

угольного пласта начальные значения трещиноватости слабо влияют на ее дальнейшую эволюцию со временем.

2. Средние же значения трещин нетронутого угольного пласта существенно влияют на дальнейшую эволюцию трещиноватости со временем. Анализируя графики кривых нарастания трещиноватости (рис.1 – рис.3), а также таблицу времен наступления выброса $t_i = t_i(z_{0i})$ можно заключить, что характерные времена развития выброса уменьшаются с ростом поперечных размеров трещин. Можно сказать, что в угольных пластах с трещинами большего зияния разрушение угольного пласта наступает более быстро. При этом во всех случаях развитие трещиноватости происходит взрывным образом.

Таким образом, предварительное исследование трещиноватости угольного пласта и, в особенности, среднего характерного поперечного масштаба (зияния) трещин позволяет предсказать, насколько быстро будет развиваться выброс при быстрой разгрузке угольного пласта.

Список литературы

1. Фельдман Э.П. Роль разгрузки и фильтрации газа в процессах развития магистральных трещин в угольном пласте / Э.П. Фельдман, Н.А. Калугина, Т.Н. Мельник // Журнал прикладной механики и технической физики. – 2017. Т. 58, №1. - С. 1 – 12.
2. Фельдман Э.П. Развитие магистральных трещин в газонасыщенном угольном пласте при стационарном подвигании забоя / Э.П. Фельдман, Н.А. Калугина // Физико-технические проблемы горного производства. – 2014. – Вып.17. - С. 46-52.
3. Фельдман Э. Эволюция трещин в краевой части угольного пласта при его стационарной отработке / Э. Фельдман, Н. Калугина, О. Чеснокова // Mining of Mineral Deposits. – 2017. Vol. 11. Issue 2. P. 41 – 45.
4. Алексеев А.Д. Термодинамика газоугольного массива и неоднородное распределение газов в угольных пластах // А.Д. Алексеев, Э.П. Фельдман, Н.А. Калугина // Журнал технической физики. – 2010. – Т. 80. Вып.12. - С. 57-60.
5. Р.Л. Салганик. Эффективная проводимость тела с большим числом трещин при учете их ёмкости и действия механических нагрузок // ИФЖ. - 1979. Т. 36, №6. - С. 1070 – 1076.
6. Ландау Л.Д. Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц Ч. 1. - М.: Наука, 1976. - 584 с.
7. Лифшиц Е.М. Физическая кинетика / Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. – М.: Наука, 1979. – 528 с.

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ОХРАНЫ ВЫРАБОТКИ НА СОПРЯЖЕНИИ С ЛАВОЙ НА ШАХТЕ «ЮЖНОДОНБАССКАЯ №1»

*А.В. Солодянкин, С.В. Машиурка, И.В. Дудка, А.Е. Григорьев, О.А. Солодянкина,
Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Украина*

Для условий шахты «Южнодонецкая №1», выполнен комплекс численных исследований, разработана численная модель участка массива для обоснования параметров способа охраны выработки на сопряжении «лава-штрек», которая позволила изучить деформационные процессы, связанные с выемкой угля и работой элементов охранной системы, а также выбрать ее рациональные параметры для возможности повторного использования выработки.

Введение. С увеличением глубины разработки угольных месторождений существенно возрастают затраты на сооружение и поддержание протяженных выработок. Значительный

объем выработок ремонтируется еще до сдачи в эксплуатацию, 52% действующих выработок деформировано. Ухудшение состояния выработок из-за процесса пучения составляет 45% от общего объема деформированных [1]. Часто в капитальных выработках возникает необходимость проведения многократных ремонтов, а в условиях глубоких шахт Донбасса при столбовой системе разработки пластов, кратность ремонтов в подготовительных выработках составляет 2..3 и более.

Одной из весомых составляющих себестоимости угля являются затраты на поддержание и ремонт выработок. Повышение устойчивости выработок с целью их повторного использования при отработке выемочных столбов, позволяет уменьшить общее количество поддерживаемых выработок, увеличивает концентрацию горных работ и, таким образом, снижает затраты на добычу угля.

Целью исследований, результаты которых изложены в статье, является обоснование рациональных параметров крепи и охранных элементов, обеспечивающих эксплуатационное состояние выработки и возможность ее повторного использования для отработки второй лавы.

В качестве объекта исследований выбран выемочный участок 12-й западной лавы пласта C_{18} шахты «Южнодонецкая №1». Шахта ведет отработку угля в сложных геомеханических условиях, а применяемые способы поддержания выемочных выработок не соответствуют условиям эксплуатации и нуждаются в их совершенствовании.

Опыт работы столбовых систем разработки показывает, что схемы с повторным использованием выработок применяют в основном в наиболее благоприятных горно-геологических условиях. Возможность повторного использования выработок в сложных условиях требует детального рассмотрения. Следует при этом учитывать, что на деформации приконтурного массива эффективно воздействовать только непосредственно в забое при сооружении выработки и во время прохода первой лавы.

В [2] была решена задача для первого этапа эксплуатации выработки – до влияния очистных работ первой лавы. Как было установлено, для ограничения смещений пород в почве до величины не более 0,4 м – смещений, когда подрывка пород еще не требуется, необходимо использовать не менее 10 анкеров, установленных по всему контуру выработки. Это позволит обеспечить достаточную для нормальной работы площадь поперечного сечения выработки на сопряжении «лава-штрек» без проведения трудоемкой и дорогостоящей подрывки пород почвы до подхода очистного забоя.

