

УДК 622.831

И.Г. Сахно, канд. техн. наук, доц.,
Н.Н. Малышева, В.Е. Нефёдов

Государственное высшее учебное заведение „Донецкий национальный технический университет“, г.Донецк, Украина, e-mail: sahno_i@mail.ru.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ ВОКРУГ ВЫРАБОТКИ, ПОДДЕРЖИВАЕМОЙ ЗА ЛАВОЙ

I.G. Sakhno, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
N.N. Malysheva, V.Ye. Nefedov

State Higher Educational Institution “Donetsk National Technical University”, Donetsk, Ukraine, e-mail: sahno_i@mail.ru

THE STUDY OF DYNAMICS OF DEVELOPMENT OF DEFORMATION PROCESSES AND CRACK FORMATION IN THE ROCK MASSIF AROUND THE WORKING WHICH IS SUPPORTED UNDER A LONGWALL

Цель. Изучение динамики развития деформационных процессов и трещинообразования в породном массиве вокруг выработки, поддерживаемой за лавой, при различном времени вступления в работу охранного сооружения.

Методика. С помощью моделирования методом эквивалентных материалов проведено исследование деформирования породного массива и образования трещин вокруг выработки.

Результаты. В работе предложен способ охраны с быстрым включением охранного сооружения в работу. В лабораторных условиях получен положительный эффект от применения предлагаемого способа охраны выработок.

Научная новизна. Впервые показано, что время вступления в работу охранного сооружения оказывает существенное влияние на деформирование породного массива, место образования и путь развития в нем трещин. Рост магистральной трещины в основной кровле служит причиной ее обрушения, и обуславливает нагрузку на охраняемую выработку и ее деформирование. Определено время и место образования и развития магистральной трещины, приводящей к обрыву консоли основной кровли при различном времени вступления в работу охранного сооружения.

Практическая значимость. Использование предложенного способа охраны с быстрым включением охранного сооружения в работу позволяет избавиться от многочисленных расслоений кровли и вывалов над охранным сооружением и в выработку, создать благоприятные условия для возникновения магистральной трещины над охранным сооружением и развития ее в направлении выработанного пространства. Обрушенные породы основной кровли ложатся своим весом на породы непосредственной кровли над выработанным пространством лавы, при этом снижается нагрузка на охранный сооружение и крепь выработки, что приводит к уменьшению нагрузки на охранные сооружения и последующему более устойчивому состоянию выработки.

Ключевые слова: *охранное сооружение, быстрое включение в работу, магистральная трещина*

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.

Обеспечение эксплуатационного состояния горных выработок – одна из центральных проблем угольных шахт Донбасса, присущая как передовым предприятиям отрасли, так и аутсайдерам. Наибольшие смещения контура и деформирование крепи наблюдается в выработках, обслуживающих очистной забой.

Анализ показывает, что в последние годы вновь намечена тенденция увеличения долевого участия систем разработки, предполагающих поддержание выработок вслед за лавой. Основными факторами, определяющими интенсивность деформирования контура выработки на этом этапе поддержания, являются прочностные свойства вмещающих пород, мощность и слоистость пород основной кровли, тип охранного сооруже-

ния, возводимого за лавой, и его геометрические размеры.

Таким образом, основным средством управления эксплуатационным состоянием подготовительных выработок, проводимых вслед за лавой, является режим работы околострекового охранного сооружения.

Анализ последних исследований и публикаций.

Традиционно применяемые способы охраны выработок, проводимых за лавой, – бутовые полосы, костры, бутокостры, БЖБТ (блоки железобетонных тумб), литые полосы и др. Несмотря на различие в технологии сооружения и разную жесткость охранных конструкций, все они вступают в работу не сразу после возведения, а после исчерпания зазоров и определенного сжатия (усадки), которое реализуется за счет сближения кровли и почвы. При этом несущая способность охранных сооружений возрастает со временем и достигает рабочего режима работы на определенном расстоянии от лавы.

Одним из лучших охранных сооружений является литая полоса. Но даже для литой полосы говорить о необходимом режиме работы можно после того, как полоса набрала прочность, по крайней мере, равную прочности вынутаго пласта (10–15МПа). Данную прочность материал полосы набирает в течение 10–7,5 суток, при этом лава, при скорости продвижения очистного забоя 1–8м/сут, проходит 10–80м [1].

