промышленной проверки новой системы поддержания. В паспорт отработки лавы были внесены изменения, включающие установку одной линии системы активного усиления крепи и замену применяемого охранного сооружения (органные ряды) на накатную полосу из бруса. Ширина полосы на начальной стадии проведения эксперимента составляла 1,2 м, а затем была уменьшена до 0,8 м. Испытания новой системы поддержания начаты с ПК 45.

По результатам проведения опытно-промышленной проверки была подтверждена работоспособность и высокая эффективность предложен-

ной системы обеспечения устойчивости повторно используемой выработки. Ее эксплуатационное состояние кардинально улучшено (см. рис. 3, б). Получены основные результаты:

- площадь остаточного сечения 1168-го сборного штрека на участке проведения эксперимента составила не менее 8 м², т. е. увеличилась более чем в 2 раза. Фактически «сэкономлена» полная подрывка выработки и обеспечено безремонтное поддержание до ввода в работу смежной 1066-й лавы;

- существенно улучшилось состояние пород кровли на сопряжении лавы со штреком, что подтверждается уменьшением количества вывалов пород кровли. При этом повысился уровень безопасности персонала при выполнении концевых операций;

- экономия лесоматериалов на поддержание и охрану штрека и сопряжения с лавой составила 5,2 м³ на 1000 т добычи, или 2,6 м³ на 1 м погонной длины выработки, что в денежном выражении составило около 3 тыс. грн на 1 м погонной длины выработки;

- удельная экономия на ремонтах выработки составила 4,88 тыс. грн на 1000 т добычи, или 2,44 тыс. грн на 1 м погонной длины штрека;



а



б

Рис. 3. Эксплуатационное состояние 1168-го сборного штрека шахты «Днепровская»: а – до внедрения новой системы поддержания; б – после внедрения; на фото (слева направо): заместитель главного инженера шахтоуправления по анкерному креплению А. В. Анисимов, начальник добычного участка В. В. Шевченко, ведущий инженер по горным работам Е. Н. Яковлев.

- общая экономия затрат на крепежные материалы на экспериментальном участке длиной 700 м – более 3,8 млн грн.

Технологические и финансовые результаты опытно-промышленной проверки новой системы в условиях 1168-й лавы шахты «Днепровская» доказали целесообразность ее внедрения на других угледобывающих предприятиях. Для ускорения этого процесса совместно со специалистами ИГТМ НАН Украины им. Н. С. Полякова разработана инструкция «Технологические материалы по проектированию крепления, поддержания и охраны повторно используемых участковых выработок на шахтах ООО «ДТЭК ЭНЕРГО».

Выводы. Подготовка запасов к выемке с применением повторного использования участковых выработок на шахтах Западного Донбасса – основа опережающего воспроизводства очистной линии действующих лав.

Устойчивость повторно используемых участковых выработок обеспечивается комплексом мероприятий, направленных на формирование вокруг выработки защитного устойчивого свода в процессе проведения и обеспечение его стабильного равновесия при влиянии очистных работ.

Необходимое условие успешного повторного использования участковых выработок – рамно-анкерное крепление при проведении, которое способствует формированию устойчивого породного свода во вмещающем горном массиве.

Чтобы обеспечить равновесие защитного устойчивого свода и основной крепи до периода активного влияния очистных работ, выполняется «подшивание» системы крепь–заанкернованный массив выработки к ненарушенным породам кровли канатными анкерами глубо-

кого заложения. Непосредственно после выемки угольного пласта в лаве равновесие защитного устойчивого свода устанавливается за счет возведения сплошного охранного сооружения высокой жесткости, предотвращающего опускание пород кровли вблизи выработки и «обрезания» подработанного массива за пределами устойчивого свода.

Опытно-промышленная проверка нового подхода к обеспечению устойчивости повторно используемых участковых выработок доказала его работоспособность и эффективность. Экономия леса на экспериментальном участке в натуральном выражении превысила 1800 м³. Экономия затрат только на крепежные материалы при поддержании экспериментального участка составила 3,8 млн грн.

По результатам анализа лучших мировых практик сохранения устойчивости повторно используемых участковых выработок, а также собственного опыта ведения горных работ совместно со специалистами ИГТМ НАН Украины им. Н. С. Полякова разработана и введена в действие на шахтах новая инструкция «Технологические материалы по проектированию крепления, поддержания и охраны повторно используемых участковых выработок на шахтах ООО «ДТЭК ЭНЕРГО».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Смирнов А. В.* Эволюция современных систем разработок тонких пологих угольных пластов длинными очистными забоями / А. В. Смирнов, В. И. Пилюгин // *Разработка родовищ* 2015: щоріч. наук.-техн. зб. / редкол.: В. І. Бондаренко та ін. – Дніпропетровськ: Літограф, 2015. – С. 7–14.
2. *Инструкция по проектированию комбинированного рамно-анкерного крепления горных выработок:* СОУ 10.105411357.012:2014. – К.: Минэнергоуголь Украины, 2014. – 42 с. – (Нормативный документ Минэнергоуголь Украины).

ПО МАТЕРИАЛАМ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ УКРАИНЫ» ПРОШЛЫХ ЛЕТ

Год 1975

В журнале № 10 сообщается, что коллектив шахты «Трудовская» производственного объединения Донецкуголь завершил пятилетний план добычи в июне 1975 г. – на-гора выдано 1,85 млн т топлива. К концу года намечено дополнительно к заданию пяти лет добыть 890 тыс. т угля, а к открытию XXV съезда КПСС еще 115 тыс. т сверх плана. Передовой коллектив – бригада, возглавляемая Героем Социалистического Труда И. И. Стрельченко, достиг нагрузки на очистной забой 3000 т угля в сутки. За 8 мес. 1975 г. бригада добыла более 600 тыс. т угля.