Задачей второго этапа является обоснование параметров способа охраны выработки на сопряжении «лава-штрек», при которых будет обеспечена устойчивость рассматриваемой технической системы и возможность повторного использования выемочной выработки для отработки смежной лавы.

Постановка задачи численного моделирования.

В конвейерном ходке на сопряжении 12 западной лавы на стадии проектирования были предложены различные паспорта крепления и охраны. В качестве основной несущей конструкции конвейерного ходка принималась арочная трехзвенная металлическая крепь КМП-А3-11,2 из СВП-27 с деревянной затяжкой и шагом установки 0,8 м. На расстоянии не менее 100 м от забоя лавы устанавливались сдвоенные анкера для поддержания верхняка во время снятия ножек в окне лавы и анкер, поддерживающий бровку.

В качестве охранной конструкции рассматривались следующие варианты:

– накатный костер из шпального бруса шириной 1,6 м с органной полосой в два ряда деревянных стоек со стороны ходка и одним рядом с завальной стороны общей шириной 2,3 м (рис. 1, а);

– сборная бетонная полоса Tekhard шириной 1,1 м с органной полосой в три ряда деревянных стоек со стороны ходка и два ряда с завальной стороны общей шириной 2,2 м (рис. 1, б).

Анализ применяемых типов охранных полос по условиям требуемой прочности, податливости, технологичности, а также при наличии слабых пород почвы, показал, что для горно-геологических условий шахты «Южнодонецкая №1», целесообразно применение именно этих материалов и конструкций полос [3].

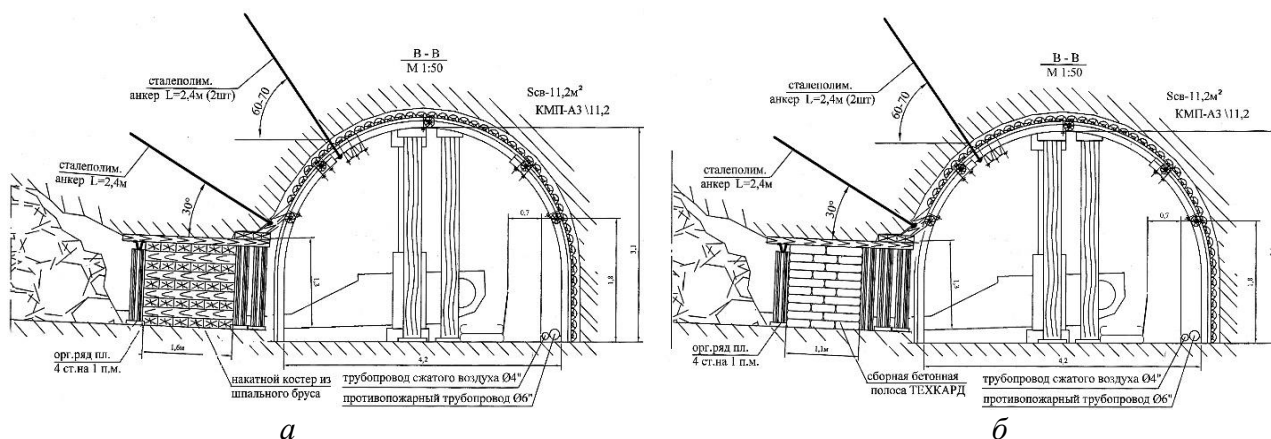


Рис. 1. Паспорт крепления сопряжения 12-й западной лавы с конвейерным ходком. Охранная конструкция: а – накатный костер из шпального бруса ($b = 1,6$ м); б – сборная бетонная полоса Текхард ($b = 1,1$ м)

Передовой опыт поддержания выработок в условиях влияния очистных работ свидетельствует, что для улучшения состояния участка на сопряжении «лава-штрек» эффективно применение канатных анкеров глубокого заложения, длиной 6...8 м, установленных со стороны обрабатываемого пласта под углом 85...87° в сторону выработанного пространства.

Рассмотрим работу предлагаемых конструкций охранных элементов при совместной работе с рамно-анкерной крепью, параметры которой определены в [1], с учетом рекомендаций нормативных документов [4, 5].

Для обоснования параметров охраны выполнено численное моделирование поведения геомеханической системы «выработка-охранная конструкция-лава» для горно-геологических условий шахты «Южнодонбасская №1».

Исследования проводились с использованием программного комплекса «Phase-2».

Применяемый метод исследований позволяет определить смещения контура выработки и область разрушенных пород, которые и создают нагрузку на крепь. Найти эту область можно на основе принятой теории прочности.

Хорошо апробирован и широко применяем в прикладных программных пакетах критерий прочности Хоека-Брауна, который позволяет оценить степень разрушения пород в исследуемой точке среды от совокупного воздействия нормальных и касательных напряжений, учитывая при этом природную и техногенную нарушенность породного массива.

Вычислительная программа «Phase-2» содержит модуль, реализующий проверку обобщенного критерия Хоека-Брауна, который имеет вид:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a, \quad (1)$$

где σ_1 и σ_3 – максимальные и минимальные напряжения в массиве, m_b – константа Хоека-Брауна для массива пород, s и a – постоянные величины, учитывающие генезис и состояние пород, σ_{ci} – предел прочности на одноосное сжатие массива пород в интактном состоянии.