Нерешенная часть проблемы. Таким образом, при использовании существующих способов охраны выработок отсутствует существенное начальное сопротивление смещениям пород кровли в направлении вынутаго лавой пласта. Допускается их прогиб и расслоение, что вызывает рост зоны разрушения вглубь массива, обуславливает асимметричное нагружение крепи выработки и значительную потерю ее высоты. Это приводит к необходимости проведения дополнительных мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационного состояния выработок.

Постановка задачи. Таким образом, разработка новых и модернизация существующих способов охраны и поддержания горных выработок после прохода очистного забоя, позволяющих минимизировать или ликвидировать указанный недостаток, является одной из актуальных задач. В этом ключе, одним из перспективных направлений является разработка и внедрение охранных сооружений, содержащих в своей конструкции распорные элементы. Авторами разработаны способы охраны выработок с активным распором. Достоинством таких сооружений является быстрое включение в работу, а при необходимости – возможность создания активного предварительного распора [2].

Обоснование параметров способов поддержания подготовительных выработок за лавой, основанных на применении охранных конструкций с распорными элементами, невозможно без понимания особенностей геомеханических процессов во вмещающем массиве, возникающих при их применении. Поэтому целью исследований было изучение динамики развития деформационных процессов и трещинообразования в породном массиве вокруг выработки, поддерживаемой за лавой, при различном времени вступления в работу охранных сооружений.

Основной материал исследований. Исследования проводили методом эквивалентных материалов. При моделировании использовали геометрический критерий подобия и подобие механических характеристик. Масштаб моделирования 1:50. Моделирование осуществляли с использованием песчано-парафиновых смесей.

Корректировку рецептуры материала производили после испытания образцов на одноосное сжатие на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия с двумя незадействованными воспринимающими и нажимными плитами.

Моделировались условия, соответствующие 10 восточной лаве пласта l_6 ООО „Шахта „Рассвет-1“. Мощность пласта 0,84–0,62м, непосредственная кровля – песчаник с прослоями сланца песчаного мощностью 1–2м, крепостью по шкале проф. Протождьяконова $f = 6–8$. Основная кровля – песчаник мелкозернис-

тый, мощностью 9,7–11м, $f = 6–9$. Почва сланец песчаный комковатый, мощностью 0,5–0,6м, $f = 4–6$, ниже которого залегает сланец песчаный плотный мощностью 0,8–1,5м, $f = 5–6$.

В первом варианте штрек охранялся охранным сооружением, состоящим из БЖБТ и ряда костров (шахтный вариант), между БЖБТ и кровлей пласта оставлялся зазор. Величина зазора взята по результатам шахтных натуральных наблюдений в 10 восточной лаве пласта l_6 ООО „Шахта „Рассвет-1“.

Во втором варианте штрек охранялся породными тумбами с активным распором и рядом костров. Для имитации охранных сооружений при укатке слоя, соответствующего угольному пласту, в модели располагали отрезки металлопластиковых труб внешним диаметром – 1,5см. Нагружение модели производили с помощью домкрата Intertool GT0021.

Общий вид моделей приведен на рис. 1.

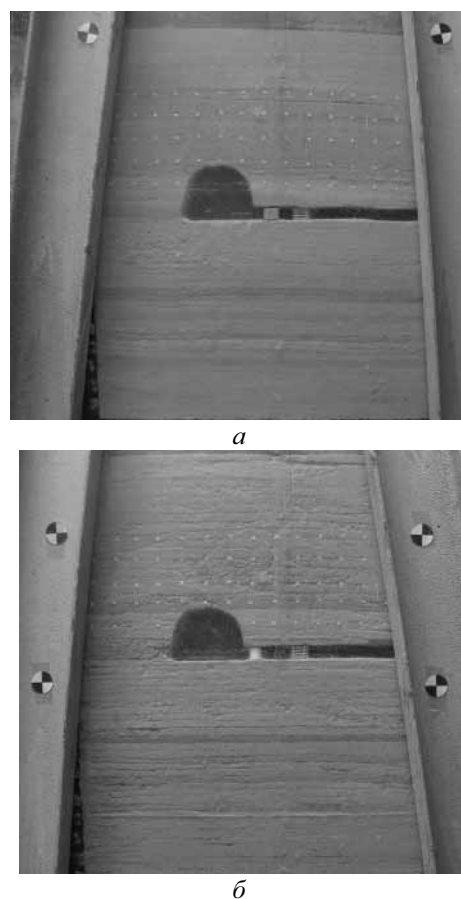


Рис. 1. Общий вид эквивалентных моделей: а – вариант 1 (шахтный); б – вариант 2 (предлагаемый)

До начала нагружения модели для более точного дальнейшего определения смещений реперов относительно шести маркировочных точек на жесткой базе стенда, лежащих в плоскости модели, определили их взаимное расположение в прямоугольной системе координат.