Критериальное соотношение (1) проверяется в каждой точке массива и таким образом выявляется зона разрушения, образующаяся в окрестности выработок.

Физико-механические характеристики угля и вмещающих пород для условий 12-й западной лавы пл. С₁₈ шахты «Южнодонбасская №1» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики угля и вмещающих пород

| Название показателя | Уголь | Песчаник | Алевролит | Аргиллит |
|------------------------------|-------|----------|-----------|----------|
| Модуль упругости (Юнга), МПа | 9200 | 5700 | 2900 | 3000 |
| Коэффициент Пуассона | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Прочность на сжатие, МПа | 20 | 50 | 25 | 23 |

Свойства смеси *Tekhard* и охранной полосы из дерева представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства материалов охранных полос

| Название характеристики | Твердеющая смесь <i>Tekhard</i> | Накатная полоса из дерева |
|------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Модуль упругости (Юнга), МПа | 30000 | 13000 |
| Коэффициент Пуассона | 0,3 | 0,3 |
| Прочность на сжатие, МПа | 35 | 18 |

Физическая модель объекта для рассматриваемой стадии эксплуатации выработки представлена на рис. 2. На этом участке исследуемый объект – сопряжение «лава-ходок» испытывает, помимо действующего статического горного давления, влияние очистных работ. Для учета этого влияния вводится коэффициент пригрузки $K_{np} = 1,3$ [6].

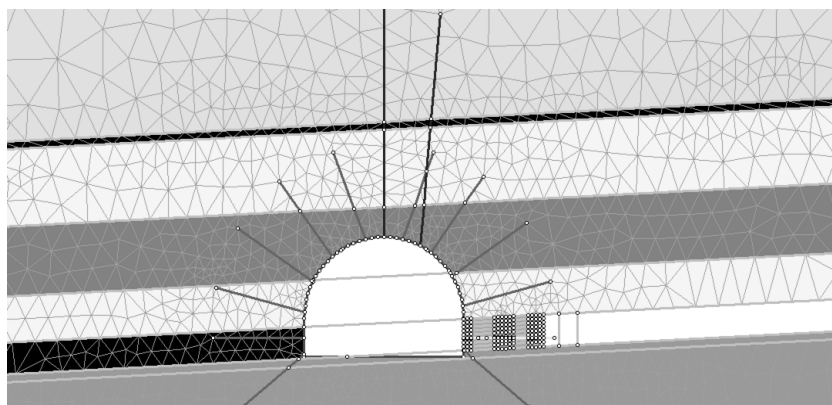


Рис. 2. Расчетная схема сопряжения «лава-ходок» с охранной полосой из шпального бруса шириной 2 м, 2-мя канатными анкерами и сталеполимерными анкерами в почве

Ширина накатной полосы из шпального бруса варьировалась в пределах 1...3 м, с интервалом через 0,5 м. При этом в размер ширины включались и органичные ряды деревянных стоек. Количество стандартных сталеполимерных анкеров на предыдущем этапе [1] принималось равным 12 шт. При этом анкер, устанавливаемый в пласт угля – пластиковый, из расчета разрушения его очистным комбайном при выемке угольного пласта. Вследствие сложности горно-геологических условий, количество канатных анкеров для каждого варианта охранной полосы принималось в количестве 1 и 2 шт.

Результаты моделирования способа крепления и охраны сопряжения «лава-ходок» с одним канатным анкером и охранной полосой из шпального бруса приведены на рис. 3. Оценка результатов проводилась в основном по смещениям контура выработки и параметрам зоны разрушения приконтурного массива пород.

Графики зависимостей смещений контура выработки от ширины охранной полосы показаны на рис. 4 и 5. Зависимость поперечного сечения ходка в окне лавы от ширины накатной полосы и количества канатных анкеров показана на рис. 6.

Анализ полученных результатов показывает, что для рассматриваемых условий шахты «Южнодонбасская №1», в большей степени на улучшение состояния выемочной выработки оказывает увеличение ширины охранной полосы. При этом более существенным является повышение ширины полосы с 1,5 до 2,0 м. Повышение ширины охранной конструкции с 2,5 до 3,0 м не оказывает существенного влияния, однако резко увеличивает трудоемкость ее возведения при соответствующем увеличении стоимости.

Прирост сечения выработки также достигается за счет установки канатных анкеров. При этом значительный эффект достигается уже при установке одного анкера. В меньшей степени влияет установка второго анкера, однако для сохранения требуемого сечения выработки и обеспечения ее устойчивого состояния при повторном использовании, его введение следует

считать целесообразным. И если на снижение смещений пород почвы канатные анкера практически не влияют, то для уменьшения смещений кровли они дают существенный эффект.

Анализ параметров разрушенных зон в окрестности сопряжения показывает, что увеличение ширины охранной полосы из шпального бруса и количества канатных анкеров на сопряжении «лава-ходок» вызывает появление над охранной конструкцией зоны упрочненных, не разрушенных пород. Это приводит к снижению смещений контура выработки, увеличению полезной площади поперечного сечения, возможности ее дальнейшей эксплуатации при отработке второй лавы при обеспечении безопасных условий труда горнорабочих. Выбор места установки канатных анкеров диктовался местоположением зоны неразрушенных пород основной кровли.