После каждого шага нагружения производили фотофиксацию смещений реперов с помощью цифровой ка-

меры, установленной на неподвижном штативе. Фокусное расстояние 7,3мм, размер получаемой фотографии 3264 × 2448 пикселя, dpi 180 × 180.

Полученные после каждого шага нагружения фотографии корректировали – убрали перспективу. С откорректированных фотографий в программе „Цифровая станция“ снимали изменение смещений реперов между шагами нагружения с погрешностью 0,05мм, которая соответствовала погрешности, установленной для данного геометрического масштаба модели.

Для того чтобы воссоздать последовательность и механизм возникновения этих трещин, определяли шаг нагружения, на котором возникла трещина, расположение устья и направление роста каждой трещины.

Для того чтобы определить причину возникновения каждой трещины строили ситуационную картину. Для построения ситуационной картины использовали программу „Компас“. В этой программе во фрагмент вставляли откорректированную фотографию с привязкой нижнего левого угла к началу координат. Слой, на котором находилась фотография, закрывали для редактирования, и по нему, как через кальку, наносили контуры массива с подготовительной выработкой, к которой примыкало охранный сооружение, расположенное в выработанном пространстве лавы; репера; трещину (трещины), которая (которые) возникли на данном шаге нагружения (выделяли основной чёрной линией); направление движения частей массива вокруг трещины от предыдущего шага нагружения к текущему. Кроме того, на ситуационной картине выделяли основной сплошной и штриховой чёрной линией вывалы и зоны сжатия, которые возникли на данном шаге, и добавляли тонкой сплошной и штриховой чёрной вывалы и зоны сжатия, которые возникли между шагами нагружения.

Для того чтобы определить необходимые условия возникновения трещины и вид деформаций, из-за которых она появилась, для каждой ситуационной картины для горизонтальных и вертикальных смещений строили линии равных смещений, используя программу „Sur-fer“. Отмечали, в какой области смещений оказалась трещина, и с какими областями смещений она граничит.

Для того чтобы определить вклад горизонтальных смещений в общих смещениях, для каждого шага по каждому реперу находили отношение горизонтальных смещений к общим смещениям. Пользуясь этими результатами, определяли среднее значение вклада горизонтальных смещений в общих смещениях, а затем строили график зависимости среднего вклада горизонтальных смещений по шагам нагружения.

Используя указанные выше шаги, для первого варианта получили следующий механизм разрушения массива вокруг подготовительной выработки.

Еще до того, как модель была пригружена, произошло расслоение массива в двух местах. Вслед за расслоением произошло образование двух трещин. Забегая вперед, следует отметить, что необходимыми условиями для возникновения всех трещин в обеих моделях явились: наличие свободной поверхности или ослаб-

ленного контакта между слоями, совпадение в одном и том же месте массива средин диапазонов горизонтальных и вертикальных смещений. Определение областей смещений, с которыми граничат данные трещины, показало, что вид деформаций, из-за которых они появились, это отрыв правой части массива от левой при прогибе кровли в выработанное пространство лавы. О том, что кровля, при опускании в выработанное пространство, вступила в контакт лишь с левым верхним углом костра, свидетельствует незначительное уменьшение вертикальных смещений в этом месте.

На втором шаге нагружения произошло закрытие 1-ого расслоения. На третьем – образование складки между первым и вторым рядом реперов на границе непосредственной и основной кровли со стороны пласта. Длина складки около 4,4-м (мощности пласта).

На четвертом шаге со стороны пласта – увеличение зоны сжатия между первым и вторым рядом реперов, что ведет к образованию новой складки между первым и вторым слоем основной кровли. Длина складки около 3,3-м. И еще одной – между первым и вторым слоем непосредственной почвы. Длина складки около 2,3-м. А со стороны выработанного пространства над БЖБТ – 3-е расслоение и 3-я трещина.

На пятом шаге нагружения со стороны пласта – две складки сливаются в одну зону сжатия. Особенно хорошо данная зона прослеживается на изолиниях вертикальных смещений над пластом там, где расположена светлая зона, которая указывает на положительные (снизу вверх) вертикальные смещения массива (рис. 2).

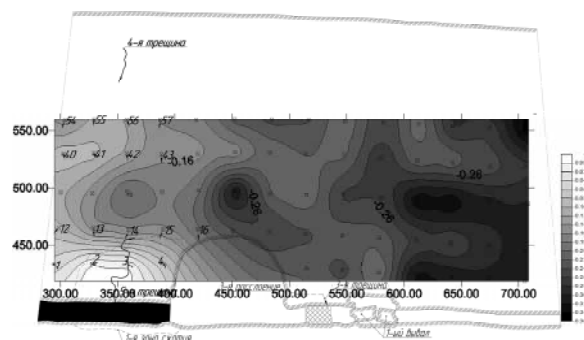


Рис. 2. Линии равных вертикальных смещений на момент возникновения устья магистральной трещины (вариант 1)

Возникают две трещины – 4-я и 5-я (которая затем разрастется и станет магистральной). Причина возникновения 4-й – растягивающие деформации, 5-й – сжимающие. Появление 5-ой трещины внутри зоны сжатия ведет к ее разделению на две области, горизонтальные смещения в которых теперь происходят обособленно. Это видно на изолиниях горизонтальных смещений (рис. 3).

А со стороны выработанного пространства над костром на данном шаге происходит 1-ый вывал.

Некоторое незначительное уменьшение горизонтальных смещений над БЖБТ указывают на то, что

массив вступил в контакт с охранным сооружением, причем после того, как произошло возникновение магистральной трещины.

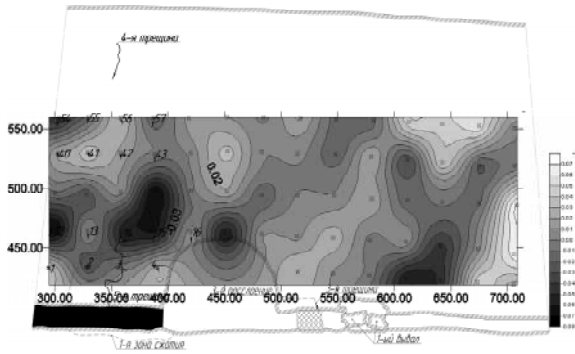


Рис. 3. Линии равных горизонтальных смещений на момент возникновения устья магистральной трещины (вариант 1)

Между пятым и десятым шагом нагружения, на котором продолжился рост магистральной трещины, произошли следующие изменения: на шестом шаге – 2-ой вывал, 4-е расслоение, 6-я трещина, 2-я зона сжатия; на седьмом – 3-й вывал, 7-я и 8-я трещина; на восьмом – 4-й и 5-й вывал, 5-е расслоение, 9-я трещина.

На десятом шаге нагружения, помимо роста магистральной трещины, произошел 6-й вывал и возникла 10-я трещина. Следует отметить, что охранный сооружение, над которым развились многочисленные вывалы, не являлось каким бы то ни было препятствием для вертикальных смещений и лишь незначительным – для горизонтальных.

Между десятым и тринадцатым шагами, на котором произошло обрушение консоли основной кровли, произошли следующие изменения: на двенадцатом шаге – 7-й вывал и 4-я зона сжатия.

На тринадцатом шаге магистральная трещина доросла до места 1-го расслоения, произошло обрушение консоли основной кровли и в выработанном пространстве лавы по всей ее длине (рис. 4), кровля соединилась с почвой, о чем свидетельствует возникновение последней – 4-ой зоны сжатия (рис. 5, 6).

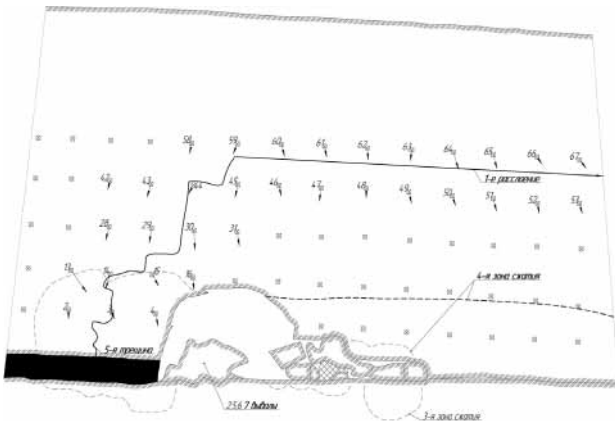


Рис. 4. Ситуационная картина на момент обрушения консоли основной кровли (вариант 1)

Для варианта 2 получили следующий механизм разрушения массива вокруг подготовительной выработки.