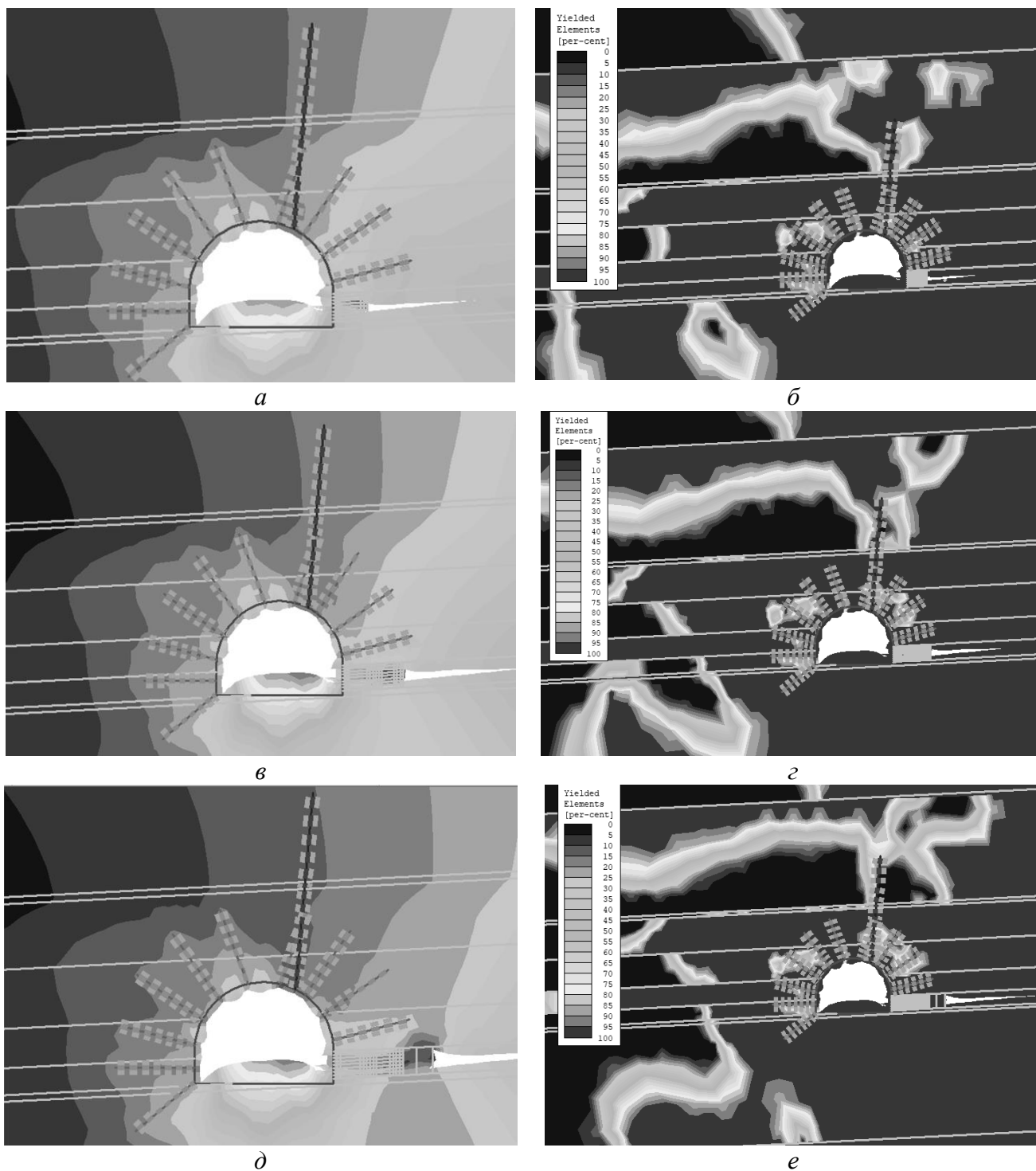


Рис. 3. Перемещения на контуре выработки и зона разрушенных пород соответственно для накатной полосы из шпального бруса: *a, б* – шириной 1 м; *в, в* – шириной 2 м; *д, e* – шириной 3 м при установке одного канатного анкера

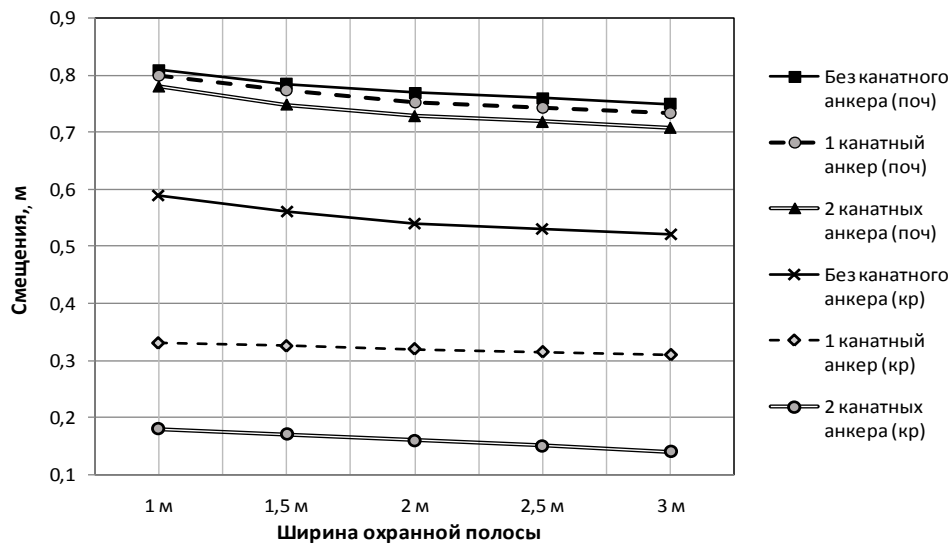


Рис. 4. Зависимость смещений почвы и кровли в окне лавы от ширины накатной полосы и количества канатных анкеров