На четвертом шаге нагружения под тумбой образовалась зона сжатия, на пятом первая трещина. Определение областей смещений, с которыми граничит данная трещина, показало, что вид деформаций, из-за которых она появилась, тот же, что и при возникновении первых трещин в предыдущей модели. А именно – отрыв правой части массива от левой при прогибе кровли в выработанное пространство лавы. О том, что кровля, при опускании в выработанное пространство, „увидела“ пустое пространство между тумбой и костром (а, следовательно, и сами охранные сооружения), свидетельствует увеличение вертикальных смещений в этом месте.

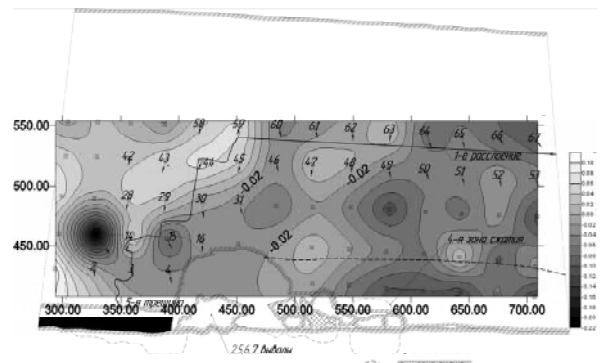


Рис. 5. Линии равных горизонтальных смещений на момент обрушения консоли основной кровли (вариант 1)

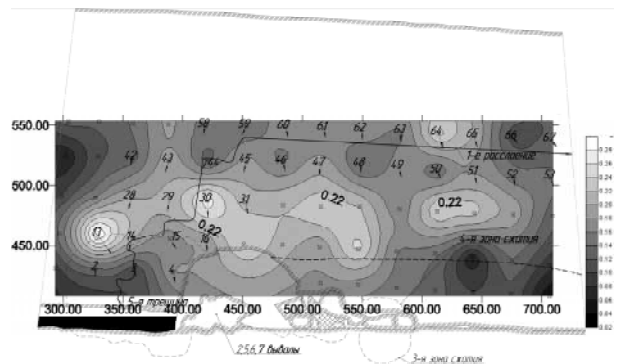


Рис. 6. Линии равных вертикальных смещений на момент обрушения консоли основной кровли (вариант 1)

На шестом шаге нагружения в зоне сжатия появилось первое расслоение.

На седьмом шаге нагружения – второе расслоение и устье второй трещины. Причина возникновения устья трещины – сжимающие горизонтальные смещения. Трещина вертикальная, соединила замки горизонтальных изолиний.

На шестнадцатом шаге нагружения – возникновение и быстрый рост магистральной трещины, вплоть до раскрытия ее в выработку и обрушения консоли основной кровли над охранными сооружениями (рис. 7). Причина возникновения и быстрого роста магистраль-

ной трещины (если судить по областям на берегах трещины) – растягивающие горизонтальные смещения со сдвигом по вертикали (рис. 8, 9).

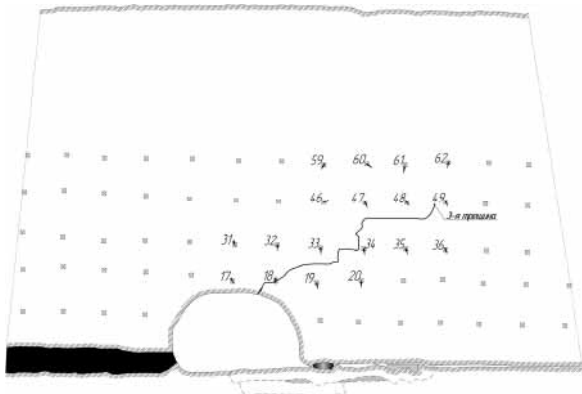


Рис. 7. Ситуационная картина на момент возникновения устья магистральной трещины (вариант 2)