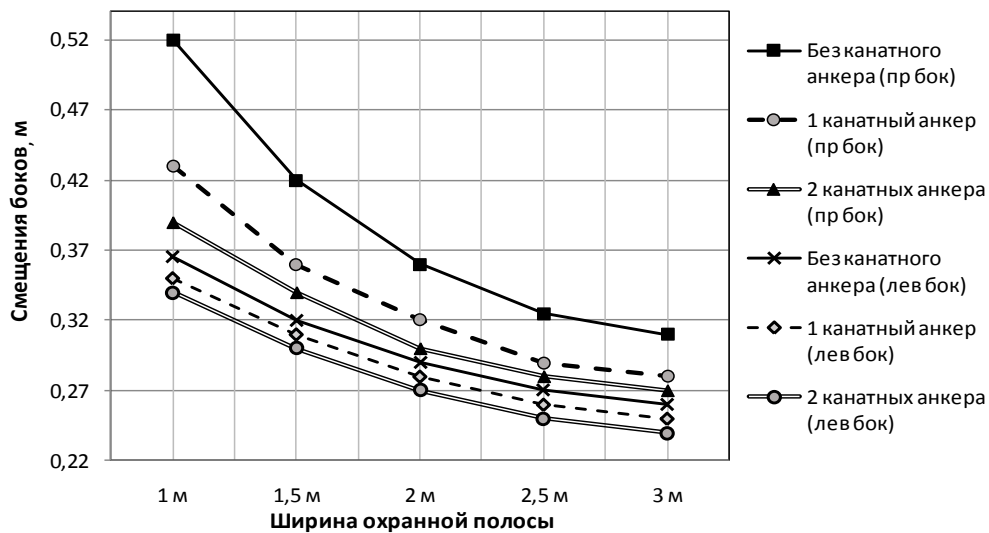


Рис. 5. Зависимость смещений боков ходка в окне лавы от ширины накатной полосы

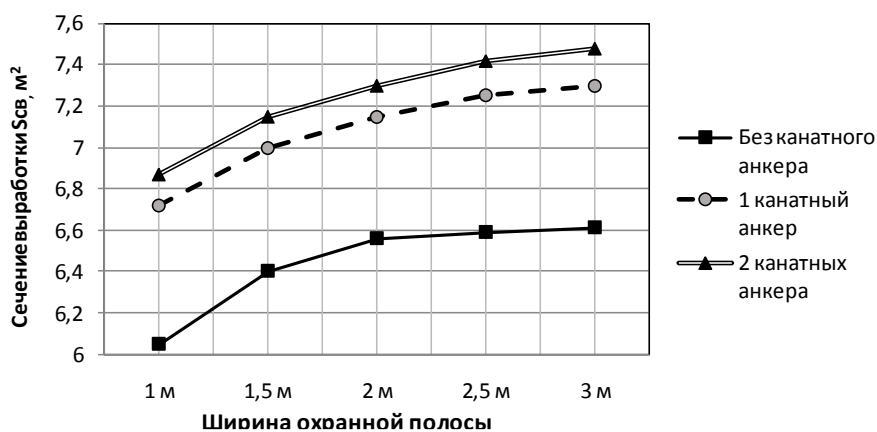


Рис. 6. Зависимость поперечного сечения конвейерного ходка в окне лавы от ширины накатной полосы и количества канатных анкеров

Необходимость введения второго канатного анкера продиктовано тем, что нагрузка на первый анкер, превышает прочность закрепленного в крепких породах основной кровли участка. Введение второго анкера позволяет перераспределить повышенную нагрузку и предупредить разрыв анкера.

Здесь следует заметить, что одним из негативных факторов, снижающим устойчивость выемочной выработки и ухудшающим работоспособность металлической крепи является формирование несимметричной нагрузки в приконтурном массиве пород. Разрушение пород основной кровли со стороны лавы после выемки угля увеличивает нагрузку на правую часть приконтурного массива, закрепленного рамно-анкерной крепью (рис. 3, б и г). Установка двух канатных анкеров в правой сводчатой части выработки позволяет уже при ширине охранной полосы $b = 2,0$ м, создать упрочненную зону в основной кровле (рис. 7), уменьшив несимметрию загрузки и снизив смещения кровли и боков выработки.

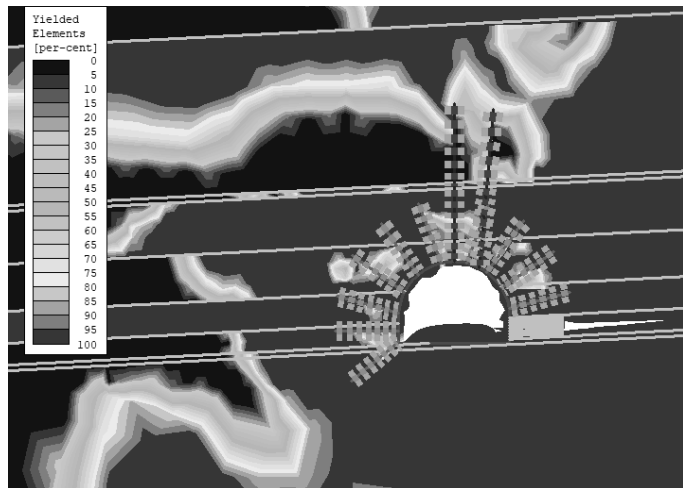


Рис. 7. Зона разрушенных пород для накатной полосы из шпального бруса шириной 2 м с установкой 2-х канатных анкеров

Снижение степени несимметрии подтверждает выравнивание смещений боков выработки, разница между которыми при ширине накатной полосы 2 м и двух канатных анкерах составляет $\Delta b = 6$ см.

Численные исследования для оценки параметров пакетированной полосы из материала Tekhard на состояние конвейерного ходка на сопряжении «лава-ходок» проводились аналогично описанному выше решению для конструкции из шпального бруса.

Сравнение эффективности применения охранных полос из шпального бруса и твердеющей смеси Tekhard при одинаковых параметрах рамно-анкерной крепи (крепь КМП-А3-11,2 из СВП-27, 12 сталеполимерных анкеров, 2 канатных анкера) для снижения смещений контура и повышения площади сечения выработки на сопряжении с лавой приведено на рис. 8 и 9.

Сравнение полученных результатов показывает, что по степени эффективности в плане снижения смещений контура и увеличения полезной площади сечения выработки, полоса Tekhard шириной 1...1,25 м равноценна накатной полосе из шпального бруса шириной 1,5...2,0 м соответственно. Однако следует отметить отрицательное влияние полосы Tekhard на смещения пород почвы – они выше, чем у накатной полосы из шпального бруса. Это подтверждает известный факт, что охранные полосы из более жестких материалов, каким в данном случае является бетонная полоса Tekhard, при слабых породах почвы работают как штамп, увеличивая деформации почвы в выработке. При этом смещения боков выше у полосы из дерева. Смещения кровли также несколько больше у накатной полосы.

Обязательным условием обеспечения эксплуатационного состояния конвейерного ходка на всех этапах его эксплуатации является своевременная и качественная установка рамной и анкерной крепи. Металлические рамы должны устанавливаться без перекоса, на подпятники, с обязательной расклинкой по сводчатой части не менее, чем в 5-ти точках.

Сталеполимерные анкера должны устанавливаться непосредственно в забое при проведении выработки с соблюдением всех требований паспорта крепления.

Канатные анкера должны устанавливаться в выработке на расстоянии не менее 80 м от движущегося забоя лавы – до влияния очистных работ.

Охранная конструкция должна выкладываться с минимально возможным технологическим отставанием после выемки угля. При этом укладка материала (мешков твердеющей смеси Tekhard или шпального бруса) должна проводиться под кровлю пласта без зазоров.

Окончательный выбор типа охранной конструкции выемочной выработки потребовал проведения экономической оценки вариантов.

Оценка экономической эффективности производится путем сравнения стоимости реализации новых решений с ценой проектных вариантов.