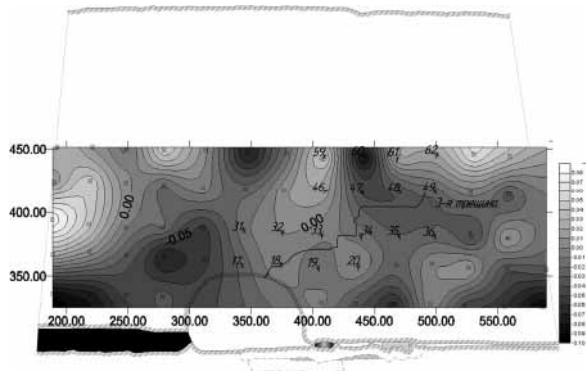


Рис. 8. Линии равных горизонтальных смещений на момент возникновения устья магистральной трещины (вариант 2)

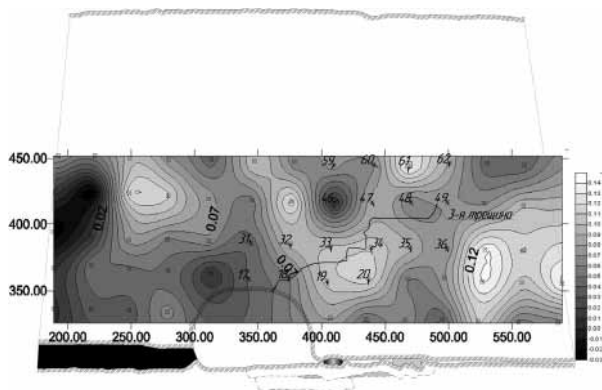


Рис. 9. Линии равных вертикальных смещений на момент возникновения устья магистральной трещины (вариант 2)

Что же касается вклада горизонтальных смещений в общих смещениях (рис. 10), то он (в шахтном варианте), при увеличении шага нагружения до обрушения консоли основной кровли, уменьшался. А при включе-

нии в построение графика дополнительных точек, которые соответствуют данным для шагов нагружения после обрушения консоли основной кровли, видно, что вклад горизонтальных смещений после обрушения консоли начал возрастать. Сам же вклад, судя по графику, был незначительным, что указывает на то, что вертикальные смещения превалировали, что возможно лишь в том случае, когда кровля не вступала в надежный контакт с охранными сооружениями и беспрепятственно опускалась в выработанное пространство. Увеличение же доли горизонтальных смещений после обрушения консоли подтвердило, что кровля нашла опору, и эта опора – почва.

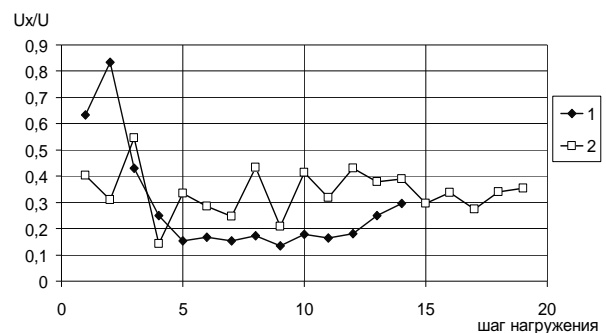


Рис. 10. График зависимости доли горизонтальных смещений (U_x) в общих смещениях (U) от шага нагружения: 1 – вариант 1 (шахтный); 2 – вариант 2 (предлагаемый)

В предлагаемом варианте доля горизонтальных смещений то увеличивалась, то уменьшалась от шага к шагу. Можно предположить, что увеличение доли горизонтальных смещений было связано с „препятствием“ движению кровли в выработанное пространство в виде охранных сооружений, а уменьшение – вдавливанием охранных сооружений в почву пласта. Но даже в случае уменьшения, доля горизонтальных смещений в предлагаемом варианте была выше доли в шахтном варианте.

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

1. Время вступления в работу охранных сооружений оказывает существенное влияние на деформирование породного массива, место образования и путь развития в нем трещин, а что особенно актуально – магистральной трещины. Рост магистральной трещины в основной кровле служит причиной ее обрушения, обуславливает нагрузку на охраняемую выработку и ее деформирование.

2. При запоздалом включении в работу происходит рост трещины со стороны пласта, что приводит к обрушению консоли основной кровли, вес пород при этом ложится на охранные сооружения и крепь охраняемой выработки, что вызывает ее деформирование.

3. Более быстрое включение охранных сооружений в работу позволяет: избавиться от многочисленных расслоений кровли и вывалов над охранным сооружением и в выработку; создать благоприятные

условия для возникновения магистральной трещины над охранным сооружением и развития ее в направлении выработанного пространства. Обрушенные породы основной кровли ложатся своим весом на породы непосредственной кровли над выработанным пространством лавы, при этом снижается нагрузка на охранный сооружение и крепь выработки, что приводит к уменьшению нагрузки на охранные сооружения и последующему более устойчивому состоянию выработки.