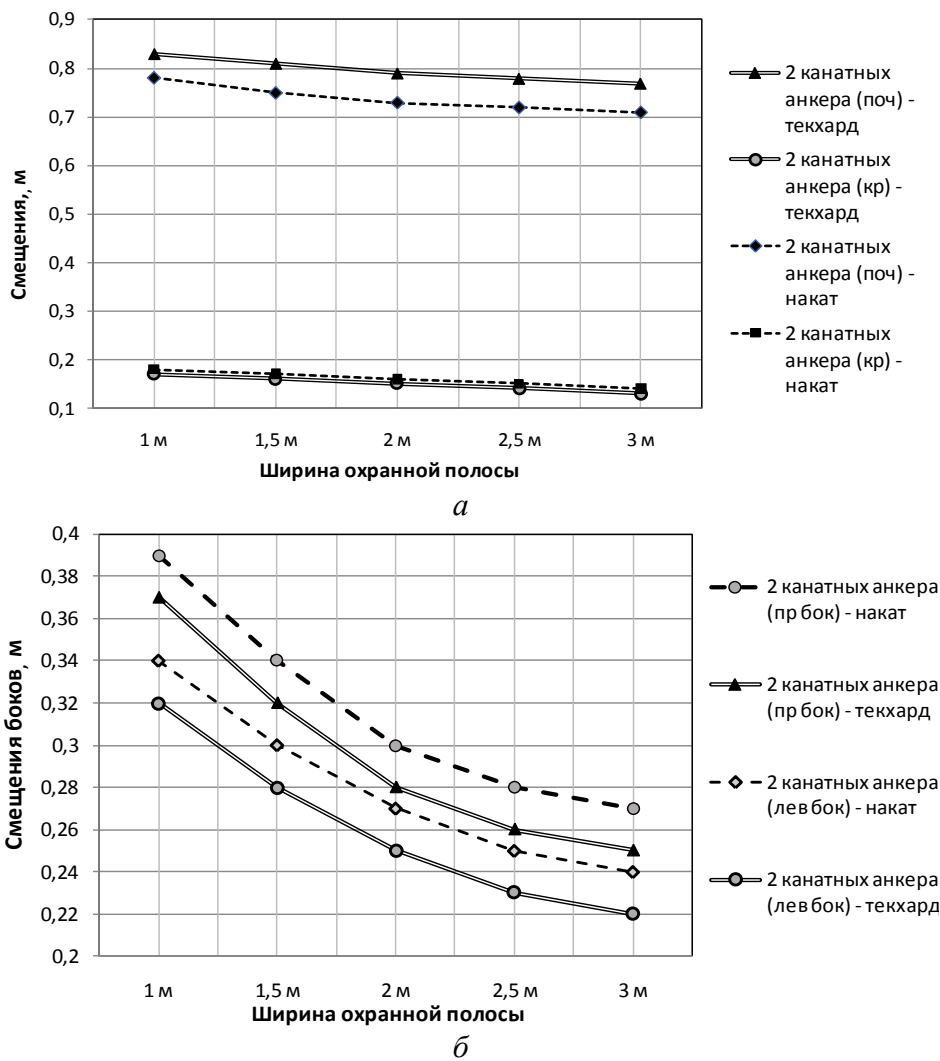


Рис. 8. Сравнение эффективности применения охранных полос из шпального бруса и смеси Tekhard для снижения смещений контура выработки на сопряжении с лавой: *а* – почва и кровля; *б* – левый и правый бок

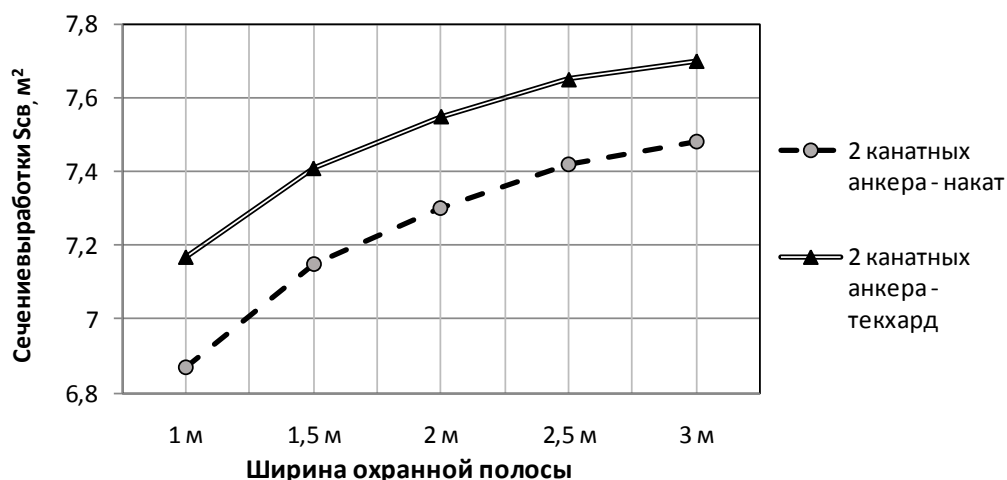


Рис. 9. Сравнение эффективности применения охранных полос для повышения площади сечения выработки на сопряжении с лавой

Сравнению подлежали следующие варианты проектных и предлагаемых способов крепления и охраны выработок.

Вариант 1 (проектный): сборная бетонная полоса Tekhard шириной 1,1 м с органной полосой в три ряда деревянных стоек со стороны ходка и в два ряда с завальной стороны

суммарной шириной 2,2 м, два сталеполимерных анкера для укрепления бровки.

Вариант 2 (проектный): накатный костер из шпального бруса шириной 1,6 м с органной полосой в два ряда деревянных стоек со стороны ходка и с одним рядом с завальной стороны суммарной шириной 2,3 м, два сталеполимерных анкера для укрепления бровки.

Вариант 3 (предлагаемый): сборная бетонная полоса Tekhard шириной 1,1 м с органными полосами в один ряд деревянных стоек со стороны ходка и в один ряд с завальной стороны суммарной шириной 1,5 м с 11 сталеполимерными и 2 канатными анкерами.

Вариант 4 (предлагаемый): накатный костер из шпального бруса с порядной перевязкой шириной 1,5 м с органными полосами в один ряд деревянных стоек со стороны ходка и в один ряд с завальной стороны суммарной шириной 1,9 м с 12 сталеполимерными и 2 канатными анкерами.

В каждом варианте расходуются материальные и трудовые ресурсы, которые квалифицируются как капитальные затраты. В процессе эксплуатации выработки возникают эксплуатационные расходы, включающие, прежде всего стоимость ремонтных работ.

В процессе проведения шахтных исследований в условиях ШУ «Южнодонецкое №1» на первом этапе были реализованы вариант №1 и вариант №2. Следует заметить, что принятые конструкции крепи и способы охраны позволили сохранить выемочные выработки для повторного использования, однако их реализация потребовала значительных затрат на выполнение ремонтных работ.

Подрывка почвы выполнялась для обеспечения требуемой площади поперечного сечения выработки, соблюдения «Правил безопасности» в отношении зазоров и ширины прохода для людей (до прохода лавы) и для обеспечения безопасного выполнения технологических операций по обслуживанию очистного комплекса (на сопряжении «лава-выемочная выработка»). При выполнении работ по подрывке почвы проводилась перестилка рельсового пути.

Кроме того, для вариантов 1 и 2 на ряде участков, приуроченных в основном к местам мелкоамплитудной нарушенности, проводилось полное перекрепление выработки. На отдельных участках производилась замена стоек со стороны лавы и верхняков, деформированных при подходе лавы. Результаты мониторинга, а также фактические и прогнозируемые объемы ремонтных работ приведены в табл. 3.