Список литературы / References

1. Синтез комбинированных охранных систем для поддержания подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях / А.В. Агафонов, О.Д. Кожушок, Е.Н. Халимендииков, Л.В. Прохорец // Геотехническая механика. – Днепропетровск-Симферополь, 2008. – Вып. 78. – С. 73–86.

Agafonov, A.V., Kozhushok, O.D., Khalimendikov, Ye.N. and Prokhorets, L.V. (2008), "Synthesis of combined security systems for maintaining of development workings in challenging geological conditions", *Geotekhnicheskaya Mekhanika*, Dnepropetrovsk, Simferopol, Issue 78, pp. 73–86.

2. Мальшева Н.Н. Повышение эффективности охраны горных выработок за счет активного распора охранных сооружений / Н.Н. Мальшева, И.Г. Сахно // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2012. – № 1(30). – С. 299–304.

Malysheva, N.N. and Sakhno, I.G. (2012), "Efficiency improvement of a mine opening protection through active stressing of protective facilities", *Visti Donetskooho Hirnychoho Instytutu*, no. 1(30), pp. 299–304.

Мета. Вивчення динаміки розвитку деформаційних процесів і утворення тріщин у порідному масиві довкола виробки, яку підтримують за лавою, при різному терміні вступу до роботи охоронної споруди.

Методика. За допомогою моделювання методом еквівалентних матеріалів проведені дослідження деформації породного масиву, і утворення тріщин довкола виробки.

Результати. У роботі запропоновано спосіб охорони зі швидким включенням охоронної споруди в роботу. У лабораторних умовах отриманий позитивний ефект від використання запропонованого способу охорони виробок.

Наукова новизна. Уперше показано, що момент вступу в роботу охоронної споруди істотно впливає на деформування породного масиву, місце виникнення та шлях розвитку в ньому тріщин. Зростання магистральної тріщини в основній покрівлі є причиною її обвалення, обумовлює навантаження на виробку, яку охороняють, та її деформування. Визначено момент і місце виникнення й розвитку магистральної тріщини, що призводить до обриву консолі основної покрівлі при різному моменті вступу в роботу охоронної споруди.

Практична значимість. Використання запропонованого способу охорони зі швидким включенням охоронної споруди в роботу дозволяє: позбутися від численних розшарувань покрівлі та вивалів над охоронною спорудою та у виробку; створити сприятливі умови для виникнення магистральної тріщини над охоронною спорудою й розвитку її в напрямку виробленого простору. Обвалені породи основної покрівлі лягають своєю вагою на породи безпосередньої покрівлі над виробленим простором лави, при цьому знижується навантаження на охоронну споруду та кріплення виробки, що призводить до зменшення навантаження на охоронні споруди та до подальшого більш стійкого стану виробки.

Ключові слова: охоронна споруда, швидке включення в роботу, магистральна тріщина

Purpose. Study of dynamics of development of deformation processes and crack formation in the rock massif around the working which is supported under longwall, with different time of putting into operation of protective facilities.

Methodology. By means of simulation using equivalent materials we have investigated the rock massif deformation and cracking around the working supported under longwall with different time spent on putting into operation of the protective facilities.

Findings. This paper presents a protection method with fast putting into operation of the protective facilities. In laboratory conditions we have obtained a positive effect of the proposed method application.

Originality. It was shown that the time spent on putting into operation of the protective facilities has a significant influence on the deformation of the rock massif; place of location and development path of cracks. Growth of the main crack in the roof is caused by its subsidence, and determines the stress on the tunnel and its deformation. We have determined the time and place of localization and development of the main crack, which causes the collapse of main roof console under different time of putting into operation of the protective facilities.

Practical value. Use of the proposed protection method with fast putting into operation of the protective facilities eliminates the roof stratification and inrush over the protective facilities into working; creates conditions for the occurrence of the main crack over the protective facilities and its development in the direction of mined-out area. Broken-down rock of the main roof shifts its weight on the immediate roof rocks over the open area of longwall, this also lowers the load on the support and lining of working, which reduces the load on the protective facilities and provides more stable state of working.

Keywords: protective facilities, rapid inclusion in the work, the main crack

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.В. Подкопаєвим. Дата надходження рукопису 07.12.13.