Для определения стоимостных показателей вариантов охраны конвейерного ходка 12-й западной лавы пласта С₁₈ для 4-х вариантов охранных систем, с применением программного комплекса «Строительные технологии-СМЕТА», были сформированы 8 локальных смет.

Таблица 3

Объемы внедрения различных охранных конструкций, оценка состояния породных обнажений и объемов работ по ремонту участков конвейерного штрека

| № | Контролируемые параметры | Конструкция охранного объекта | | | |
|---|--|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 |
| 1 | Среднее значение вертикальной конвергенции δ_v , мм | 2400 | 2200 | 710 | 800 |
| 2 | Суммарная мощность слоя подрывки пород почвы, m_n , м | 1850 | 1590 | 590 | 530 |
| 3 | Количество подрывок | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 4 | Объем перекрепления, % | 30 | 50 | – | 10 |

Величина прямых затрат для рассмотренных вариантов крепления и охраны выработки для повторного использования с учетом стоимости фактических и планируемых объемов ремонтных работ составили:

вариант 1 (проектный с полосой Tekhard) – 21 108,27 грн./п.м.

вариант 2 (проектный с полосой из шпального бруса) – 13 191,06 грн./п.м.

вариант 3 (предлагаемый с полосой Tekhard) – 20 563,67 грн./п.м.

вариант 4 (предлагаемый с полосой из шпального бруса) – 12 804,85 грн./п.м.

Полученные результаты расчетов свидетельствуют, что более экономичным является

вариант с использованием двухуровневой рамно-анкерной крепи, охранной полосы из шпального бруса шириной 1,5 м и деревянных рядов органки при общей ширине охранной конструкции 1,9 м. Это объясняется невысокой стоимостью материала полосы, существенно меньшей трудоемкостью ее возведения по сравнению с полосой из материала Tekhard.

Экономический эффект от внедрения охранной накатной полосы из шпального бруса (вариантом №4) по сравнению с проектным вариантом №2, составляет 386,21 грн./п.м.

Выводы.

Установлено, что из рассмотренных типов охранных полос для горно-геологических условий шахты «Южнодонецкая №1», по условиям требуемой прочности, податливости, технологичности, а также при наличии слабых пород почвы, целесообразно применение накатной полосы из шпального бруса или сборной полосы из сухой цементно-минеральной смеси Tekhard.

Результаты численного моделирования показывают, что для рассматриваемых условий в большей степени на улучшение состояния выемочной выработки оказывает увеличение ширины охранной полосы. При этом более существенным является повышение ширины полосы с 1,5 до 2,0 м. Прирост сечения выработки также достигается увеличением количества канатных анкеров. Большой эффект достигается при установке второго анкера.

По степени эффективности в плане снижения смещений контура и увеличения полезной площади сечения выработки, полоса Tekhard шириной 1...1,5 м равноценна накатной полосе из шпального бруса шириной 1,8...2,7 м соответственно. Недостатком полосы Tekhard является то, что при данном материале смещения пород почвы выше, чем у накатной полосы из шпального бруса.

Технико-экономический анализ показывает, что более экономичным является вариант с использованием двухуровневой рамно-анкерной крепи, охранной полосы из шпального бруса шириной 1,5 м и деревянных рядов органки при общей ширине охранной конструкции 1,9 м. При этом, за время службы конвейерного ходка проводится предусматривается только одна подрывка пород почвы перед проходом второй лавы для увеличения полезной площади сечения выработки на сопряжении «лава-штрек».

Экономический эффект от внедрения охранной накатной полосы из шпального бруса по сравнению с проектными вариантами, принятыми на шахте «Южнодонецкая №1», составляет 386,21 грн./п.м.

Список литературы

1. Овчинников В.Ф., Дротик В.А., Иваненко А.М. Влияние усиленной анкерной крепи и охранной бутовой полосы на устойчивость пластовой выработки // Уголь Украины. – 2006. – № 5. – С. 17-18.
2. Солодянкин А.В., Дудка И.В., Машурка С.В. Обоснование рациональных параметров крепи выработки в условиях больших деформаций приконтурного массива // Форум гірників-2017: Матеріали міжнар. Конф. 4-7 жовтня 2017 р. – Дніпро: РВК НГУ. – 2017. – С. 101-106.
3. Шахтные исследования геомеханических процессов в окрестности участковых выработок ГП «Шахтоуправление «Южнодонецкое №1» / А.В. Солодянкин, А.Е. Григорьев, А.В. Халимендик, С.В. Машурка // Геотехнічна механіка. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАН України. – 2015. – Вип. №123. – С. 87-98.
4. Технологічні матеріали з проектування кріплення, підтримання та охорони дільничних виробок, що використовують повторно на шахтах ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО» / Пілюгин В.І., Булат А.Ф., Барабаш М.В. и др. // ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України – ООО «ДТЕК ЕНЕРГО», Дніпропетровськ, 2015. – 38 с.
5. СОУ 10.1.05411357.012:2014 «Инструкция по проектированию комбинированного рамно-анкерного крепления горных выработок» / Пілюгин В.І., Булат А.Ф. и др. Минэнергоугля Украины, Киев, 2014. – 42 с.
6. Sdvyzhkova O.O., Babets D.V., Kravchenko K.V., Smirnov A.V. Determining the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow longwall // Scientific bulletin of National Mining University. – 2016. – № 2. P. 34-42.